

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE BIOTECNOLOGIA E PRODUÇÃO VEGETAL E ANIMAL

GABRIEL HENRIQUE DE AGUILAR FERNANDES

**EFICÁCIA DE DIFERENTES APLICATIVOS PARA *SMARTPHONES* NA
IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE ÁRVORES NATIVAS USADAS NA
RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA**

ARARAS -SP

2025

GABRIEL HENRIQUE DE AGUILAR FERNANDES

**EFICÁCIA DE DIFERENTES APLICATIVOS PARA *SMARTPHONES* NA
IDENTIFICAÇÃO DE ESPÉCIES DE ÁRVORES NATIVAS USADAS NA
RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA**

Trabalho Final de Graduação apresentado à
Universidade Federal de São Carlos para
obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Ricardo Augusto Gorne Viani

Araras-SP

2025

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a todos que desde o início acreditaram em qualquer potencial que eu pudesse ter para chegar até aqui.

E por início, me refiro há um pouco mais de duas décadas atrás. Aos meus pais, Esdras e Telma, que sempre me deram as oportunidades para eu seguir o caminho que quisesse, orientando quando necessário. Me deram espaço e recursos para desenvolver criatividade, senso crítico, curiosidade. Me deram um lar onde eu pudesse sempre ser quem sou, esse menino estranho, que coleciona desde pequenos insetos até pedaços de árvores centenárias, tira fotos de tudo que vê pela frente, água, terra, pedra, transformou os espaços da casa em um grande amontoado de verde onde quer que houvesse espaço. Agradeço por até hoje pelo carinho e pela preocupação, que estão estampados desde as pequenas atitudes e sempre foram muito claros.

Agradeço à minha avó, Valdívia, dona Valda, Valda ou simplesmente Vovó. Você sempre esteve em um espaço muito especial da minha vida, e está nas minhas melhores lembranças. Do sabor e do cheiro da farinha láctea na tarde de quarta-feira, dos tempos onde os dias da semana ainda não significavam muita coisa. Da flor-de-maio florida na área, do piso lavado dia sim dia não, sempre fresco e limpo para eu deitar, da Sessão da Tarde na televisão, da luz que entrava pela janela e esquentava seus pés com meia e chinelo, sempre me fazendo companhia. Desde quando tentaram me colocar na escola, mas eu preferi ficar com você, até quando me mudei para fazer faculdade, mas acho que ainda preferia ficar com você. Dos choros nas despedidas, que herdei de você, sempre no portão emotiva quando a gente saía de casa por mais de um dia. Do quintal que me emprestou para transformar em um lugar de conforto, conforto que parece um abraço seu.

Agradeço à minha irmãzinha, Nicole, que tenho ainda dificuldade de aceitar que não é mais uma criança, mas vejo que é a mesma Nicole que peguei no colo, a mesma menina que vi perder os dentes e ganhar personalidades (no plural mesmo), a mesma que me acompanhou durante os tempos de aula remota da pandemia, que vi crescer e se tornar uma pessoa de quem tenho muito orgulho e admiração. Para a minha outra irmã, que apesar das rivalidades por brincadeira (ou não), faz o seu papel de irmã mais velha e se importa comigo. É difícil admitir, mas também tenho orgulho de você, justamente pelo que temos de diferente. Pela facilidade com que você faz parecer ser sair por aí, começar algo novo e perder menos tempo no “será?”.

Agradeço à minha namorada, Giovana, à mulher que faz meus dias terem mais vida. Que do momento que acordo ao instante que deito a cabeça no travesseiro, está sempre comigo, é sempre um dos motivos para eu continuar tentando ser melhor. À pessoa que contribuiu e

moldou tanto do que sou que não me reconheço sem. A quem acompanhou toda essa jornada que foi a realização desse trabalho, da idéia que me foi dada, dos momentos de empolgação com novas descobertas aos momentos difíceis que todo trabalho acadêmico tem. Você sempre esteve lá. E pensar em você me fez continuar, por mais difícil que tenha sido. Seu equilíbrio, sua serenidade, sua doçura, sua maturidade, que somados ao meu sentimentalismo exagerado, me fez ver sentido em muita coisa que parecia não ter. Você é a pessoa mais interessante, mais inteligente, mais humana que já conheci, e sou eternamente grato por tudo isso.

Agradeço a todos professores que já tive, da creche ao ensino superior, que contribuíram com a luz que me fez encontrar e entender melhor peças do quebra-cabeça que fui formando ao longo desses anos. Por todo ensinamento, todo incentivo e toda correção. Por me apresentarem os mais diferentes caminhos que existem, e por serem inspirações para que eu pudesse ver o meu. Agradeço especialmente ao meu orientador, professor Ricardo, que me aceitou logo no início da graduação como membro de seu laboratório, o Laboratório de Silvicultura e Pesquisas Florestais (Laspef), que possivelmente viu em mim capacidade para ser parte deste e outros trabalhos ao longo desse tempo e sempre se mostrou presente e disposto a orientar, aconselhar e acolher. Que alimentou minha paixão por plantas, por árvores e por perguntas, que respondeu muitas delas e fez nascer tantas outras.

Por fim, agradeço a todos meus amigos, que ao longo do desenvolvimento desse trabalho estiveram próximos e fizeram ser um pouco mais leve. Aos amigos do Laspef, aos que conheci melhor e aos com quem convivi por menos tempo. Aos que viveram comigo a mesma ou diferentes fases da vida acadêmica, os que tiveram papel importante de apoio como uma espécie de padrinhos e os para quem eu tentei desempenhar a mesma função. A todos que me auxiliaram na concepção, no incentivo e na execução deste trabalho final de graduação, aos que auxiliaram desde ideias com o delineamento e análise dos resultados até os que foram comigo para campo com sol forte, chuva repentina e todas outras surpresas que o campo traz.

Sem vocês, nada disso seria possível.

“Um passarinho pediu a meu irmão para ser sua árvore.
Meu irmão aceitou de ser a árvore daquele passarinho.
No estágio de ser essa árvore, meu irmão aprendeu de
sol, de céu e de lua mais do que na escola. (...)”

- Manoel de Barros

RESUMO

A identificação botânica é de extrema importância em diversas etapas da restauração ecológica, seja no cumprimento de exigências legais, no monitoramento ecológico ou na garantia do sucesso das ações de restauração. Muitos são os métodos disponíveis para este fim, e mais recentemente se destaca o uso de inteligência artificial (IA) no reconhecimento das espécies, como em aplicativos para *smartphones*. Este trabalho avaliou a eficácia dos aplicativos PlantNet, iNaturalist e Google Lens na identificação de espécies arbóreas nativas utilizadas na restauração da Mata Atlântica. Foram fotografadas folhas, flores e frutos e submetidas aos aplicativos sob condições padronizadas. Os resultados indicaram melhor desempenho do iNaturalist, seguido pelo PlantNet, ambos com altas taxas de acerto em primeira sugestão e baixas proporções de erro, enquanto o Google Lens apresentou menor confiabilidade, com elevada frequência de sugestões incorretas. Observou-se maior acurácia quando utilizadas imagens de flores, embora essa condição nem sempre esteja disponível. Verificou-se ainda que o uso de fundos artificiais nas fotografias diminuiu a precisão. Concluiu-se que, embora os aplicativos especializados representem ferramentas promissoras para apoiar atividades de identificação em restauração ecológica, seu uso isolado não substitui o conhecimento botânico, sendo necessária a validação das sugestões para evitar erros que possam comprometer etapas da restauração.

Palavras-chave: identificação botânica; inteligência artificial; ciência cidadã.

ABSTRACT

Botanical identification is of extreme importance in several stages of ecological restoration, whether in the fulfillment of legal requirements, in ecological monitoring, or in ensuring the success of restoration actions. Many methods are available for this purpose, and more recently the use of artificial intelligence (AI) in species recognition has stood out, such as in smartphone applications. This work evaluated the effectiveness of the applications PlantNet, iNaturalist, and Google Lens in the identification of native tree species used in the restoration of the Atlantic Forest. Leaves, flowers, and fruits were photographed and submitted to the applications under standardized conditions. The results indicated better performance of iNaturalist, followed by PlantNet, both with high rates of correct identification in the first suggestion and low proportions of error, whereas Google Lens showed lower reliability, with a high frequency of incorrect suggestions. Higher accuracy was observed when images of flowers were used, although this condition is not always available. It was also verified that the use of artificial backgrounds in the photographs reduced precision. It was concluded that, although specialized applications represent promising tools to support identification activities in ecological restoration, their isolated use does not replace botanical knowledge, and validation of the suggestions is necessary to avoid errors that may compromise stages of restoration.

Keyword: botanical identification; artificial intelligence; citizen science.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	7
2.1. OBJETIVO GERAL.....	7
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL.....	8
3.2. ESPÉCIES.....	9
3.3. FOTOGRAFIAS EM CAMPO.....	9
3.4. APLICATIVOS DE IDENTIFICAÇÃO.....	12
3.4.1. PlantNet.....	12
3.4.2 Google Lens.....	13
3.4.3. iNaturalist.....	14
3.4. PADRONIZAÇÃO NO USO DOS APLICATIVOS.....	17
3.5. ANÁLISE DE DADOS.....	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
5. CONCLUSÕES.....	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	31

1. INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica é o domínio fitogeográfico que se estende ao longo de quase toda a costa brasileira, apresentando grande variedade de formações de vegetação, condições edafoclimáticas, habitats e, conseqüentemente, enorme riqueza de espécies e alto endemismo. É considerada um *hotspot* da biodiversidade, abrigando espécies que sofrem ameaças de frentes de destruição do bioma (Myers *et al.*, 2000).

Na esfera federal, a Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006 (Brasil, 2006), amplamente conhecida como “Lei da Mata Atlântica”, agrupa os principais mecanismos legais responsáveis por regulamentar a utilização e proteção da vegetação do bioma. Em seu texto, a lei prevê o corte, a supressão ou a exploração de vegetação primária ou secundária de forma distinta, diferenciando-se também com o estágio de regeneração da vegetação secundária. A definição de floresta primária e dos diferentes estágios de regeneração de floresta secundária fica a encargo do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que a faz por meio de diversas resoluções para os estados brasileiros que possuem a Mata Atlântica como cobertura nativa e para formações específicas, como a Restinga (Brasil, 1994a, 1994b, 1994c, 1999d, 1994e, 1994f, 1994g, 1994h, 1994i, 1994j, 1994k, 1994l, 1994m, 1994n, 1996, 1999, 2009, 2012). Dentre outros parâmetros analisados na definição do estágio de regeneração, é necessária a observação da diversidade e dominância de espécies e da presença das espécies vegetais indicadoras, listadas em cada Portaria CONAMA para sua área de abrangência (Brasil, 1993).

A Lei da Mata Atlântica também veda a intervenção em vegetação que contenha espécies da flora ameaçadas de extinção, estas definidas no país pela “Lista Oficial de Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção”, anexa à Portaria do Ministério do Meio Ambiente (MMA) nº 148, de 7 de junho de 2022 (Brasil, 2022), ou em âmbito estadual no caso de unidades da federação que possuam legislação específica, como ocorre por meio da “Lista Oficial das Espécies da Flora do Estado de São Paulo Ameaçadas de Extinção”, publicada por meio da Resolução da Secretaria Estadual do Meio Ambiente (SMA) nº 57, de 05 de junho de 2016 (São Paulo, 2016).

O monitoramento da restauração florestal é de extrema importância na avaliação do sucesso de projetos e programas após implantados, tanto no que diz respeito à trajetória ecológica seguida na área onde houve a intervenção, quanto à sua viabilidade econômica, ao cumprimento do seu papel social e aspectos operacionais e de gestão. No protocolo proposto pelo Pacto pela Restauração da Mata Atlântica (Pacto, 2013), são apontados vários critérios

para avaliação do princípio ecológico, cujos indicadores utilizados na determinação das suas condições frequentemente exigem a identificação de espécies.

