

Classificação de Vegetação, Orientado por Imageamento Aéreo e Aprendizagem Profunda

Vegetation Classification, Guided by Aerial Imaging and Deep Learning

Derick França Justo {derick.justo@fatec.sp.gov.br}

Ricardo Keiti Kurita Matsumura {ricardo.matsumura@fatec.sp.gov.br}

Valmir Ribeiro Cardoso {valmir.ribeiro2@fatec.sp.gov.br}

Vinicius da Silva Costa {vinicius.costa59@fatec.sp.gov.br}

RESUMO

Este projeto aborda a necessidade urgente de preservação da Mata Atlântica brasileira, que sofreu uma perda substancial de mais de 20.000 hectares entre 2020 e 2021, resultando na retenção de apenas 29,7% de sua cobertura florestal original. Pesquisas conduzidas pela BGCI revelam que 30% das espécies de árvores na América Latina estão atualmente ameaçadas de extinção. Em alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, este estudo centra-se predominantemente no ODS 15, que busca proteger e gerenciar de forma sustentável os ecossistemas terrestres. A preservação das florestas nativas e ecossistemas desempenha um papel fundamental no combate às mudanças climáticas (ODS 13). Considerando que 70% da Mata Atlântica está sujeita à utilização antrópica, o ODS 11 visa criar assentamentos humanos seguros e sustentáveis. Alcançar esses objetivos é imperativo para a preservação ambiental e a luta global contra a pobreza. Esta pesquisa visa desenvolver um sistema de identificação de flora baseado em imagens aéreas utilizando Redes Neurais Convolucionais (CNNs). A aplicação foca na geração de relatórios de flora para projetos imobiliários na região da Mata Atlântica, com ênfase específica na identificação de árvores da espécie *Cecropia pachystachya*, popularmente conhecida como Embaúba. Além de contribuir para o equilíbrio da biodiversidade, a Embaúba é utilizada como planta medicinal.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial; Identificação de Flora; Mata Atlântica.

ABSTRACT

This project addresses the urgent need for the preservation of the Brazilian Atlantic Forest, which suffered a substantial loss of over 20,000 hectares between 2020 and 2021, resulting in retaining only 29.7% of its original forest cover. Research conducted by BGCI reveals that 30% of tree species in Latin America are currently threatened with extinction. In alignment with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), this study focuses predominantly on SDG 15, which seeks to protect and sustainably manage terrestrial ecosystems. The preservation of native forests and ecosystems plays a crucial role in combating climate change (SDG 13). Considering that 70% of the Atlantic Forest is subject to anthropogenic use, SDG 11 aims to create safe and sustainable human settlements. Achieving these goals is imperative for environmental preservation and the global fight against poverty. This research aims to develop a flora identification system based on aerial images using Convolutional Neural Networks (CNNs). The application focuses on generating flora reports for real estate projects in the Atlantic Forest region, with a specific emphasis on identifying trees of the species *Cecropia pachystachya*, commonly known as Embaúba. Besides contributing to biodiversity balance, Embaúba is used as a medicinal plant.

KEYWORDS: Artificial Intelligence; Flora Identification; Atlantic Forest.

INTRODUÇÃO

Atualmente, existem no mundo 58.497 espécies de árvores, sendo que a região da América Latina compreende a distribuição de 23.631 espécies.(BGCI, 2021) Contudo, entre os anos de 2020 e 2021 foram desflorestados 21.642 ha da Mata Atlântica brasileira, o equivalente a mais de 28000 campos de futebol. Os dados foram apresentados no Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, uma colaboração entre o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Fundação SOS Mata Atlântica. O Relatório Anual de 2022 também indica que este valor foi o mais alto desde 2015.(SOS Mata Atlântica et al., 2022)

Segundo um levantamento feito em 2020 pelo MapBiomas, uma rede colaborativa que mapeia anualmente a cobertura e uso do solo, apenas 29,7% do total do bioma Mata Atlântica tem formação Florestal.(MapBiomas, 2021)

Associada ao desmatamento está a perda da biodiversidade das espécies de plantas. Dados do Botanic Gardens Conservation International (BGCI), demonstram que 30% das espécies de árvores da América Latina encontram-se ameaçadas de extinção.(BGCI, 2021)

