

ES-PLANTUFAM: UM SISTEMA ESPECIALISTA DE IDENTIFICAÇÃO DE FAMÍLIAS DE PLANTAS AMAZÔNICAS POR CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DIAGNÓSTICAS

¹DEISY PEREIRA SARAIVA, ²WELITOM TTATOM PEREIRA DA SILVA,
¹EULANDA MIRANDA DOS SANTOS, ³PATRICK DE CASTRO CANTUÁRIA

¹Universidade Federal do Amazonas (UFAM), ²Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT),

³Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas do Estado do Amapá

<deisyaraiva@ufam.edu.br> <welitom.silva@ufmt.br> <emsantos@icomp.ufam.edu.br>

<patrickcantuaria@gmail.com>

DOI: 10.21439/conexoes.v20.4136

Resumo. A Floresta Amazônica abriga elevada diversidade vegetal, cuja identificação precisa é fundamental para estudos em taxonomia, ecologia e conservação. Este estudo descreve o desenvolvimento e a avaliação do *ES-PLANTUFAM*, um sistema especialista *online* para identificação de famílias de angiospermas da Amazônia brasileira. A base de conhecimento foi construída a partir de literatura taxonômica especializada, e diferentes algoritmos de árvores de decisão foram testados no *software Weka* para geração das regras do sistema, posteriormente implementadas no *ES-Builder*. A validação envolveu testes com amostras depositadas no Herbário HUAM/UFAM e avaliação de usabilidade por usuários. O modelo *RandomTree* apresentou o melhor desempenho (91,6% de acertos; *Kappa* = 0,91), e os testes com amostras indicaram precisão de 88,89%. O *ES-PLANTUFAM* demonstrou potencial como ferramenta digital para apoio à identificação botânica, tornando mais acessíveis os caracteres morfológicos diagnósticos utilizados na distinção entre famílias de angiospermas.

Palavras-chave: morfologia botânica; taxonomi; educação botânica.

ES-PLANTUFAM: AN EXPERT SYSTEM FOR IDENTIFYING AMAZONIAN PLANT FAMILIES BASED ON DIAGNOSTIC MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS

Abstract. The Amazon Rainforest harbors high plant diversity, whose accurate identification is essential for studies in taxonomy, ecology, and conservation. This study describes the development and evaluation of *ES-PLANTUFAM*, an online expert system designed to identify angiosperm families from the Brazilian Amazon. The knowledge base was constructed from specialized taxonomic literature, and different decision tree algorithms were tested in the *Weka* software to generate the system rules, which were subsequently implemented in *ES-Builder*. Validation included tests using samples deposited in the HUAM/UFAM Herbarium and a user usability assessment. The *RandomTree* model showed the best performance (91.6% accuracy; *Kappa* = 0.91), and tests with samples indicated an accuracy of 88.89%. *ES-PLANTUFAM* demonstrated potential as a digital tool to support botanical identification, making the diagnostic morphological characters used to distinguish angiosperm families more accessible.

Keywords: botanical morphology; taxonomy; botanical education.

1 INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica se destaca por abrigar uma imensa riqueza de biodiversidade vegetal (Cardoso *et al.*, 2017). Entre os principais componentes dessa flora destacam-se as angiospermas, representadas por 213 famílias, 1.924 gêneros e 12.307 espécies registradas para a Amazônia brasileira (BFG, 2021; Flora e Funga do Brasil, 2026).

Entre essas famílias, várias apresentam elevada relevância econômica e cultural. Espécies como o açaizeiro (*Euterpe oleracea*) e o buritizeiro (*Mauritia flexuosa*) sustentam cadeias produtivas regionais, enquanto a seringueira (*Hevea brasiliensis*) possui importância histórica na produção de borracha. O guaraná (*Paullinia cupana*), a copaíba (*Copaifera spp.*), a andiroba (*Carapa guianensis*) e o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) destacam-se por seus usos alimentares, medicinais e industriais (Martins-da-Silva *et al.*, 2014). Além da relevância socioeconômica, essas famílias desempenham funções ecológicas essenciais, como produção primária, ciclagem de nutrientes e regulação climática (Cardoso *et al.*, 2017).

A correta identificação das plantas é essencial não apenas para a taxonomia, mas também para ecologia, conservação e agricultura, uma vez que a nomeação precisa assegura a confiabilidade dos dados científicos e o uso adequado da biodiversidade (Nesbitt *et al.*, 2010).

Na identificação taxonômica, chaves baseadas em caracteres morfológicos diagnósticos organizam informações para orientar a determinação de táxons. As chaves dicotômicas, estruturadas em decisões binárias, são amplamente utilizadas, embora exijam domínio terminológico e experiência prévia. Já as chaves interativas ampliam a flexibilidade e incorporam recursos multimídia ao ambiente digital (Silva *et al.*, 2011).