Em uma primeira fase do monitoramento, o objetivo é gerar a estruturação de cobertura vegetal em ao menos 70% da área por copas de árvores não invasoras. Para tal, é necessário identificar as espécies arbóreas presentes e subtrair do total da área a porção desprovida de cobertura ou coberta por espécies invasoras. Depois avalia-se a composição de espécies, apontando as nativas com maior potencial de recobrimento e a presença de invasoras. Em uma segunda fase, atingido o percentual de cobertura, a estrutura é avaliada com base na densidade e área basal de indivíduos não invasores, desconsiderando novamente as espécies indesejadas. Por fim, quantifica-se a riqueza de espécies (ou morfoespécies, quando não identificadas até categoria específica) regionais e exóticas totais da área, contabilizando também densidade e composição de invasoras (Pacto, 2013).

Com influência e com base no conhecimento adquirido após as propostas construídas pelo Pacto, foi elaborado o protocolo oficial para o monitoramento da restauração vigente no estado de São Paulo, proposto por meio da Resolução da Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SMA) nº 32, de 03 de abril de 2014 (São Paulo, 2014) e com metodologia descrita pela Portaria da Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais (CBRN) nº 01, de 2015 (São Paulo, 2015). Por meio destes documentos, são apontados três indicadores ecológicos e respectivos valores de referência adequados aos três, cinco, dez e quinze anos e os que devem ser atingidos até os vinte anos para atestar a recomposição de uma área em restauração e finalizar um compromisso de recuperação firmado em termos legais. Os indicadores a serem monitorados são: percentual do solo coberto por copa de espécies arbóreas nativas, riqueza total e densidade de indivíduos regenerantes, todos esses parâmetros passando pela identificação das espécies ou morfoespécies observadas.

Para cumprimento de todas as obrigações legais descritas e efetivo acompanhamento de parâmetros ecológicos, relacionados à conservação e restauração das diferentes fitofisionomias da Mata Atlântica, é essencial a habilidade de identificação correta das espécies vegetais nativas. Esse fim pode ser alcançado através de diversos métodos, alguns já muito conhecidos e consolidados, outros em expansão e sendo estudados, buscando aumentar a eficiência nesse processo.

Na tentativa de agrupar os seres vivos de forma lógica, o naturalista sueco Carl von Linnaeus, no século XVIII, o fazia por meio da reunião de características morfológicas semelhantes, em hierarquias, como apresentado nas suas obras *Species Plantarum* e *Systema*

Naturae (Linnaeus, 1753; Linnaeus, 1758). Entrando no século XIX, havia um esforço de naturalistas em descrever a biodiversidade mundial, onde se organizavam expedições científicas com objetivos grandiosos. Foi o caso do botânico alemão Carl Friedrich Philipp von Martius, que veio ao Brasil na companhia do zoólogo Johann Baptist von Spix no ano de 1817, com os objetivos, dentre muitos outros atribuídos pela corte de seu país, de conhecer e entender a flora tropical, bem como apontar usos medicinais, artesanais e industriais dados a esta (Lahmeyer, 2017). Dessas expedições, os naturalistas acumulavam além de anotações escritas e ilustrações da biodiversidade, amostras de indivíduos inteiros ou partes vegetais, as quais eram secas e prensadas na forma de exsicatas.

Ao retornarem ao seu continente, as exsicatas eram depositadas pelos cientistas em coleções vegetais denominadas herbários, onde muitas delas são encontradas preservadas até os dias de hoje. Assim como nesse momento histórico, as amostras de herbários possuem ainda hoje grande importância no registro da diversidade florística e servem como fonte confiável para a identificação botânica, sendo base para comparação morfológica entre amostras das plantas de interesse e as já existentes e identificadas em herbários que retratam a flora regional.

Apesar de muito consolidada, a identificação de plantas em herbários exige a confecção de exsicatas em campo, sendo bastante onerosa quando em maior escala. A prática que normalmente se estabelece é a de identificação já em campo da maior parte da riqueza o quanto for possível, levando para consulta posterior amostras de espécies sem identificação conclusiva ou que se deseja depositar em herbários, sem nesse caso fim de obter a identificação.

Outra forma bastante difundida de identificação botânica posterior à saída de campo é pela consulta de livros, que podem conter descrição morfológica das espécies, informações acerca da biologia, chaves dicotômicas ou fotografias e ilustrações de espécies vegetais. Neste caso podem ser utilizadas fotografias feitas das plantas, sem necessidade da montagem de exsicatas. Há livros que tratam de árvores no geral (Lorenzi, 2021; 2022; 2025; Carvalho, 2003; 2006; 2008; 2010; 2014) ou de um *táxon* vegetal específico (Lorenzi, 2010; Roque, Teles, Nakajima, 2017), outros que se restringem a biomas, formações e localidades específicas (Ramos *et al.*, 2008; Durigan *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2018; 2021; 2024) e outros ainda que relacionam as plantas com temas como uso alimentício, medicinal, forma de polinização e música (Kuhlmann, 2018, 2025; Lorenzi, 2021; Viani, 2023).

Ainda se tratando de livros para a identificação botânica, existem os guias de campo, que apresentam tamanho reduzido e facilitam que sejam levados e utilizados em campo. Esses

geralmente tratam de locais ou biomas específicos, contendo menor quantidade de escrita, mais imagens e outras ferramentas como escalas e calendários de fenologia, incrementando seu uso prático (Durigan *et al.*, 2012; Júnior, 2005; Kuhlmann, 2020; Lorenzi, 2014). Além dos impressos, guias de campo estão disponíveis online, como os do *website* do *Field Museum* (Field Museum, 2025), e são geralmente bastante pontuais quanto à área de abrangência e *táxon* que este apresenta. Só para o Brasil, o banco de dados conta com mais de 450 guias que abordam a flora e fauna de locais como biomas, Unidades de Conservação e ilhas específicas, além de específicos para famílias e gêneros de plantas.

Outra ferramenta digital que auxilia na identificação de espécies são as floras e os herbários virtuais (Flora e Funga do Brasil, 2020; Re flora, 2013; POWO, 2025; WFO, 2025), que disponibilizam imagens de alta resolução das exsicatas de herbários aos redor do mundo e fornecem informações taxonômicas, acerca da biologia e ecologia das espécies e são de fácil consulta.

Vários desses e outros veículos impressos ou digitais contam com ferramentas em comuns, como a de chaves dicotômicas. Tratam-se de chaves que apresentam duas possíveis situações morfológicas em cada etapa (ausência ou presença de espinhos, filotaxia oposta ou alterna, por exemplo), que afunilam as possibilidades e levam à identificação a categoria de família, gênero ou espécie. Há chaves mais gerais, geralmente chegando a um *táxon* mais abrangente (como família), e chaves mais específicas, que chegam a uma identificação mais precisa.

Além disso, é comum que em saídas de campo os responsáveis pelo trabalho de coleta de dados sejam acompanhados de parataxonomistas, também conhecidos como “mateiros”. Eles são residentes da região onde se encontra a área de estudo que possuem profundo conhecimento prático acerca da fauna e flora local, dado o habitual contato que possuem com elas, utilizando de suas matérias-primas para fins medicinais, alimentícios e outros. Os mateiros são peça-chave no reconhecimento de espécies locais em inventários com grande eficiência, sendo uma importante expressão dos conhecimentos de comunidades tradicionais.

De forma similar, o conhecimento científico formal também tem grande importância na identificação por meio da consulta de pesquisadores na área da botânica. Especialistas são contratados, seja em campo ou no pós-campo, recebendo registros ou coletas de espécies gerais ou do grupo que estudam, na forma de fotografias ou exsicatas. A consulta posterior a especialistas também se consolidou por meio dos grupos interativos em redes sociais, como o DetWeb, comunidade brasileira no Facebook que reúne acadêmicos e técnicos de todo o país

e desde 2011 ocupa o papel de um importante instrumento de interação entre os participantes com objetivo em comum de identificar espécies vegetais.

Mais recentemente, vêm se testando formas de identificar espécies botânicas por sensoriamento remoto, com redes neurais capazes aprender a reconhecer padrões visuais como morfologia, cor e textura através de imagens e retornar uma identificação, permitindo maior escalabilidade da atividade e suprir a crescente demanda por conservação, restauração e monitoramento de florestas tropicais. Beloiu *et al.* (2023) obtiveram 76% de acurácia média no reconhecimento de quatro espécies arbóreas de florestas temperadas utilizando um modelo de Rede Neural Convolutacional (Convolutional Neural Network) em imagens RGB.

O termo “inteligência artificial” surgiu formalmente na conferência de Dartmouth, em 1956, onde o pesquisador John McCarthy o utilizou para descrever máquinas com capacidade de raciocínio similares às dos humanos. Este campo já vinha sendo estudado por pioneiros como Alan Turing, que nas décadas de 1940 e 1950 exploravam a automação da cognição humana e traziam avanços essenciais em relação ao tema. Turing foi responsável por desenvolver um método operacional para avaliar a similaridade do comportamento de máquinas ao de seres humanos, sendo conhecido posteriormente como Teste de Turing, que aponta ou não se são distinguíveis. (Oliveira; Figueiredo, 2024).

Com o avanço da Inteligência Artificial (IA), surgem jogos, testes e programas conversacionais, mas no momento histórico ainda apresentando problemas de replicar situações reais complexas. Estes problemas foram sendo resolvidos conforme desenvolveram-se os modelos de aprendizagem como *machine learning* e *deep learning*, que permitiram que máquinas superassem humanos em algumas atividades de raciocínio lógico. Esse conhecimento culminou no desenvolvimento de arquiteturas das redes convolucionais, capazes de reconhecer padrões visuais em imagens, e os *transformers*, com função similar mas trabalhando com informações na forma de texto (Oliveira; Figueiredo, 2024).

Um exemplo recente da aplicação de inteligência artificial com biodiversidade em larga escala foi o Xprize Rainforest (XPRIZE, 2024), uma competição global com duração de 5 anos, iniciada em 2019 e finalizada em dezembro de 2024. Na ocasião, times de todo o mundo se reuniram sob o desafio final de mapear, exclusivamente com ferramentas de sensoriamento remoto, a biodiversidade de 100 hectares da Floresta Amazônica em 24 horas e gerar um relatório nas próximas 48 horas. Com equipe multidisciplinar, o time brasileiro denominado *Brazilian Team* utilizou de estratégias variadas para a determinação da riqueza de espécies vegetais, como coleta e determinação de DNA presente no ambiente e sobrevôo de

drones, obtendo imagens de alta resolução do dossel e analisando com auxílio de inteligência artificial (Brazilian Team, 2024).

Dessa forma, assim como nos usos em larga escala, a IA na identificação botânica surge recentemente também de formas mais acessíveis para o público geral. Diversos aplicativos para *smartphones* com essa funcionalidade estão disponíveis, muitos destes gratuitos, não implicando em um custo adicional para aqueles que já utilizam normalmente aparelhos celulares. Assim, esses aplicativos trazem uma importante ferramenta científica para a comunidade, sendo um excelente exemplo de plataforma para a prática da ciência cidadã.

No entanto, o uso destes aplicativos fica limitado a questões relacionadas com a sua eficácia na identificação correta das espécies. Nesse sentido, o presente trabalho visou testar e comparar três aplicativos específicos (Google Lens, PlantNet e iNaturalist) em espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica e frequentemente utilizadas na restauração do bioma, verificando a capacidade destas ferramentas em auxiliar em diferentes processos essenciais da cadeia da restauração ecológica, assim como as particularidades de fotos de diferentes órgãos e fundos utilizados nas fotografias.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia e comparar aplicativos de *smartphones* na identificação de espécies de árvores nativas usadas na restauração da Mata Atlântica, através de fotografias de diferentes órgãos vegetais e sobre diferentes fundos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar e comparar a eficácia de identificação de três aplicativos específicos de identificação de plantas (PlantNet, Google Lens e iNaturalist)
- Verificar se o órgão vegetal fotografado (folha, flor ou fruto) interfere na acurácia da identificação botânica pelos aplicativos de identificação de plantas.
- Verificar se o fundo utilizado nas fotografias (natural ou artificial) interfere na acurácia da identificação botânica.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL

O estudo foi realizado no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em Araras-SP. O bioma predominante no município é a Mata Atlântica, contendo também menor porção de Cerrado (IBGE, 2024). A fitofisionomia de Mata Atlântica encontrada no local de estudo é a Floresta Estacional Semidecidual, caracterizada pela sazonalidade, com estação seca e chuvosa marcada, e presença de espécies decíduas.