Com o intuito de guiar e coordenar o desenvolvimento sustentável no mundo, as Organizações das Nações Unidas idealizaram os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, para erradicação da pobreza, proteção do meio ambiente e clima. Dentre esses objetivos, destacamos a ODS 15, que visa proteger, restaurar e promover o uso sustentável de ecossistemas terrestres, bem como gerenciar florestas de forma sustentável. Assim, proteger as florestas nativas e ecossistemas de serem degradados impactam diretamente nas ações Globais contra a Mudança do Clima, objeto da ODS 13. Ainda, segundo o relatório MapBiomas, 70% da Mata Atlântica tem uso antrópico sendo esta a prioridade da ODS 11, que busca tornar assentamentos humanos seguros e sustentáveis.(AGENDA 2030, 2015)

No decorrer deste estudo será realizada a identificação de uma espécie arbórea de nome científico *Cecropia pachystachya*, popularmente conhecida como Embaúba. Para Carvalho (2006) em seu manual de Espécies Arbóreas, a Embaúba é uma árvore perenifólia que atinge cerca de 25 metros de altura e 45 centímetros de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30m do solo) em sua fase adulta. Seu tronco é reto, cilíndrico e fistuloso (oco por dentro). A casca externa é áspera e cinza-clara, com até 6mm de espessura, enquanto a casca interna é alaranjada-rosada e fibrosa. Suas folhas são alternadas e agrupadas nas extremidades dos ramos, com lâmina de 20 a 35 cm de comprimento por 20 a 35 cm de largura. Elas são palmatilobadas e divididas em 5 a 12 lobos desiguais obovados, separados até o pecíolo por espaços de 2 a 3 cm, e densamente esbranquiçadas-tomentosas na face inferior. A face superior apresenta pelos curtos e esparsos, margem inteira ou ligeiramente ondulada e ápice obtuso, com nervura central proeminente na face inferior. O pecíolo é forte e comprido, medindo de 16 a 25 cm de comprimento, com pelos uncinados e cálix na base. É uma espécie dióica, ou seja, possui indivíduos machos e fêmeas.(CARVALHO, 2006) A Embaúba é uma espécie pioneira, associada a capoeiras novas, áreas de vegetação secundária que surgem em terrenos previamente desmatados, situadas junto a vertentes ou cursos d'água, estabelecendo-se rapidamente em clareiras descampadas. Popularmente é conhecida por seu uso medicinal da folha e casca. (CARVALHO, 2006)

Andrade et. al avaliaram o potencial antimicrobiano e antifúngico do extrato etanólico de folhas da Embaúba, que demonstrou atividade contra linhagens bacterianas *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyrogenes* e a levedura *Candida albicans* levando a resultados promissores.(Andrade et al., 2021)

Com intuito de validar as propostas deste trabalho, realizou-se uma coleta de dados em campo. Para este fim empregou-se a escala de Likert como método de obtenção de informações. Essa técnica é reconhecida e frequentemente utilizada em pesquisas científicas, permitindo que os participantes expressem suas opiniões, atitudes ou experiências em relação a variáveis específicas de interesse. A escala de Likert consiste em uma série de afirmações ou questões nas quais os respondentes atribuem um grau de concordância ou discordância, geralmente em uma escala que varia de "discordo totalmente" a "concordo totalmente", com diferentes níveis intermediários. Segundo Nogueira (2002), essa abordagem oferece uma maneira estruturada e quantificável de coletar dados sobre uma ampla variedade de fenômenos, fornecendo insights valiosos para análises posteriores. Essa escala pode ser adaptada com diferentes quantidades de pontos ou níveis de detalhamento, visto que um número maior de pontos proporciona respostas mais precisas.

De forma a contribuir para a gestão dos recursos florestais de forma a reduzir o desmatamento e garantir a preservação das espécies de árvores brasileiras, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver um Sistema Web para identificação da flora por imageamento aéreo utilizando Inteligência Artificial (IA), capaz de identificar árvores de interesse econômico e ambiental, importantes para equilíbrio da biodiversidade. A aplicação destina-se à elaboração de inventários florestais, levantamentos detalhados de espécies arbóreas para fins de manejo e conservação, em projetos de empreendimentos imobiliários, bem como embasamento técnico para propostas de manejo e rastreamento de árvores na região da mata Atlântica.

OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um Sistema Web para identificação de flora por meio de imageamento aéreo, utilizando uma rede neural convolucional. Esse sistema tem por finalidade identificar árvores na região da Mata Atlântica. Através desse sistema, será possível auxiliar na elaboração de laudos de flora em projetos de empreendimentos imobiliários, visando a preservação e o equilíbrio da biodiversidade, além da identificação precisa e em larga escala de espécies invasoras. Assim, o trabalho visa otimizar o processo de identificação de espécies ameaçadas e contribuir para a conservação e preservação da biodiversidade da Mata Atlântica. Nesta etapa do projeto, também será desenvolvida uma aplicação mobile para visualização dos relatórios de identificação das árvores. Esses relatórios serão gerados automaticamente por uma API, que utiliza uma inteligência artificial generativa para identificar e organizar os dados de inventário florestal previamente salvos em nuvem. Dessa forma, a aplicação mobile possibilitará o acesso rápido e eficiente aos relatórios de flora, apoiando a tomada de decisões e o monitoramento contínuo de áreas de interesse ambiental.

- Desenvolver um sistema mobile para visualização de relatórios;
- Implementar a API em ambiente de nuvem;
- Testar e validar a funcionalidade da IA generativa.

ESTADO DA ARTE

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são sistemas inspirados no cérebro humano, desenvolvidos para criar máquinas capazes de aprender e realizar tarefas complexas. Pioneiros como McCulloch e Pitts (1943) criaram o primeiro modelo de neurônio artificial, conhecido como LTU (Logical Threshold Unit), que executava funções lógicas simples, estabelecendo as bases para o desenvolvimento das RNAs. Essas redes simulam a capacidade de aprendizado do cérebro humano, dividindo-se em dois aspectos principais: a arquitetura, que define como as unidades de processamento estão conectadas, e o aprendizado, que ajusta os pesos das redes conforme novas informações são processadas. Com o crescimento no volume de dados disponíveis e o avanço dos processadores, as RNAs evoluíram para redes profundas (Deep Networks - DNs), que têm superado outros algoritmos de aprendizado de máquina em tarefas como reconhecimento de imagens, voz e linguagem natural. Dentre essas redes, as Convolutional Neural Networks (CNNs) destacam-se pelo desempenho notável em reconhecimento de imagens, sendo inspiradas no processamento visual do cérebro para extrair padrões cada vez mais complexos.

Aplicações práticas dessas tecnologias são observadas em Souza et al. (2020), um sistema desenvolvido para mapear plantas ameaçadas na Mata Atlântica. Utilizando CNNs, o aplicativo alcançou alta precisão na classificação de espécies, como Araucária e Pitanga, evidenciando o potencial das redes neurais na conservação ambiental. No entanto, nem todas as aplicações apresentam sucesso

semelhante. Um exemplo é o modelo de Carneiro (2023) , projetado para identificar espécies de Peroba-Rosa a partir de imagens de satélite, que apresentou baixa precisão, sugerindo que ainda há desafios a serem superados.

Em 2024, a Embrapa lançou o NetFlora ,Embrapa Agroenergia (2024b), e o MacView, Embrapa Agroenergia (2024a), ferramentas que utilizam redes neurais para a identificação de espécies florestais. O NetFlora, focado no manejo sustentável da Amazônia, usa drones e inteligência artificial para identificar espécies com valor econômico, enquanto o MacView auxilia no mapeamento de palmeiras Macaúba e Babaçu, contribuindo para o desenvolvimento de planos de manejo sustentável. Esses avanços demonstram o contínuo progresso da aplicação de RNAs em áreas de importância ecológica e econômica.

METODOLOGIA

TECNOLOGIAS

Para a criação de uma base de dados documental capaz de comportar uma grande variedade de dados não estruturados, utilizaremos o MongoDB, um banco de dados não relacional. Uma das principais características do MongoDB é a escalabilidade, já que bancos NoSQL são projetados para escalarem horizontalmente, distribuindo-se por clusters de hardware.(Amazon Web Services, 2023)

A fim de interagir com esses dados de forma dinâmica, optou-se pelo desenvolvimento de um sistema web em JavaScript, uma linguagem amplamente utilizada, orientada a objetos e compatível com diversas plataformas. Sua principal função é tornar as páginas web mais interativas, possibilitando a criação de elementos como animações complexas, botões interativos e menus pop-up.(Mozilla Developer Network, 2023)

No desenvolvimento da aplicação web, utilizamos o framework Flask, uma ferramenta voltada para a criação de aplicações web com a linguagem Python. A escolha deste framework se deve à facilidade de integração com algoritmos de IA para identificação de imagens, importados diretamente de bibliotecas Python.(Pallets Projects, 2024)

Para organizar e orientar o desenvolvimento do projeto, utilizamos o framework SCRUM. Segundo Costa et. al Costa et al. (2022), existem diversas metodologias para a gestão de projetos e programação de software, sendo o SCRUM uma das mais comumente empregadas. Essa metodologia reduz atrasos em projetos e aumenta a satisfação dos clientes em comparação com métodos tradicionais de desenvolvimento de software.