Os indivíduos arbóreos foram fotografados em seis diferentes áreas de restauração florestal no *campus*. As áreas apresentam idades de variam entre 4 e 12 anos de implantação, variando também quanto ao método de restauração: cinco áreas são de plantio de mudas em área total (dessas, uma contendo plantio de enriquecimento posterior e manejo para produção cafeeira no sub-bosque) e uma de sementeira direta. As áreas variam bastante em estrutura, composição de espécies, estágio de regeneração e aparência geral, como evidenciado na Figura 1.

Figura 1. Aspecto geral das áreas de restauração, evidenciando diferenças de estrutura e composição de espécies entre as áreas.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

3.2. ESPÉCIES

Foram selecionadas 8 espécies arbóreas nativas da Floresta Estacional Semidecidual (Tabela 1). Estas espécies são comuns em áreas de restauração da fitofisionomia na região de estudo e presentes em áreas do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Todos os nomes científicos foram conferidos seguindo a base de dados da Flora e Funga do Brasil (Reflora, 2020) e do Plants of the World Online (POWO, 2025), e os nomes populares foram selecionados dessas mesmas fontes. Em casos de divergência entre as fontes, ambos nomes foram considerados corretos para fins de identificação pelos aplicativos. Foram considerados corretos todos os sinônimos constantes para as espécies selecionadas quando sugeridos pelos aplicativos.

Tabela 1. Espécies de árvores nativas selecionadas.

Família	Espécie	Nome popular
Anacardiaceae	<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi	aroeira-pimenteira
	<i>Inga marginata</i> Willd.	ingá-feijão
Fabaceae	<i>Mimosa bimucronata</i> (DC.) Kuntze	maricá
	<i>Parapiptadenia rigida</i> (Benth.) Brenan	gurucaia, angico-vermelho
Lythraceae	<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.	dedaleiro
Malvaceae	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	mutambo
Solanaceae	<i>Solanum lycocarpum</i> A.St.-Hil.	lobeira
Verbenaceae	<i>Citharexylum myrianthum</i> Cham.	pau-viola, tucaneiro

Fonte: elaborado pelo autor.

3.3. FOTOGRAFIAS EM CAMPO

As idas às áreas de restauração foram realizadas entre outubro de 2024 e maio de 2025. De cada espécie foram localizados e fotografados os indivíduos, sendo feitas três fotos de cada um dos três órgãos vegetais selecionados: folha, flor e fruto (Figura 2). As repetições de fotos de indivíduos de uma espécie e também no mesmo indivíduo, além de minimizar o erro associado ao tamanho do espaço amostral, também tiveram a função de melhor representar a variabilidade genética e plasticidade fenotípica das espécies em resposta aos

diferentes ambientes, idades, localização na planta, nutrição e demais fatores que podem alterar sua morfologia dentro da mesma espécie.

Figura 2. Fotos de folhas, flores e frutos de *Tabernaemontana hystrix*.



Fonte: autoria própria.

Não foi possível encontrar a totalidade de indivíduos em fase reprodutiva, seja por fenologia (época de presença desses órgãos reprodutivos não contemplada pelas idas a campo) ou pela fisiologia (plantas ainda não os produzem nos plantios por conta de idade, espécies dióicas). Inicialmente o plano era fotografar uma quantidade maior de plantas (cerca de 50 espécies com 25 indivíduos cada), porém a quantidade de fotografias analisadas foi reduzida na etapa posterior para cerca de 440 imagens por conta da dificuldade na operação com o grande volume de dados.

As fotografias foram tiradas de forma a parecerem naturais e como comumente são tiradas e encontradas nos bancos de dados dos aplicativos, sem grande rigor botânico. Dessa forma, fotos de “folha” na verdade representam fotos de um ramo contendo uma ou mais folhas completas, logo estão presentes também outras porções da planta como caule e é possível observar inclusive filotaxia. Fotos de “flor” e “fruto”, na sua maioria, foram tiradas na própria planta, representando em alguns casos a inflorescência ou infrutescência da planta e contendo porções de folhas, caule e outras estruturas na imagem, o foco sendo porém no órgão que se objetivou.

Adotou-se a metodologia de $\frac{2}{3}$ das fotografias em fundo natural, tiradas da parte vegetal na própria planta ou retirada porém não posta sobre uma superfície; e $\frac{1}{3}$ em fundo artificial, sendo esta com prancheta plástica de cor preta ou pano preto atrás do órgão fotografado, buscando dar contraste e melhor foco à espécie e evitando que se confunda com as demais plantas ao redor. Em caso de plantas com partes muito altas, utilizou-se um podão para alcançar e coletar da árvore um ramo contendo o órgão desejado (Figura 3).

Figura 3. Coleta de ramo utilizando o podão e exemplo de foto de *Mimosa bimucronata* com fundo artificial (pano preto) .



Fonte: Autoria própria.

Para melhor organização posterior das fotografias, foi utilizado o aplicativo “Timestamp Camera”, contendo a funcionalidade de estampar em cada foto tirada número de índice, data e hora, coordenadas geográficas, município, país e altitude (Figura 2). O nome do arquivo também foi modificado de forma a seguir uma sequência e facilitar futuras buscas e manipulações com esses arquivos. Todas as fotos foram armazenadas em cartão de memória reservado exclusivamente para as mesmas, também visando futuros usos.

As fotografias foram todas tiradas em smartphone comum, considerado de entrada, Moto e(7) plus, que possui câmera possui 12,00MP e as fotos resultantes na resolução

3000x4000p. Essa qualidade de imagem representa bem os padrões de smartphones populares e não afeta negativamente o posterior reconhecimento pelos aplicativos. Prezou-se pelo bom foco e iluminação da parte de interesse, evitando sombreamento e buscando voltar o ramo para a luz do sol, bem como por desfoque do fundo, gerando contraste da planta com o mesmo e facilitando a identificação pelos aplicativos.

3.4. APLICATIVOS DE IDENTIFICAÇÃO

3.4.1. PlantNet

O PlantNet, estilizado como Pl@ntNet, é um aplicativo criado em 2013 disponível em *smartphones* Android e iOS ou por meio do *website*. Trata-se do primeiro aplicativo especializado em identificação de plantas partindo de fotos (PlantNet, 2025).

Para utilizar o PlantNet, as fotos podem ser selecionadas da câmera ou tiradas no próprio aplicativo. Depois de selecionar o órgão que corresponde, podem ser adicionadas novas imagens complementares ou pode ser enviado diretamente para análise pela inteligência artificial do aplicativo. O aplicativo retornará os resultados e o com que confiança dá essa sugestão, em porcentagem. Caso julgue que o resultado correto não apareceu como opção, o usuário pode adicionar sua própria identificação. Após isso, o registro pode ser publicado caso o usuário possua um cadastro. A comunidade pode ainda corrigir a identificação e contribuir com outras informações. Há um ranqueamento baseado na relevância das contribuições dos usuários, ranking esse que define o peso de sua participação em votações, sendo até 100x maior em usuários bem avaliados que em usuários iniciantes.

A ferramenta conta com função de floras locais definidas com base no GPS, sugerindo espécies que ocorrem na região. Como outra opção, há o modo “plantas úteis”, recomendado para plantas ornamentais, domésticas ou outras plantas bem conhecidas e não necessariamente de ocorrência na localidade.

É possível acessar as informações de quantidade de registros e fotos por espécie através do *website* oficial, na seção “espécies”, consultando para famílias, gêneros ou espécies; por nome popular ou científico; por floras específicas ou pela flora mundial. Ao clicar na espécie após a consulta é possível acessar todos os registros fotográficos e a que órgão vegetal se referem.

O *website* também gera um mapa de distribuição geográfica dos registros, que pode ser consultado por tempo (semana, mês ou ano) e órgão (folha, flor fruto), e um gráfico de

fenologia de acordo com as observações de folha, flor e fruto por mês do ano. Os dados de fenologia também são organizados separadamente por hemisfério do globo. As observações totais também são separadas de acordo com a altitude do local de registro em outro gráfico. Todos os registros em sinônimos para a espécie são agrupados no nome aceito pelo aplicativo (Ex: *Handroanthus chrysotrichus* contém registros feitos para *Tabebuia chrysotricha*, *Tecoma chrysotricha*, *T. obtusata*, *T. grandis*, *T. flavescens* e *Gelsemium chrysotrichum*).

Os dados considerados confiáveis do ponto de vista de identificação das espécies são carregados no GBIF (Global Biodiversity Information Facility) e são públicos, sendo possível acessar pelo site e utilizá-los para pesquisa. Os registros fotográficos feitos por usuários só são carregados no sistema internacional se o usuário estiver cadastrado e logado no PlantNet, se a foto passar por filtros de qualidade e se uma localização estiver associada à imagem, sendo então publicados sob a licença de direitos autorais “cc-by-sa” dentro do domínio da *publisher* “Pl@ntNet”, que conta com mais de 13.850.000 registros no total, sendo aproximadamente 1.700.000 associadas a imagens e 65.000 observações realizadas no Brasil, sendo um número ainda muito pequeno em relação a outros países quando considerada nossa biodiversidade vegetal. França, Alemanha e Itália lideram o número de observações públicas. Os dados estão separados no GBIF entre aqueles identificados pela comunidade e os identificados automaticamente pelo algoritmo do PlantNet, facilitando o uso posterior pelo público das informações disponibilizadas.

3.4.2 Google Lens

A ferramenta surgiu em 2017, e possui funções diversas, não sendo específico para identificação botânica. Também pode identificar outras espécies de seres vivos (animais, fungos); identificar produtos, objetos, locais; encontrar imagens visualmente parecidas na internet; buscar explicações de conteúdo e resolução de problemas matemáticos; copiar e traduzir texto; e ler códigos de barras e QR code.

A utilização pode ser pelo aplicativo do Google, câmera do Google, Google Fotos ou Google Chrome. A imagem pode ser por fotografia feita no momento do uso, inserida da memória do dispositivo, por *link* ou página da *web* em uso no dispositivo. O Lens compara o que é visto na imagem a outras imagens e as classifica com base na relevância e semelhança com esses objetos, encontrando outros resultados relevantes disponíveis na internet. Podem

ser utilizados indicadores como palavras, idiomas e metadados das imagens para classificar a relevância, sendo portanto variável a depender do local de uso do aplicativo.

Às vezes o Lens pode suprimir resultados pouco relevantes e mostrar somente um, caso esse tenha aproximadamente 95% de relevância para a imagem pesquisada pela classificação do próprio algoritmo. Ele pode também retornar resultados de pesquisa relacionados ao objeto caso entenda que conseguiu identificá-lo corretamente. Os algoritmos não são afetados por recursos comerciais, como anúncios. Outra funcionalidade importante é a de selecionar uma região da imagem, que é feita automaticamente, e pode ser ajustada para cobrir a extensão do objeto que se busca pesquisar.

Quando utilizado o Lens sobre uma foto, visando a identificação de uma espécie de planta, ele seleciona automaticamente uma área da imagem contendo o órgão vegetal que julga principal e abre a aba de “pesquisa” e, quando reconhece com certa certeza espécies possíveis, dá as possibilidades dispostas em *cards*. Clicando em um dos *cards* é possível abrir imagens da internet para esse nome indicado e ser direcionado para uma página de pesquisa deste termo. Abaixo dos resultados dos *cards*, o Lens dispõe resultados de imagens semelhantes encontradas, não associadas porém a um nome de espécie, mas sim vinculado a uma página da *web* onde foi encontrada a imagem. Muito frequentemente, os *cards* não são exibidos, sendo necessário filtrar as imagens sugeridas que contém algum nome, popular ou científico, para chegar à identificação desejada.

3.4.3. iNaturalist

O iNaturalist é uma organização sem fins lucrativos com base nos Estados Unidos, que se propõe a fornecer meios de cidadãos identificarem espécies de seres vivos e gerarem dados para ciência e conservação da biodiversidade (iNaturalist, 2025). Com forte influência da filosofia de “ciência cidadã”, o aplicativo conta com diversos recursos alinhados a este objetivo, como os de participação da comunidade nas identificações, possibilidade de compartilhar local, data e hora da observação, informações sobre a ocorrência da espécie (se selvagem ou cultivada, por exemplo), além de ferramentas de interação entre os usuários, como comentários públicos em observações e mensagens privadas para outros observadores.

Numerosos são os estudos que exploram os potenciais educacional, de engajamento científico e de geração de dados sobre a biodiversidade do aplicativo: Dimson *et al.* (2023)

destacam a utilidade dos dados gerados pelo aplicativo no monitoramento de ocorrência de espécies vegetais invasoras, complementando dados oficiais de instituições especializadas; Soteropoulos, Bellis e Witsell (2021) discorrem sobre o uso da ferramenta para monitorar perdas de biodiversidade ao longo do tempo, tomando função que antes era restrita aos herbários; Hitchcock, Sullivan e O'Donnell (2021) propõem seu uso em cursos de graduação nas áreas relacionadas com ecologia com a função de instigar a curiosidade pela natureza e revelar futuros cientistas.

Destaca-se a recente organização de eventos no estilo “BioBlitz” utilizando do aplicativo iNaturalist, que têm o objetivo de mapear a biodiversidade de áreas verdes em centros urbanos e colocar a população em contato com a ciência ao mesmo tempo em que gera dados valiosos para a conservação, criando um vínculo entre a comunidade, a ciência e a natureza.

Um aplicativo da mesma organização, chamado Seek, utiliza o mesmo banco de dados porém possui uma proposta mais simplificada e acessível a uma porção maior da população. Cederqvist e Williams (2023) verificaram que o fácil acesso à informação garantido pelo recurso de realidade aumentada do Seek trouxe mais interesse da comunidade pedagógica em estar em contato com as plantas e aprender sobre as espécies, considerando a adoção da ferramenta como recurso pedagógico. Esta versão não possui a funcionalidade de sugestões pela comunidade, sendo as observações sendo armazenadas localmente e servindo como uma espécie de coleção pessoal.

Dentre as funções do aplicativo que geram dados relevantes para diversos fins, estão a geração de gráficos de sazonalidade (fenologia) para as espécies, com épocas em que são mais avistadas por usuários. Além disso, o aplicativo possui a função, que será a utilizada neste trabalho, de sugestões baseadas na similaridade visual. Para utilizar as sugestões, as fotos não precisam ser integradas no servidor, não compondo o banco de dados utilizado para o aprendizado da inteligência artificial, podendo ficar somente registradas localmente no dispositivo utilizado.

Com as sugestões advindas de similaridade visual, o aplicativo busca trazer espécies semelhantes com a foto carregada que foram observadas em localizações próximas nessa época do ano. O aplicativo também possui uma segunda forma de sugestão, que é por “nível de pesquisa”. Nesta, ele busca espécies através de filtros de localização e táxon informados

pelo usuário, permitindo uma busca mais ampla mesmo sem o usuário possuir um registro da espécie.

O aplicativo conta com mais de 215 milhões de observações de aproximadamente 492.570 espécies, com mais de 8 milhões de contas cadastradas até o momento. Similar ao PlantNet, o iNaturalist também possui um *website* onde é possível consultar informações de espécies, como o número de observações para cada uma. No caso do iNaturalist, todas observações realizadas estão contabilizadas, diferentemente do PlantNet que seleciona as consideradas confiáveis, já revisadas pela comunidade. O número de observações de ambos os aplicativos, em novembro de 2025, para as espécies de interesse estão listadas por meio da Tabela 2.

Tabela 2. Número de registros por espécie no PlantNet e iNaturalist.

iNaturalist		Pl@ntNet		
Espécie	n° obs	Espécie	Fotos	n° obs
<i>Schinus terebinthifolia</i>	21.030	<i>Schinus terebinthifolia</i>	2595	1848
<i>Guazuma ulmifolia</i>	5255	<i>Guazuma ulmifolia</i>	403	261
<i>Inga vera</i> *	1282	<i>Inga vera</i> *	181	100
<i>Solanum lycocarpum</i>	414	<i>Solanum lycocarpum</i>	66	40
<i>Mimosa bimucronata</i>	304	<i>Citharexylum myrianthum</i>	63	35
<i>Lafoensia pacari</i>	230	<i>Lafoensia pacari</i>	53	24
<i>Parapiptadenia rigida</i>	148	<i>Mimosa bimucronata</i>	45	22
<i>Citharexylum myrianthum</i>	96	<i>Tabernaemontana hystrix</i>	30	26
<i>Inga vera affinis</i> *	24	<i>Parapiptadenia rigida</i>	13	10
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	21	<i>Inga affinis</i> *	13	6

Fonte: Adaptado de PlantNet (2025) e iNaturalist (2025).

* Sinônimos considerados como a mesma espécie, *Inga vera* subsp. *affinis*.

Similar aos grupos ou floras do PlantNet, o iNaturalist apresenta a função de projetos, que reúne identificações com características similares de táxon, local ou arbitrarias, incluindo desde projetos maiores de ciência cidadã como do SiBBr ou menores envolvendo a vizinhança. Também existem os guias, que organizam de maneira informativa os táxons em regiões, como “Plantas da Califórnia”, sendo importantes para agrupar informações de dadas localidades, Unidades de conservação e comunidades.

3.4. PADRONIZAÇÃO NO USO DOS APLICATIVOS

Para padronização do uso dos três aplicativos, foi necessário se atentar aos recursos em comum e distintos entre eles, adotando metodologia que representasse bem a forma de funcionamento de todos e permitisse comparação justa dos resultados obtidos. Para isso, foi utilizada a função de sugestões baseadas na localização, permanecendo ativada nos aplicativos PlantNet e iNaturalist (Flora “Brasil” no PlantNet e “sugestões vistas nas proximidades” no iNaturalist). Em alguns casos, espécies utilizadas não constavam na lista “vista nas proximidades” do iNaturalist, sendo nesses casos de exceção a função desativada. O Google Lens indica em seus fóruns oficiais que possui função de localização para melhorar sugestões, apesar de não ter nenhuma indicação no uso da ferramenta.

Todos os aplicativos foram acessados sem a prévia criação de um cadastro, com objetivo de não submeter as fotos aos bancos de dados durante os testes, o que interferiria nos resultados dos próximos testes realizados. Somente foi utilizada a funcionalidade de identificação por inteligência artificial, sem recorrer a sugestões da comunidade como presente no PlantNet e iNaturalist.

Para o iNaturalist, que é generalista na identificação de espécies de seres vivos, foi adotado o uso do filtro para mostrar somente resultados de plantas, o que já é padrão no PlantNet mas não pode ser feito no Google Lens. Nos casos em que o Google Lens indicava outra coisa que não uma planta, a identificação sugerida era desconsiderada e seguia-se anotando as seguintes.

O envio das fotos para os aplicativos foi feito diretamente da galeria na pasta contendo todas as fotos, pela função de compartilhar com os mesmos. No caso do Google Lens, não há necessidade de abrir um aplicativo, funcionando diretamente sobre a imagem na galeria como um *pop-up*. Esse método visou facilitar o uso dos aplicativos, sem necessidade de abrir a galeria novamente para cada foto, o que ocorreria caso tivessem sido importadas diretamente nos próprios aplicativos.

As sugestões de identificação das espécies realizadas pelos aplicativos foram tabuladas em planilha digital, contendo as três primeiras sugestões de cada ferramenta (ou menos, quando só apresentar uma ou duas) de acordo com a particularidade de cada aplicativo. Para o PlantNet, será computada também a porcentagem de chance de cada sugestão, dada pelo aplicativo. Cada foto foi vinculada também à informação de em qual

fundo foi tirada (natural ou artificial), número de índice, espécie correta, órgão fotografado, de modo a permitir a análise dos resultados.

Nos casos de não-consenso do nome correto de uma espécie, inclusive entre as fontes consultadas, todas as opções foram consideradas corretas. Para fins metodológicos, sinônimos homotípicos e basiônimos foram substituídos pelo nome atualizado, também considerando-os como acertos e somando pontuação sem desconto. Sendo assim, *Handroanthus chrysotrichus* aceitou como identificação correta *Tabebuia chrysotricha*, *Iochroma arborescens* aceitou *Acnistus arborescens* e *Parapiptadenia rigida* aceitou como identificação correta de gênero *Piptadenia* (pois seu basiônimo é *Piptadenia rigida*).

Especificamente para a ferramenta Google Lens, houve sugestões feitas utilizando somente nomes populares, que são dúbios e podem ser utilizados vulgarmente para diferentes espécies até mesmo de vários gêneros ou famílias botânicas distintas. Nestes casos, o *táxon* correspondente foi escolhido por meio da pesquisa do nome popular sugerido pelo Lens no buscador do Google, o que fornece por meio do “mapa de informações” (Google, 2025) um quadro contendo nome científico e classificações superiores, além de breve descrição e imagens retiradas de outra fonte da web. Este nome científico apontado, seja até categoria de espécie, gênero ou família, foi considerado como sugestão realizada pelo Google Lens. Após isso, esses nomes foram conferidos e, quando necessário, atualizados por meio de consulta À Flora e Funga do Brasil (Reflora, 2020) e Plants of the Worlds Online (POWO, 2025). Também houve casos em que a decisão foi tomada com base no contexto, seja utilizando as imagens associadas a cada card apresentado no Google Lens ou na espécie sendo identificada.

3.5. ANÁLISE DE DADOS

Foram adotadas duas unidades para avaliação da eficácia dos aplicativos: proporção de acertos e sistema de pontuação. A proporção indica, do total de fotos analisadas, qual foi a proporção de vezes que a identificação seguiu as seguintes categorias:

- a. Identificação da espécie correta na primeira sugestão;
- b. Identificação da espécie correta na segunda sugestão;
- c. Identificação da espécie correta na terceira sugestão;
- d. Identificação do gênero correto ou de espécie do mesmo gênero dentre as três primeiras sugestões;

- e. Dentre as três primeiras sugestões, não identificou até categoria de gênero, sendo contabilizado como erro.

As cinco categorias somam o total de identificações feitas por cada aplicativo, ou seja, 100%. Essas proporções foram organizadas na forma de gráfico de setores para cada aplicativo no geral, também separando as identificações de cada órgão isoladamente.

As proporções das categorias foram comparadas de forma geral por teste de qui-quadrado de independência (de Pearson). Para tanto foram consideradas as categorias: **a.** Identificação da espécie correta na primeira sugestão; **b.** Identificação da espécie correta dentre as três primeiras sugestões; **c.** Identificação do gênero correto dentre as três primeiras sugestões; e **d.** Identificação mais ampla que a de gênero dentre as três primeiras sugestões, considerado erro. Posterior ao teste de qui-quadrado, foram analisados os resíduos padronizados ajustados do teste comparando os valores observados com os esperados caso os aplicativos não diferissem entre si, situação onde a proporção de acerto independe do aplicativo utilizado, sendo essa a hipótese nula do teste. Por fim, foi calculado e analisado o tamanho de efeito de Cramer dos resíduos ajustados, considerando o intervalo de confiança dos dados. Todas as análises citadas foram feitas através de funções do programa R.

Foram também realizados testes de qui-quadrado considerando somente **1-** acertos *versus* erros na primeira sugestão e **2-** acertos *versus* erros dentre as primeiras três sugestões. Esses testes passaram pela mesma metodologia de análise *post-hoc*. Para todos os testes de qui-quadrado realizados foram geradas figuras demonstrativas dos resíduos ajustados para cada proporção, permitindo identificar mais claramente quais respostas mais interferiram no resultado do qui-quadrado.