IMPLEMENTAÇÃO DO ALGORITMO TENSORFLOW

Para a implementação do algoritmo de identificação de espécies de árvores, foi criado um dataset, um conjunto de dados organizados de contendo 90 imagens da classe Embaúba, capturadas pelos próprios autores durante o mês de março de 2024. Adicionalmente, foram utilizadas 310 imagens obtidas da internet para compor uma segunda classe de árvores genéricas, com o objetivo de validar o modelo.

Neste estudo, utilizamos uma rede neural totalmente conectada (Fully Connected Neural Network) para classificar as imagens em diferentes categorias. A fim de verificar como o modelo generaliza para dados novos, ou seja, como ele se comporta com dados que não foram usados durante o treinamento, utilizou-se a validação cruzada(K-Fold Cross Validation). Neste método, os dados são divididos em K partes iguais, posteriormente ele é treinado K vezes, e a cada iteração é utilizado uma dessas partes como conjuntos de teste até completar todos. A métrica de desempenho é calculada

para cada uma das K execuções e ao final é feita a média desses valores. (TensorFlow Documentation, 2023c) O procedimento de avaliação do modelo envolve validação cruzada com 10 folds, visando garantir a robustez e a capacidade de generalização do modelo. O dataset é dividido em 10 partes, e o modelo é treinado e validado 10 vezes, utilizando, a cada rodada, uma parte distinta para validação enquanto as outras nove são usadas para treinamento.

A arquitetura da rede neural é composta por uma camada de entrada que achata a imagem (de tamanho 170×170 pixels) em um vetor, seguida por duas camadas densas (Fully Connected Layers) com 512 e 256 unidades, respectivamente, ambas usando a função de ativação ReLU. Esta função mantém valores positivos inalterados e “zera” todos os valores negativos, criando um gráfico com uma linha reta que segue o eixo horizontal (para valores negativos) e outra linha reta que segue uma inclinação positiva (para valores positivos). (TensorFlow Documentation, 2023a)

A camada de saída utiliza a função de ativação softmax para prever a classe da imagem entre as possíveis categorias. O modelo é compilado com o otimizador Adam e treinado utilizando a função de perda `sparse_categorical_crossentropy`, apropriada para tarefas de classificação multiclasse com rótulos inteiros. A entropia cruzada calcula o erro comparando as probabilidades atribuídas pelo modelo a cada classe (saída) com as probabilidades reais (valores desejados), normalmente representadas por “1” para a classe correta e “0” para as demais. O objetivo é minimizar essa perda para que o modelo faça previsões mais precisas. (TensorFlow Documentation, 2023b)

Com intuito de garantir que a rede neural seja confiável, seu aprendizado deve ser refinado gradualmente. Para tanto, o conjunto de dados é treinado várias vezes, denominando-se épocas, ou epoch em inglês. Durante o treinamento, são realizadas 100 épocas para assegurar que o modelo tenha tempo suficiente para aprender as características dos dados, com batch size definido como 32. A métrica de desempenho adotada é a acurácia, que mede a proporção de previsões corretas do modelo. Os valores de acurácia para cada fold são coletados, e a acurácia média é calculada para avaliar o desempenho geral do modelo. (TensorFlow Documentation, 2023c)

IMPLEMENTAÇÃO DE APLICAÇÃO MOBILE PARA VISUALIZAÇÃO DE RELATÓRIOS

Para o desenvolvimento de um sistema de visualização de relatórios de identificação de árvores em ambiente mobile, a aplicação será construída em React Native, proporcionando uma interface intuitiva e responsiva. Esta interface permitirá que os usuários naveguem pelos relatórios, utilizando filtros específicos por espécie, localização e outras características relevantes. Além disso, será implementada uma função de atualização em tempo real, garantindo que as informações mais recentes processadas pela API sejam refletidas nos relatórios.