Pelo sistema de pontuações, cada categoria corresponde a uma pontuação de 0 a 10, conforme apresentado na Tabela 3. Dessa atribuição, foi extraída a pontuação média de cada aplicativo para fotos de cada um dos diferentes órgãos vegetais, dando um único número mais palpável e de fácil visualização para determinar a eficácia das identificações.

Tabela 3. Sistema de pontuação para identificação dos aplicativos.

Categoria da identificação	Pontos
Espécie na 1ª sugestão	10
Espécie na 2ª sugestão	5
Espécie na 3ª sugestão	3
Gênero dentre 3 sugestões	1
Erro	0

Fonte: elaborado pelo autor (2025).

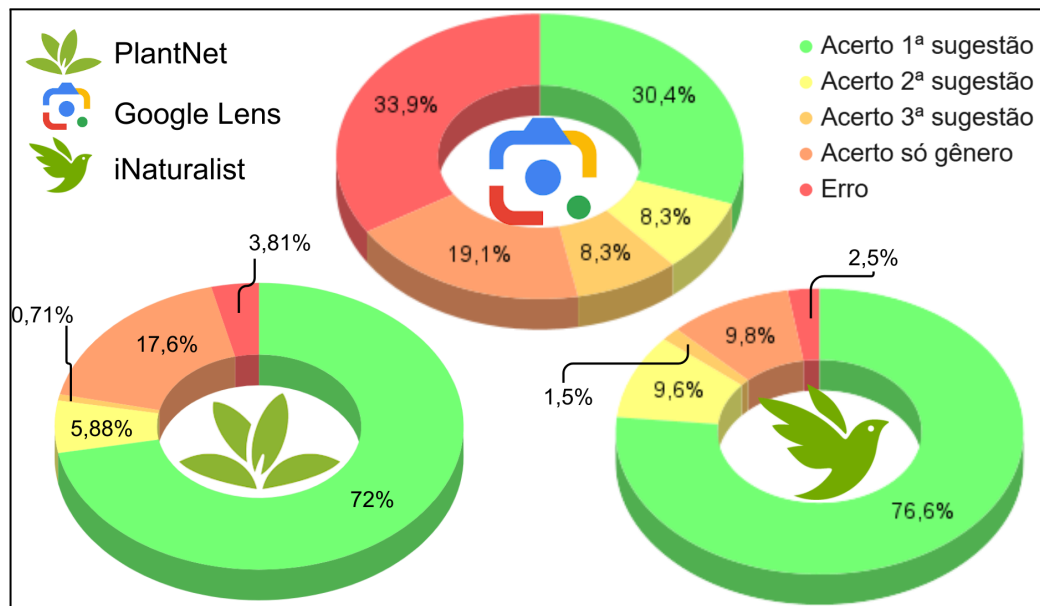
Com cada identificação padronizada como pontuação, foi possível analisá-las através do programa R pelo teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis, considerando que os dados observados não possuem distribuição normal e foram obtidos através de transformação de variáveis qualitativas. Utilizando cada observação como uma repetição, esse teste permitiu inferir se houve diferença entre as pontuações obtidas nos aplicativos, e então foi realizado o teste de Dunn com p-valor ajustado pelo método de Bonferroni, visando obter comparações grupo a grupo.

Além disso, a pontuação média e porcentagem de acertos total por espécie foi comparada por teste de Kruskal-Wallis, utilizando cada espécie como uma repetição. Foi novamente utilizado o teste de Dunn com ajuste do p-valor para obter respostas acerca do desempenho dos aplicativos na identificação de cada espécie individualmente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados de acurácia dos aplicativos de forma geral, considerando as fotografias de todas as espécies selecionadas e dos três órgãos vegetais (folhas, flores e frutos), independentemente do fundo utilizado, estão dispostos na Figura 4.

Figura 4. Acurácia dos aplicativos PlantNet, Google Lens e iNaturalist na identificação de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica.



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

O aplicativo com o melhor desempenho foi o iNaturalist, com 76,6% de identificações corretas na primeira sugestão e somente 2,5% de erros até a categoria de gênero. Em seguida observa-se no PlantNet uma boa capacidade de acertos em primeira sugestão (72%) e baixa taxa de erro (3,8%). Por fim, o Google Lens apresentou uma proporção de erros maior que a de acertos em primeira tentativa (33,9% contra 30,4%), indicando uma menor confiabilidade do aplicativo em comparação aos outros para as espécies estudadas.

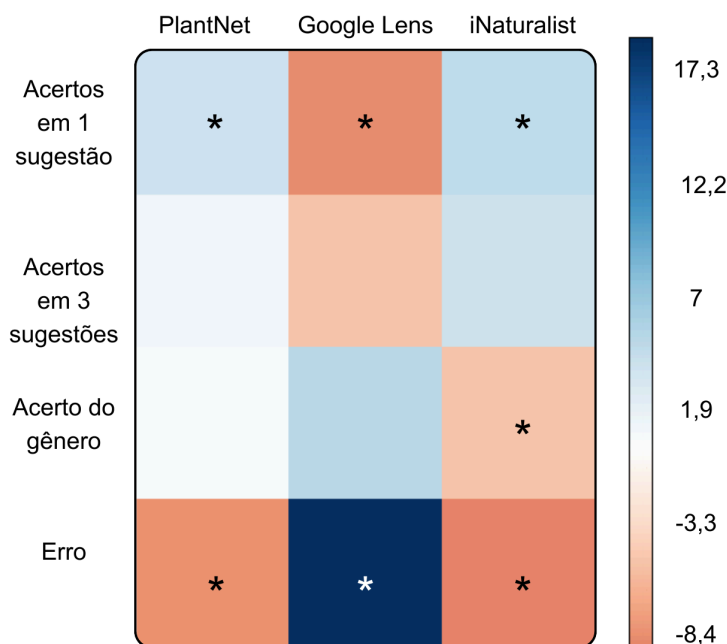
Um resultado interessante é a grande proporção de acertos somente até a categoria de gênero nos aplicativos PlantNet (17,6%) e Google Lens (19,1%). Ao passo que esse tipo de identificação pode ser um bom indicativo inicial no reconhecimento da espécie, sua relevância é bastante relativa a depender do grupo que se trata. Poucos gêneros são monoespecíficos, contendo somente uma espécie conhecida (como *Paubrasilia*, com *P. echinata*), porém a grande maioria de gêneros, principalmente de famílias botânicas ricas como Asteraceae (2333 spp. só no Brasil), possuem muitas espécies e necessitam de esforço

adicional para diferenciá-las. A exemplo disso, o gênero *Solanum*, de *Solanum lycocarpum* (lobeira), conta com 291 espécies com ocorrência em território nacional, e dessa forma uma identificação dada a categoria de gênero exige adicionalmente características como local de ocorrência, forma de vida, morfologia e outras para que se chegue a categoria específica.

A análise pelo teste de qui-quadrado para comparação dos aplicativos apresentou um valor alto de amplitude, de 304,34, sendo estatisticamente significativo à significância de 5% ($p < 0,0001$). Assim, foi possível observar que há uma dependência entre os diferentes graus de acerto e o aplicativo utilizado na identificação.

Foi possível observar resíduos significativos (nível de significância ajustado de 0,4%) para os acertos em primeira sugestão, sendo valores maiores que o esperado para os aplicativos PlantNet e iNaturalist e menores no Google Lens; e também nos erros até a terceira sugestão, sendo maiores que o esperado no Google Lens e menores no demais. Os resíduos também foram significativos para o acerto até o gênero no aplicativo iNaturalist, sugerindo corretamente somente a esta categoria taxonômica menos vezes que os outros dois aplicativos (Figura 5). O valor de V de Cramer encontrado foi de 0,2647, indicando, segundo interpretação por Cohen (1988) para o grau de liberdade 4, uma associação forte entre o grau de acerto e o aplicativo ($V > 0,25$).

Figura 5. Representação visual dos resíduos padronizados ajustados do teste de qui-quadrado de independência entre aplicativos e graus de acerto.

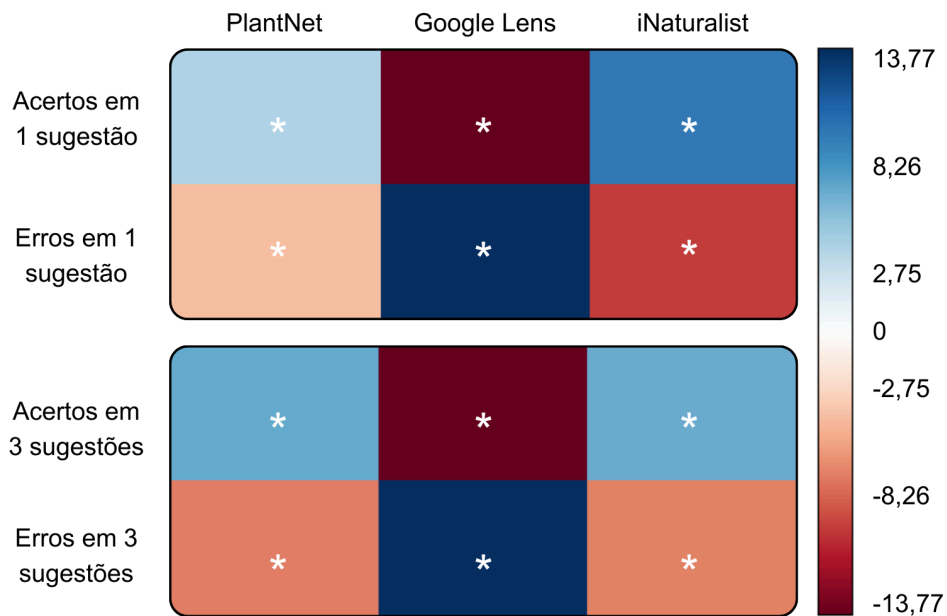


Fonte: elaborado pelo autor.

* Resíduos estatisticamente significativos.

Comparando individualmente por qui-quadrado acertos *versus* erros na primeira sugestão e acertos *versus* erros nas três primeiras sugestões (Figura 6), o valor de amplitude foi de 186,45 e 202,96, respectivamente, sendo ambos estatisticamente significativos ($p < 0.0001$), novamente confirmando a dependência entre aplicativo e acertos ou erros, com diferentes quantidades de sugestões consideradas. Os resíduos ajustados foram significativos para todos os campos sob nível de significância ajustado de 0,008% ($p < 0,0001$), onde os aplicativos PlantNet e iNaturalist apresentaram mais acertos e menos erros que o esperado, enquanto o Google Lens apresentou o oposto. Novamente o V de cramer indicou forte associação (gl 4, $V > 0,25$) entre as variáveis.

Figura 6. Representação visual dos resíduos padronizados ajustados do teste de qui-quadrado de independência entre aplicativos e acertos na primeira ou três primeiras sugestões.



Fonte: elaborado pelo autor.

* Resíduos estatisticamente significativos.

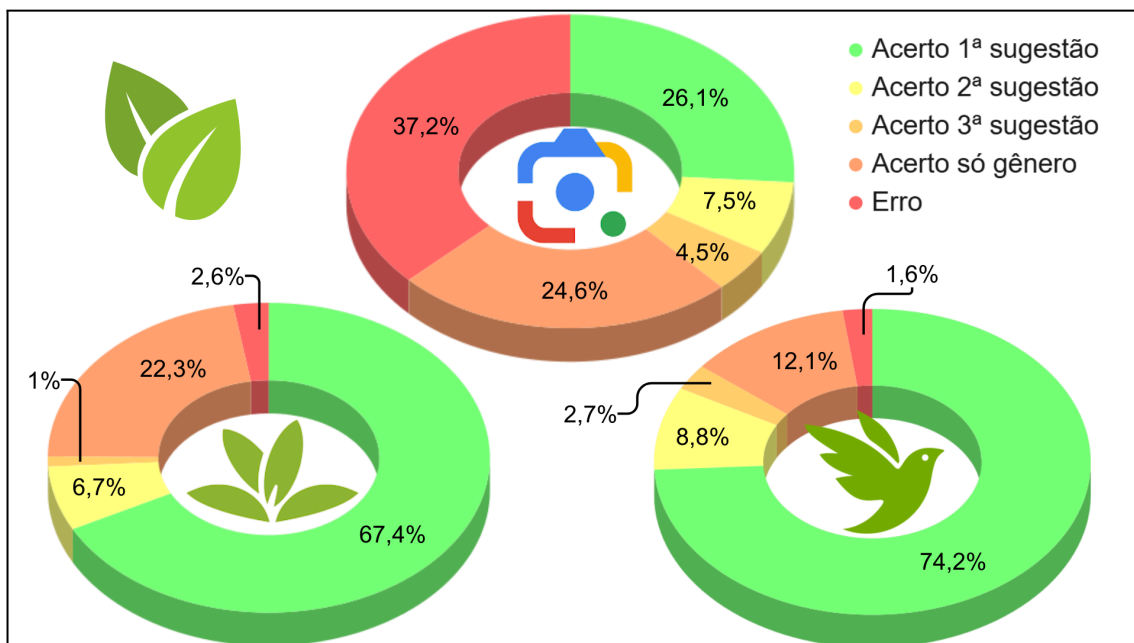
Em um estudo semelhante identificando espécies herbáceas, Campbell, Peacock e Bacon (2023) utilizaram estes e outros três aplicativos e obtiveram a melhor performance pelo PlantNet (84,285% de acertos na primeira sugestão), seguido do Google Lens (61,425%) e tendo o iNaturalist com a pior eficácia dentre todos os aplicativos (5,18%). Os resultados obtidos no presente estudo foram discrepantes em relação à eficácia dos aplicativos Google Lens, com resultados muito inferiores, e iNaturalist, que apresentou resultados

significativamente melhores. Essa diferença pode ter como base as peculiaridades das espécies adotadas nos dois trabalhos, que apresentam forma de vida, disponibilidade de dados nos aplicativos e local de ocorrência bastante diferentes.

Testando aplicativos na identificação de espécies lenhosas, Anyomi (2023) observou acima 90% de consistência identificando corretamente as espécies a categoria de gênero com os aplicativos PlantNet e iNaturalist, o que também foi visto no presente estudo (96,2% com PlantNet e 97,5% com iNaturalist). A categoria de espécie, ele observou 77% de acurácia com o Google Lens, valor próximo mas ainda superior aos 66,1% observado para esse estudo, porém 44% utilizando o iNaturalist, valor significativamente menor que o verificado neste trabalho.

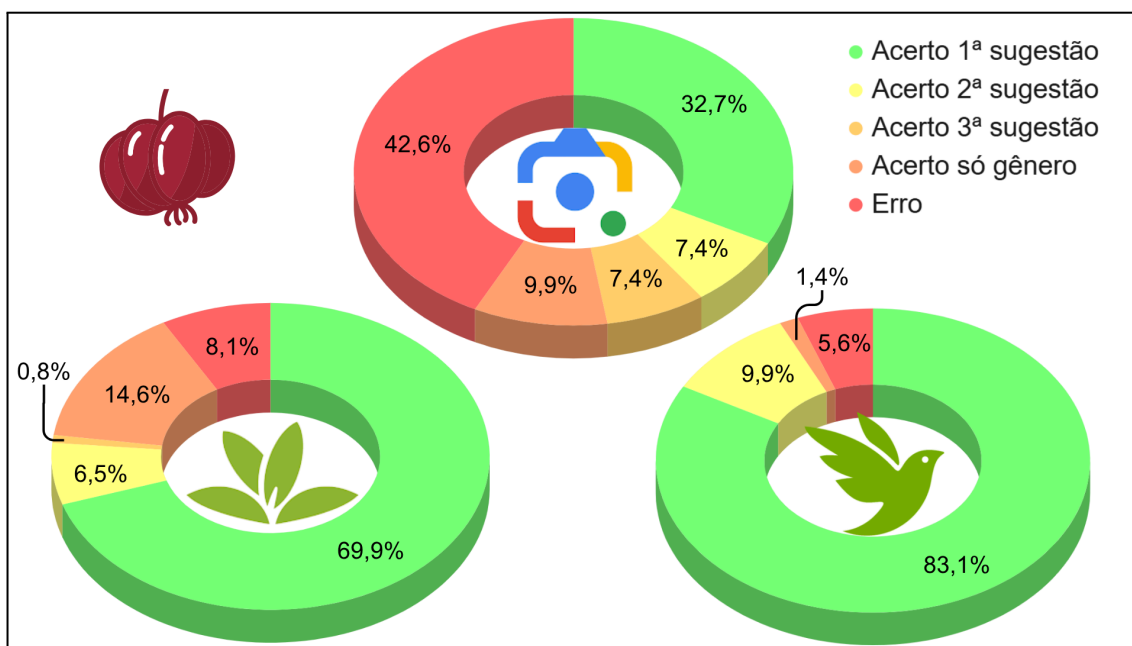
As proporções de acertos da identificação pelos aplicativos, separadamente por órgão vegetal fotografado, estão organizadas nas Figura 7, 8 e 9.

Figura 7. Acurácia dos aplicativos PlantNet, Google Lens e iNaturalist na identificação de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, através de fotografias de folhas.



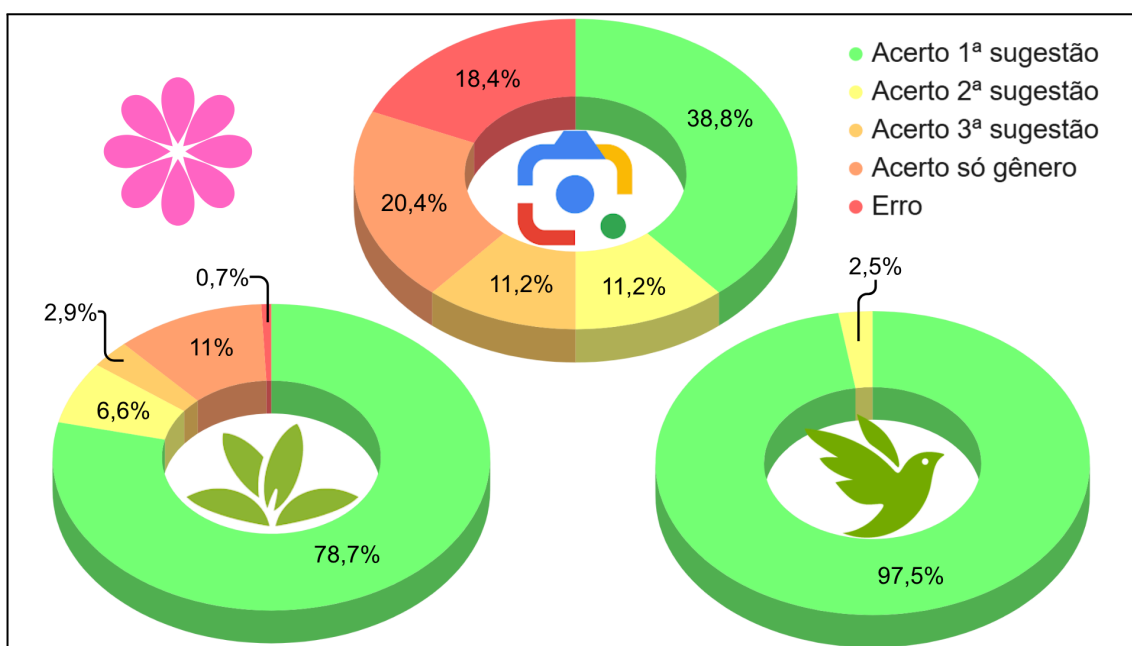
Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Figura 8. Acurácia dos aplicativos PlantNet, Google Lens e iNaturalist na identificação de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, através de fotografias de frutos.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Figura 9. Acurácia dos aplicativos PlantNet, Google Lens e iNaturalist na identificação de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica, através de fotografias de flores.



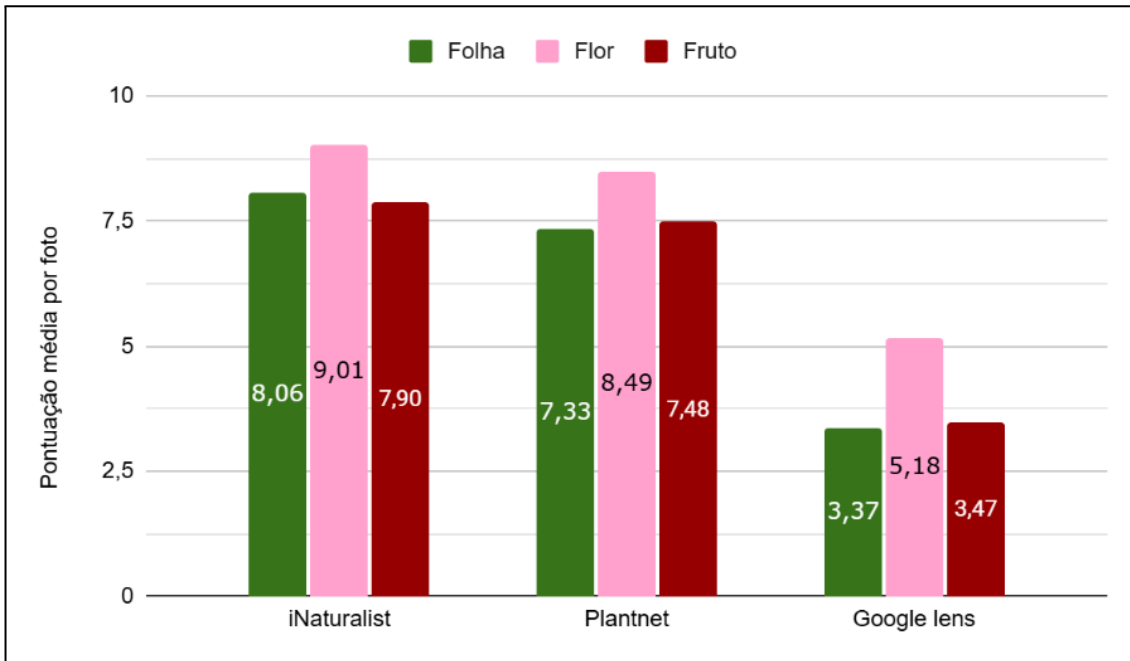
Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Comparando separadamente as identificações por órgão vegetal, observa-se que o padrão de ranking geral se mantém nas três situações, com iNaturalist na posição superior, PlantNet intermediário e Google Lens inferior para as espécies estudadas. É possível relacionar também o melhor desempenho geral dos aplicativos identificando fotos de flores, com menores proporções de erros e mais acertos na primeira tentativa. Isso era esperado, pois geralmente os órgãos reprodutivos das plantas fornecem características que permitem melhor classificá-las e diferenciá-las. Esse resultado vai de encontro com os encontrados por Campbell, Peacock e Bacon (2023), onde as fotos de flores foram melhor identificadas por todos os aplicativos, exceto o iNaturalist naquela ocasião. Esse padrão também é observado pela porcentagem de confiança ligeiramente maior apresentada pelo aplicativo PlantNet na identificação de flores, em média de 57,3%, contra 53,8% em fotos de folha e 47,1% em fotos de fruto.

A mesma tendência não foi tão bem observada para fotos de frutos, o que pode ser explicado devido à alta variabilidade dos frutos encontrados durante as idas de campo, não apresentando sempre grau de maturação alto, como normalmente são vistos retidos nas plantas ou já caídos no chão e registrados pelos usuários dos aplicativos. Isso pode explicar a proporção de erros mais alta nessa categoria do que em fotos de folhas, que são mais consistentes em aparência ao longo do ano e presentes por maior tempo retidas nas plantas.

A atribuição de pontuação conforme sistema criado às identificações realizadas pelos aplicativos, separadamente por órgão vegetal e por aplicativo para todas as espécies, estão dispostas na Figura 10.

Figura 10. Pontuação dos aplicativos na identificação de folhas, flores e frutos de espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica utilizadas na restauração.