A API será desenvolvida em Flask (Python) e hospedada em um ambiente de nuvem AWS, com dados armazenados em um bucket S3. Esse setup em nuvem garantirá escalabilidade e alta disponibilidade, além de segurança no controle de acesso às informações. A API acessará e retornará os dados de inventário florestal conforme solicitado pelo aplicativo mobile, após realizar testes de conectividade e otimizações de desempenho para melhor integração entre API e aplicação.

Para validar a funcionalidade da inteligência artificial generativa utilizada na identificação das espécies arbóreas, serão realizados testes de precisão e eficiência, utilizando conjuntos de dados de teste e métodos de benchmarking. A IA será avaliada quanto à sua capacidade de identificar corretamente espécies nativas e invasoras. Por fim, testes de integração garantirão que os relatórios gerados pela IA estejam formatados adequadamente para visualização no sistema mobile, assegurando a consistência e confiabilidade dos dados apresentados aos usuários.

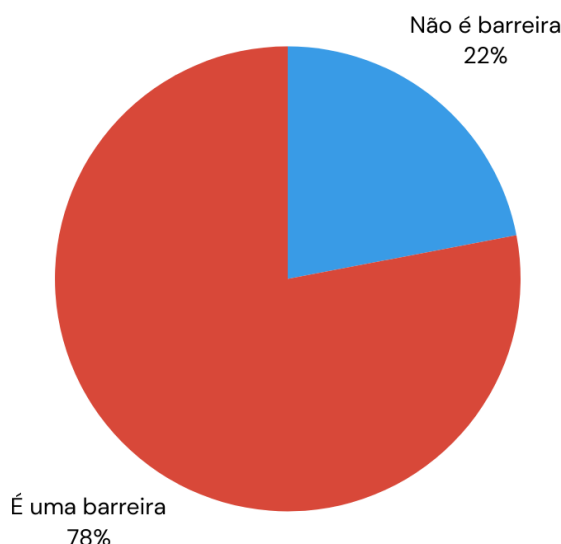
RESULTADOS PRELIMINARES

PESQUISA DE CAMPO E ANÁLISE ESTATÍSTICA

A pesquisa de campo foi desenvolvida por meio de questionário, contendo quatro perguntas que avaliam a adoção de novas tecnologias no campo da preservação do meio ambiente. Foram feitas nove entrevistas em órgãos públicos como CETESB e Fundação Florestal, bem como um escritório de Engenharia Ambiental. A primeira pergunta buscava conhecer se aquele órgão ou empresa estava ligado e comprometido com a preservação do meio ambiente, e foi obtida resposta positiva 100% das entrevistas. A segunda pergunta busca avaliar se na opinião do entrevistado, o custo envolvido na realização de um levantamento de flora, é uma barreira para sua execução. 22% dos entrevistados responderam que não é uma barreira, enquanto os outros 78% concordam que o custo é um fator importante na realização desse serviço. Figura 1

Figura 1 – Respostas tabuladas

O custo de um inventário florestal é uma barreira para sua execução?



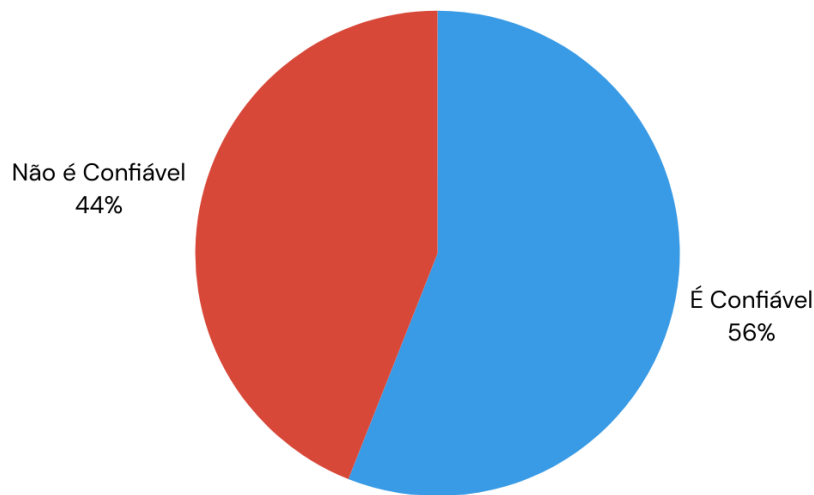
Fonte: Autoria Própria (2024)