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Considerando que quanto maior a pontuação, maior a proximidade das sugestões dadas pelos aplicativos à espécie fotografada, e que a pontuação por foto máxima possível seria um valor igual a 10, onde todas as identificações seriam da espécie correta já na primeira sugestão, é possível observar o ótimo desempenho do aplicativo iNaturalist, seguido do PlantNet, com o Google Lens apresentando pontuações inferiores, em conformidade com o observado anteriormente pelas proporções de acerto.

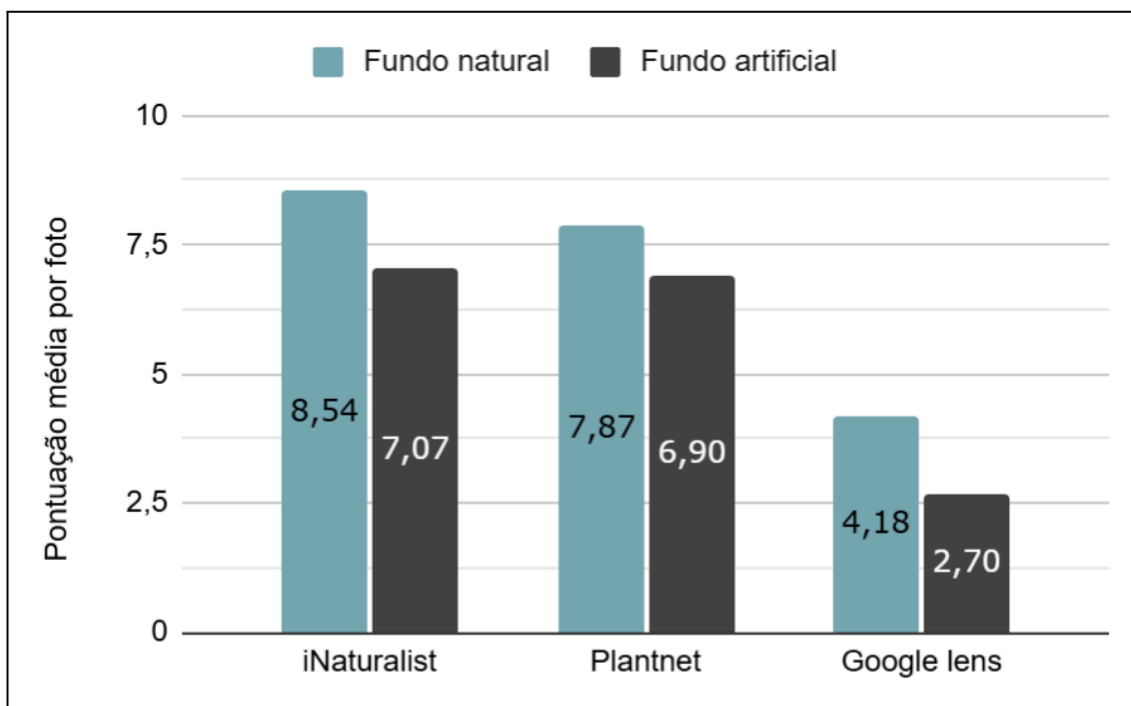
O aplicativo iNaturalist pontuou uma média elevada para os três órgãos vegetais, indicando a consistência com a qual conseguiu identificar a espécie com fotografias de qualquer um deles. O destaque foi para a pontuação atingida pelo aplicativo com fotos de flores (9,01), sendo o que mais se aproximou do valor máximo. Fotos das flores foram as melhores pontuadas em todos os aplicativos, com média geral de 7,56 pontos por foto contra 6,70 em fotos de frutos e 6,25 de folhas.

A análise para as pontuações por aplicativo foi realizada pelo teste de Kruskal-Wallis, apresentando valor de qui-quadrado de 275,84 e sendo estatisticamente significativo ($p < 0,0001$). O teste de Dunn, comparando aplicativos par a par, não indicou diferença entre os aplicativos PlantNet e iNaturalist a 5% de significância ($p = 0,221$), mas indicou grande diferença entre Google Lens e os demais aplicativos ($p < 0,0001$). A análise de Kruskal-Wallis para verificar a influência da espécie na pontuação não foi significativa a 5% de significância

($p=0,1606$), com valor de qui-quadrado de 10,5.

Ainda utilizando do sistema de pontuação, foram comparadas as acurácias entre identificação de fotografias tiradas em fundo natural e tiradas com o órgão à frente de um fundo artificial (Figura 11).

Figura 11. Pontuação dos aplicativos na identificação de espécies arbóreas da Mata Atlântica com fotos em fundo natural ou artificial.



Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Ao contrário do que se esperava inicialmente, observa-se consistentemente uma pontuação menor das identificações de fotos tiradas sobre fundo artificial, que em teoria aumentaria o contraste e ajudaria na precisão da identificação. Isso possivelmente ocorre pela forma de funcionamento da inteligência artificial. Normalmente, os usuários dos aplicativos não utilizam fundo artificial em suas fotos, e essas são utilizadas no aprendizado dos algoritmos. Isso faz com que não funcionem tão bem, pois têm mais dificuldade de relacionar o padrão observado com aquele que foram treinados pelo processo de *deep learning*, e os *pixels* de cor preta ao redor da parte vegetal não são reconhecidos como esperados com base nas fotos que possui, dificultando a identificação.

5. CONCLUSÕES

Os aplicativos PlantNet e iNaturalist apresentaram resultados positivos na identificação das espécies arbóreas utilizadas na restauração da Mata Atlântica, apresentando baixa proporção de erro e alta probabilidade de acertar na espécie na primeira sugestão. A ferramenta Google Lens, que não é especializada para identificação botânica e nem mesmo outros seres vivos, comete muitos erros, como a sugestão de nome popular ambíguo, sugestão de espécies exóticas e sem ocorrência no território nacional, dentre outros, culminando em uma alta chance de erro, não sendo o mais adequado para essa função.

Mesmo os aplicativos que apresentam bons resultados não devem ser utilizados sem conferência das sugestões, pois podem levar a identificações errôneas que venham a impactar negativamente etapas envolvidas na restauração. Para o público leigo em botânica, a tendência é que se acate a primeira sugestão do aplicativo, uma vez que não se tem o discernimento na comparação de características morfológicas entre a planta observada e as sugeridas e bases de conhecimento em taxonomia. Dessa forma, o uso dos aplicativos ainda requer conhecimento que permita esse julgamento posterior, melhorando a experiência de seu uso e a taxa de sucesso.

Foi possível observar uma tendência a melhores resultados quando utilizadas fotos das flores dessas plantas, o que nem sempre é possível obter devido a fatores fenológicos das espécies e dinâmicas do ambiente, mas se mostram como uma boa alternativa quando disponíveis. Como sugestão para futuros trabalhos, podem ser verificadas outras formas de fotografia, como da casca do tronco ou da planta como um todo, que em ambientes mais secos (como em Florestas Estacionais da Mata Atlântica, Cerrado ou Caatinga) com espécies totalmente decíduas podem ser os únicos indicativos em campo durante o período seco do ano para a identificação da espécie.

Considerando pesos diferentes para cada escala de acerto, desde uma identificação ideal com pontuação máxima até uma mais imprecisa somente considerando o gênero, o sistema de pontuação se mostrou eficiente em representar fielmente os resultados obtidos e padronizar a visualização de eficácia entre os diferentes aplicativos, órgãos, espécies e métodos de fotografia, sendo em futuros trabalhos uma alternativa a ser utilizada assim como os modelos propostos por Campbell, Peacock e Bacon (2023).

Ainda seria interessante em futuras pesquisas testar a equivalência entre a acurácia obtida pelos aplicativos, utilizados por pessoas de diversos graus de instrução e conhecimento em botânica, com a acurácia de especialistas em um inventário florestal ou levantamento

florístico de uma área, comparando os resultados obtidos de riqueza da comunidade amostrada ou inventariada.

Os indicativos obtidos por esse trabalho são promissores para a incorporação das tecnologias na cadeia da restauração no futuro, acompanhando o avanço e constante melhoria dos sistemas de aprendizagem da inteligência artificial. O uso dos aplicativos pode auxiliar em etapas como coleta de sementes e produção de mudas, implantação e condução de áreas em restauração, e devido monitoramento e acompanhamento do sucesso ecológico das áreas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANYOMI, Kenneth. How consistent are citizen science data sources, an exploratory study using free automated image recognition apps for woody plant identification. **Canadian Journal of Forest Research**, 2023. v. 54, n. 3. Disponível em: <https://doi.org/10.1139/cjfr-2023-0203>. Acesso em: 06 out. 2025.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF: 2012a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: 25 ago. 2025.

BELOIU, Mirela *et al.* Individual Tree-Crown Detection and Species Identification in Heterogeneous Forests Using Aerial RGB Imagery and Deep Learning. **Remote Sensing**, 2023. 1463 p., v.15, n.5. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15051463>. Acesso em: 01 out. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Lei nº 11.428, de 22 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF, 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm. Acesso em: 25 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Portaria MMA nº 148, de 01 de junho de 2022**. Altera os Anexos da Portaria nº 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria nº 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria nº 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 1, de 31 de janeiro de 1994**. Define vegetação primária e secundária nos estágios pioneiro, inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa no Estado de São Paulo. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=142. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 2, de 18 de março de 1994**. Define formações vegetais primárias e estágios sucessionais de vegetação secundária, com finalidade de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa no Estado do Paraná. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/images/pdf/legislacao/resolucoes_conselho/resolucao_conama_02_1994.pdf. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 4, de 4 de maio de 1994**. Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado de Santa Catarina. Brasília, DF,

[20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0004-040594.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 5, de 4 de maio de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado da Bahia. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0005-040594.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 6, de 4 de maio de 1994.** Estabelece definições e parâmetros mensuráveis para análise de sucessão ecológica da Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0006-040594.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 7, de 23 de julho de 1996.** Aprova os parâmetros básicos para análise da vegetação de restingas no Estado de São Paulo. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=19043. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 10, de 01 de outubro de 1993.** Estabelece os parâmetros básicos para análise dos estágios de sucessão da Mata Atlântica. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0010-011093.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 25, de 7 de dezembro de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado do Ceará. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0025-071294.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 26, de 7 de dezembro de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado do Piauí. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0026-071294.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 28, de 7 de dezembro de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado de Alagoas. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0028-071294.PDF>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA).