Na terceira pergunta levantou-se a disponibilidade de ferramentas tecnológicas que auxiliem a preservação de árvores no meio ambiente. Um entrevistado respondeu que no seu setor não dispunha de quaisquer recursos, ainda que necessários. Todos os outros responderam que possuem tecnologias das mais diversas: Drones, Aerofotos, Mapa de Arborização urbana (Online), GPS, Google Earth, Sobrevoos de helicóptero, plataforma ArcGis, MITRA, Cartas Topográficas, máquina fotográfica, banco de dados diversos. A quarta pergunta investigou o nível de confiança dos entrevistados em análises feitas por IA como auxílio para tomadas de decisão nas funções que desempenham. 44% dos entrevistados responderam não confiar em análises feitas por IA, entretanto 56% acreditam que ela possa ser usada como ferramenta para auxiliar tomadas de decisões. Figura 2

A pesquisa nos revelou que existe uma carência de ferramentas tecnológicas de monitoramento e imageamento aéreo. Isso é evidenciado no uso frequente de aerofotos antigas e cartas topográficas impressas. Pela falta desses recursos, o levantamento de espécies para um inventário florestal resulta

Figura 2 – Respostas tabuladas

Análises feitas por IA são confiáveis para tomada de decisão?



Fonte: Autoria Própria (2024)

em um serviço de alto custo, e que são feitos somente em caso de extrema necessidade. Essa situação reflete na visão que os profissionais têm sobre as IA's, em que as respostas ficaram divididas entre se elas são viáveis ou não para tomadas de decisão.

DESEMPENHO DO MODELO

Resultados da Validação Cruzada O desempenho do modelo foi avaliado utilizando validação cruzada (K-Fold Cross Validation) com 10 folds. A seguir estão os resultados de acurácia de validação para cada fold:

- Fold 1: 92.5%
- Fold 2: 85.0%
- Fold 3: 85.0%
- Fold 4: 90.0%
- Fold 5: 87.5%
- Fold 6: 80.0%
- Fold 7: 82.5%
- Fold 8: 82.5%
- Fold 9: 77.5%
- Fold 10: 82.5%

Análise da Acurácia Média

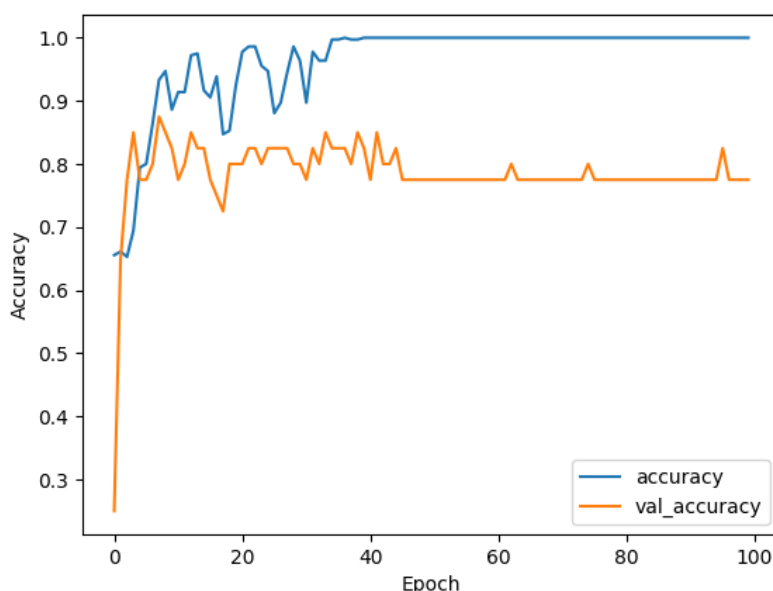
A acurácia média de validação obtida ao longo dos 10 folds foi de 84.5%, indicando um bom desempenho do modelo na tarefa de classificação. Esta métrica reflete a capacidade do modelo de generalizar bem para novos dados.