Resolução nº 29, de 7 de dezembro de 1994. Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, considerando a necessidade de definir o corte, a exploração e a supressão da vegetação secundária no estágio inicial de regeneração no Estado do Espírito Santo. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0029-071294.PDF>>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 30, de 7 de dezembro de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado do Mato Grosso do Sul. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0030-071294.PDF>>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 31, de 7 de dezembro de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado de Pernambuco. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0031-071294.PDF>>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 32, de 7 de dezembro de 1994.** Define vegetação primária e secundária nos estágios inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de atividades florestais no Estado do Rio Grande do Norte. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0032-071294.PDF>>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 33, de 7 de dezembro de 1994.** Define estágios sucessionais das formações vegetais que ocorrem na região de Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul, visando viabilizar critérios, normas e procedimentos para o manejo, utilização racional e conservação da vegetação natural. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0034-071294.PDF>>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 34, de 7 de dezembro de 1994.** Define estágios sucessionais das formações vegetais que ocorrem na região de Mata Atlântica no Estado do Rio Grande do Sul, visando viabilizar critérios, normas e procedimentos para o manejo, utilização racional e conservação da vegetação natural. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <<https://acervo.socioambiental.org/sites/default/files/documents/13D00056.pdf>>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 261, de 30 de junho de 1999.** Aprova parâmetro básico para análise dos estágios sucessivos de vegetação de restinga para o Estado de Santa Catarina. Brasília, DF, [20--]. Disponível em: <https://www.mprs.mp.br/media/areas/gapp/arquivos/resolucao_conama_n_388_07.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 417, de 24 de novembro de 2009.** Dispõe sobre parâmetros básicos para definição de vegetação primária e dos estágios sucessionais secundários da vegetação de Restinga na Mata Atlântica e dá outras providências. Brasília, DF, [20--]. Disponível em:

<[BRASIL. Ministério do Meio Ambiente \(MMA\). Conselho Nacional do Meio Ambiente \(CONAMA\). **Resolução n. 441, de 03 de janeiro de 2012.** Aprova a lista de espécies indicadoras dos estágios sucessionais de vegetação de restinga para o Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Resolução n° 417, de 23 de novembro de 2009. Brasília, DF, \[20--\]. Disponível em: <\[BRASIL. Ministério do Meio Ambiente \\(MMA\\). **Portaria MMA n° 148, de 7 de junho de 2022.** Altera os Anexos da Portaria n° 443, de 17 de dezembro de 2014, da Portaria n° 444, de 17 de dezembro de 2014, e da Portaria n° 445, de 17 de dezembro de 2014, referentes à atualização da Lista Nacional de Espécies Ameaçadas de Extinção.. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <\\[BRASIL. Ministério do Meio Ambiente \\\(MMA\\\). Conselho Nacional do Meio Ambiente \\\(CONAMA\\\). **Resolução n. 441, de 03 de janeiro de 2012.** Aprova a lista de espécies indicadoras dos estágios sucessionais de vegetação de restinga para o Estado do Rio Grande do Sul, de acordo com a Resolução n° 417, de 23 de novembro de 2009. Brasília, DF, \\\[20--\\\]. Disponível em: <\\\[BRAZILIAN TEAM. Brazilian Team. Piracicaba: FEALQ, 2025. Disponível em: \\\\[https://fealq.org.br/brazilianteam_rainforest/\\\\]\\\\(https://fealq.org.br/brazilianteam_rainforest/\\\\). Acesso em: 03 out. 2025.\\\]\\\(https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/CONAMA_RES_CONS_2012_441.pdf.>. Acesso em: 1 ago. 2025.</p></div><div data-bbox=\\\)\\]\\(https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mma-n-148-de-7-de-junho-de-2022-406272733.>. Acesso em: 1 ago. 2025.</p></div><div data-bbox=\\)\]\(https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/CONAMA_RES_CONS_2012_441.pdf.>. Acesso em: 1 ago. 2025.</p></div><div data-bbox=\)](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=598#:~:text=Disp%C3%B5e%20sobre%20par%C3%A2metros%20b%C3%A1sicos%20para,Atl%C3%A2ntica%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.>. Acesso em: 1 ago. 2025.</p></div><div data-bbox=)

CAMPBELL, Neil; PEACOCK, Julie; BACON, Karen L. A repeatable scoring system for assessing Smartphone applications ability to identify herbaceous plants. **PLOS One.** 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283386>. Acesso em: 03 fev. 2025.

CARVALHO, Paulo Ernani Carvalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** 1ª ed. vol. 1. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 1.039p.

CARVALHO, Paulo Ernani Carvalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** 1ª ed. vol. 2. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 627 p.

CARVALHO, Paulo Ernani Carvalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** 1ª ed. vol. 3. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 593 p.

CARVALHO, Paulo Ernani Carvalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** 1ª ed. vol. 4. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 644 p.

CARVALHO, Paulo Ernani Carvalho. **Espécies Arbóreas Brasileiras.** 1ª ed. vol. 5. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2014. 634 p.

CEDERQVIST, A.M.; WILLIAMS, A.T.. An Exploratory Case Study on Student Teachers'

Experiences of Using the AR App Seek by iNaturalist When Learning About Plants. In: Zaphiris, P., Ioannou, A. (Ed.) **Learning and Collaboration Technologies**. HCII, 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14041. Springer, Cham. Disponível em: https://doi-org.ez31.periodicos.capes.gov.br/10.1007/978-3-031-34550-0_3. Acesso em: 01 out. 2025.

COHEN, J. Statistical power analysis for the behavioral sciences. **Hillsdale, N.J: L. Erlbaum Associates**. 2ª ed. 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.4324/9780203771587>.

DURIGAN, Giselda *et al.*. **Espécies Indicadoras de Fitofisionomias na transição Cerrado-Mata Atlântica no Estado de São Paulo**. 1ª ed. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2012.

DURIGAN, Giselda *et al.*. **Plantas do Cerrado Paulista: Imagens de uma paisagem ameaçada**. 1ª ed. São Paulo: Instituto Florestal, 2004. 475 p.

FIELD MUSEUM of Natural History. Guias de Campo. Chicago: Field Museum, 2025. Disponível em: https://science.fieldmuseum.org/pt_BR/fieldguides. Acesso em: 20 jun. 2025.

GOOGLE. **Google**. 2025. Disponível em: <https://www.google.com/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

HITCHCOCK, Colleen; SULLIVAN, Jon; O'DONNELL, Kelly. Cultivating Bioliteracy, Biodiscovery, Data Literacy, and Ecological Monitoring in Undergraduate Courses with iNaturalist. **Citizen Science, theory and practice**, 2021. v.6, n.1 Disponível em: <https://doi.org/10.5334/cstp.439>. Acesso em 06 out. 2025.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Bioma predominante por Município para fins estatísticos**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. 39 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102097>. Acesso em: 22 set. 2025.

JÚNIOR, Manoel Cláudio da Silva.. **100 árvores do Cerrado**. 1ª ed. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2005. 278p.

KUHLMANN, Marcelo. **Frutos do Cerrado: 100 espécies atrativas para *Homo sapiens***. 1ª ed. Brasília: BIOM Field Guides, 2020. 120p.

KUHLMANN, Marcelo. **Frutos e sementes do Cerrado: espécies atrativas para fauna**. 1ª ed. 2v. Brasília: BIOM Field Guides, 2018. 464p.

KUHLMANN, Marcelo. **Cerrado em Cores: Flores Atrativas para Beija-Flores**. 1ª ed. Brasília: BIOM Field Guides, 2025. 750 p.

LAHMEYER, Lúcia Furquim. **Viagem pelo Brasil (1817-1820): Spix e Martius**. Brasília: Senado Federal, Conselho Editorial, 2017. 3v : 348 p. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/573991/001118266_Viagem_pelo_Brasil_v.1.pdf?sequence=14&isAllowed=y. Acesso em: 03 set. 2025.

LINNAEUS, Carl von. **Systema Naturae**: per regna tria naturae, secundum classes, ordines, genera, species, cum characteribus, differentiis, synonymis, locis. 10^a ed. Estocolmo: Impensis Laurentii Salvii, 1758. Disponível em: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/10277#page/1/mode/1up>. Acesso em: 03 set. 2025.

LINNAEUS, Carl von. **Species Plantarum**: exhibentes plantas rite cognitatas, ad genera relatas, cum differentiis specificis, nominibus trivialibus, synonymis selectis, locis natalibus, secundum systema sexuale digestas. 1^a ed. Estocolmo: Impensis Laurentii Salvii, 1753. Disponível em: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/13829#page/1/mode/1up>. Acesso em: 03 set. 2025.

LORENZI, Harri. **Manual de Identificação e Controle de Plantas Daninhas**. 7^a ed. Nova Odessa: Plantarum, 2014. 384 p..

LORENZI, Harri. **Flora Brasileira: Arecaceae (palmeiras)** 1^a ed. Nova Odessa: Plantarum, 2010. 384 p..

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e de cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 9^a ed. v. 1. Nova Odessa: Plantarum, 2025. 384 p..

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e de cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 6^a ed. v. 2. Nova Odessa: Plantarum, 2022. 384 p..

LORENZI, Harri. **Árvores Brasileiras: Manual de Identificação e de cultivo de Plantas Arbóreas Nativas do Brasil**. 3^a ed. v. 3. Nova Odessa: Plantarum, 2021. 384 p..

LORENZI, Harri. **Plantas Medicinais no Brasil: nativas e exóticas**. 3^a ed. Nova Odessa: Plantarum, 2021. 576 p.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, 2000. V. 403, p.853–858. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/35002501>. Acesso em: 04 mar. 2025.

OLIVEIRA, A. L.; FIGUEIREDO, M. A. T. Artificial Intelligence: Historical Context and State of the Art. **Multidisciplinary Perspectives on Artificial Intelligence and the Law**, Springer, Cham, p. 3-24, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-3-031-41264-6_1. Acesso em: 22 dez. 2025.

PACTO Pela Restauração da Mata Atlântica. Protocolo de monitoramento para programas e projetos de restauração florestal. 2013. Disponível em: <<https://www.pactomataatlantica.org.br/wp-content/uploads/2021/05/protocolo-de-monitoramento-pt.pdf>>. Acesso em: 23 jun. 2025.

PLANTNET. Plantnet Identify. 2025. Disponível em: <https://identify.plantnet.org/pt-br>. Acesso em: 18 jun. 2025.

POWO. Plants of the World Online. Kew: Royal Botanic Gardens, 2025. Disponível em: <https://powo.science.kew.org/> Acesso em: 18 jun. 2025.

RAMOS, Viviane Soares *et al.*. **Árvores da Floresta Estacional Semidecidual** – Guia de Identificação de Espécies. 1ª ed. São Paulo: Edusp - Editora da Universidade de São Paulo, 2008. 320 p.

REFLORA. Flora e Funga do Brasil. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

REFLORA. Herbário Virtual. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/herbarioVirtual/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

ROQUE, Nádia; TELES, Aristônio Magalhães; NAKAJIMA, Jimi Naoki. **A família Asteraceae no Brasil: classificação e diversidade**. 1ª ed. Salvador: EDUFBA, 2017. 292 p.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (SMA). Coordenadoria de Biodiversidade e Recursos Naturais (CBRN). **Portaria CBRN nº 01, de 2015**. Estabelece o Protocolo de Monitoramento de Projetos de Restauração Ecológica. São Paulo, SP, 2015. Disponível em: <[https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2016/12/2015_1_15_Procotolo_monitoramento_re stauracao_vfinal.pdf](https://smastr16.blob.core.windows.net/legislacao/2016/12/2015_1_15_Procotolo_monitoramento_re_stauracao_vfinal.pdf)>.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (SMA). **Resolução SMA nº 032, de 03 de abril de 2014**. Estabelece as orientações, diretrizes e critérios sobre restauração ecológica no Estado de São Paulo, e dá providências correlatas. São Paulo, SP, 2014. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/licenciamentoambiental/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-n%C2%BA-32-2014.pdf>>.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (SMA). **Resolução SMA nº 057, de 05 de junho de 2016**. Publica a segunda revisão da lista oficial das espécies da flora ameaçadas de extinção no Estado de São Paulo. São Paulo, SP, 2016. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguasinteriores/wp-content/uploads/sites/32/2019/05/Resolu%C3%A7%C3%A3o-SMA-n%C2%BA-57-2016.pdf>>.

SOTEROPOULOS, Diana L.; BELLIS, Caitlin R. D.; WITSELL, Theo. Citizen Science Contributions to Address Biodiversity Loss and Conservation Planning in a Rapidly Developing Region. **Diversity**, 2021. v.13, n.6, 255p. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d13060255>. Acesso em: 07 out 2025.

SOUZA, Vinicius Castro *et al.* **Guia das plantas do Cerrado**. 1ª ed. Piracicaba: Táxon Brasil, 2018. 583 p.

SOUZA, Vinicius Castro *et al.* **Guia das plantas da Mata Atlântica - Floresta Estacional**. 1ª ed. Piracicaba: Táxon Brasil, 2021.

SOUZA, Vinicius Castro *et al.* **Guia das plantas das dunas e Restinga**. 1ª ed. Piracicaba: Táxon Brasil, 2024.

VIANI, Ricardo Augusto Gorne. **As Árvores e a Música Brasileira**. 1ª ed. Piracicaba: IPEF, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.18671/9786599129148>. Acesso em: 18 jun. 2025.

WFO. **World Flora Online Plant List.** WFO, 2025. Disponível em: <https://www.worldfloraonline.org/>. Acesso em: 18 jun. 2025.

X PRIZE. **XPRIZE Rainforest.** XPRIZE Foundation, 2024. Disponível em: <https://www.xprize.org/prizes/rainforest/>. Acesso em: 03 out. 2025.