Variabilidade entre os Folds

Houve alguma variação nos resultados de acurácia entre os diferentes folds, com um mínimo de 77.5% e um máximo de 92.5%. Esta variabilidade é esperada devido a diferenças na distribuição dos dados em cada fold e sugere que, enquanto o modelo performa consistentemente bem, há espaço para melhorias na generalização. Figura 3

O modelo foi treinado por 100 épocas com um batch size de 32, usando o otimizador Adam e a função de perda `sparse_categorical_crossentropy`. Este número de épocas foi suficiente para permitir ao modelo aprender as características dos dados sem superajustar aos dados de treinamento. A função de ativação ReLU nas camadas densas e softmax na camada de saída ajudaram a capturar relações não-lineares e a classificar corretamente as imagens.

Figura 3 – Evolução da acurácia ao longo dos treinamentos



Fonte: Autoria Própria (2024)

CONCLUSÃO

Apresente aqui as conclusões do seu trabalho, verifique se o objetivo foi cumprido, apresenta respostas para o problema da pesquisa, relate as limitações e as recomendações do estudo. Por fim, coloque sugestões para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. **A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015.

Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/sobre/>

AMAZON WEB SERVICES. AWS NoSQL. **Web site:** <https://aws.amazon.com/pt/nosql>, 2023. Acessado em 5 de Outubro de 2023.

ANDRADE, Beatriz Rayana Damásio de et al. Avaliação do potencial antimicrobiano do extrato Etanólico de Folhas da Cecropia pachystachya t.(Embaúba). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 10, e85101018679–e85101018679, 2021.

BGCI. State of the World's Trees. **Botanic Gardens Conservation International**, 2021.

CARNEIRO, Letícia da Silva. Uso de geotecnologias para mapeamento da peroba-rosa (Aspidosperma polyneuron Müll. Arg), 2023.

CARVALHO, PER. Embaúba: Cecropia pachystachya. In: CARVALHO, PER Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: Embrapa . . ., 2006.

COSTA, Pedro Paulo Santana et al. Metodologias ágeis baseadas em SCRUM: uma revisão sistemática da literatura, 2022.

EMBRAPA AGROENERGIA. **MacView**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Parque Estação Biológica - PqEB, s/nº, Brasília, DF. 2024a.

Disponível em: <https://sistemas.cnpae.embrapa.br/macview/inicial/>

.

EMBRAPA AGROENERGIA. **Netflora: Guia prático para detecção de espécies florestais a partir de imagens de drones e inteligência artificial**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Parque Estação Biológica - PqEB, s/nº, Brasília, DF. 2024b.

Disponível em: <https://github.com/NetFlora/Netflora>

.

MAPBIOMAS. **Mapeamento Anual de Cobertura e Uso da Terra na Mata Atlântica - Coleção 6**. [S. l.], 2021. Acessado em 01/06/2023.

MCCULLOCH, Warren S; PITTS, Walter. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. **The bulletin of mathematical biophysics**, Springer, v. 5, p. 115–133, 1943.

MOZILLA DEVELOPER NETWORK. Documentação do JavaScript na MDN. **Web site:** <https://developer.mozilla.org/pt-BR/docs/Web/JavaScript>, 2023. Acessado em 5 de outubro de 2023.

PALLETS PROJECTS. **Flask Documentation**. [S. l.: s. n.], 2024.

<https://flask.palletsprojects.com/en/stable/>. Accessed: 2024-05-04.

SOS MATA ATLÂNTICA ET AL. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica**. São Paulo, 2022.

SOUZA, Felipe de et al. PlantAI: Aplicativo de classificação e localização de plantas em risco de extinção na Mata Atlântica. In: SBC. ANAIS do XI Workshop de Computação Aplicada à Gestão do Meio Ambiente e Recursos Naturais. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–10.

TENSORFLOW DOCUMENTATION. **tf.keras.activations.relu**. [S. l.: s. n.], 2023a. Accessed: 2023-11-11.

Disponível em:

https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/activations/relu

.

TENSORFLOW DOCUMENTATION. **tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy**. [S. l.: s. n.], 2023b. Accessed: 2023-11-11.

Disponível em: https://www.tensorflow.org/api_docs/python/tf/keras/losses/SparseCategoricalCrossentropy

.

TENSORFLOW DOCUMENTATION. **Writing a training loop from scratch**. [S. l.: s. n.], 2023c. Accessed: 2023-11-11.

Disponível em: https://www.tensorflow.org/guide/keras/writing_a_training_loop_from_scratch?hl=pt-br

.