Ferramentas vêm sendo desenvolvidas para automatizar a geração de chaves de identificação, destacando-se o Delta, que codifica descrições taxonômicas, criando e formatando descrições e chaves taxonômicas (Cavalcanti; Santos-Silva; Primeiro, 2024; Dallwitz, 1974; Dallwitz; Paine; Zurcher, 2020); o *LucID*, plataforma comercial voltada à criação de chaves interativas online (Lucidcentral, 2026); e o *Xper2*, software gratuito para a coleta, gerenciamento e análise de dados taxonômicos, sucedido pelo *Xper3*, que amplia funcionalidades colaborativas e de treinamento em taxonomia morfológica (Delgado Calvo-Flores *et al.*, 2006; Ung *et al.*, 2010; Vignes-Lebbe *et al.*, 2017).

A taxonomia moderna vai além do uso exclusivo de características morfológicas macroscópicas para identificar táxons e inclui também aspectos anatômicos, palinológicos, embriológicos, citológicos, químicos e moleculares (Martins-da-Silva *et al.*, 2014). Além disso, a identificação por meio de imagens tem se tornado amplamente utilizada, com aplicativos como *iNaturalist*, *Seek*, *Pl@ntNet* e *Google Lens* assumindo o papel dos guias de campo impressos, auxiliando na identificação de espécies por meio de fotos. Essa tendência aponta para um futuro dinâmico e promissor no qual as ferramentas tradicionais se unem às inovações tecnológicas emergentes (Sharma *et al.*, 2019).

Embora essas ferramentas ofereçam acessibilidade e popularidade crescentes, atingindo um público mais amplo, incluindo pesquisadores, estudantes e entusiastas da botânica, é importante ressaltar que a facilidade de identificação proporcionada por esses aplicativos pode resultar em erros e limitar o aprendizado individual sobre as características dos táxons (Izaguirre, 2024). Isso ocorre porque modelos de Inteligência Artificial (IA) de alta complexidade podem produzir identificações precisas, mas sem fornecer uma explicação clara sobre quais características específicas foram determinantes para essa identificação, prejudicando a compreensão das características diagnósticas que definem os táxons (Ribeiro *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2019).

Nesse contexto, sistemas especialistas (SEs) são programas que simulam o conhecimento e o raciocínio de especialistas humanos em áreas específicas, utilizando técnicas de IA para resolver problemas complexos e auxiliar na tomada de decisões (Davis; Martin; Mackenzie, 1990; Gwendo, 2023).

Estes sistemas combinam uma base de conhecimento especializada com algoritmos avançados, muitas vezes superando o desempenho de especialistas humanos em tarefas específicas (İNan, 2015). Para implementar tais soluções, uma variedade de ferramentas, conhecidas como *shells*, estão disponíveis. Entre elas, destacam-se o *CLIPS*, *Jess*, *PYKE*, *ES-Builder*, *VisiRule*, entre outras, que permitem a construção e gerenciamento de SEs de maneira eficiente e versátil (Gwendo, 2023).

Diversos estudos têm explorado o uso de SEs baseados na morfologia vegetal para fins taxonômicos, educacionais e aplicados. Entre eles, destacam-se sistemas voltados à identificação de espécies florestais, como o desenvolvido para eucalipto (Davis; Martin; Mackenzie, 1990), bem como o GREEN, direcionado às gimnospermas ibéricas (Contreras *et al.*, 2003), e o TAXEX, voltado à identificação de organismos vivos (Lelekov; Lyakh,

2004). Ferramentas como o *XKey* ampliaram essa abordagem ao incorporar árvores de decisão na geração de chaves taxonômicas (Delgado Calvo-Flores *et al.*, 2006). Aplicações mais recentes incluem sistemas móveis para ensino e identificação de plantas (Wang, 2017) e SEs baseados em regras para diagnóstico de pragas agrícolas (Al-tayeb *et al.*, 2023). Em conjunto, esses estudos evidenciam o potencial dos SEs na integração entre conhecimento taxonômico e tecnologias computacionais, ampliando a eficiência e a acessibilidade na identificação botânica.

Apesar da existência de ferramentas digitais e aplicativos baseados em IA para identificação vegetal, observa-se uma lacuna no desenvolvimento de sistemas especialistas explicáveis, fundamentados em caracteres morfológicos diagnósticos e direcionados especificamente à flora amazônica. Nesse contexto, este estudo teve como objetivo desenvolver, implementar e avaliar o desempenho de classificação e a usabilidade do *ES-PLANTUFAM*, um sistema especialista baseado em regras morfológicas para a identificação de famílias de angiospermas da Amazônia brasileira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Desenvolvimento do sistema especialista

A construção do modelo do SE seguiu as etapas recomendadas na literatura (Ele; Umoh; Adesola, 2014; Giarratano; Riley, 2004), compreendendo: (1) planejamento do sistema; (2) aquisição do conhecimento especializado; (3) codificação da base de conhecimento; (4) avaliação e ajustes do modelo; e (5) avaliação de usabilidade e desempenho do *ES-PLANTUFAM*.

O planejamento envolveu a definição clara dos objetivos e requisitos do sistema, bem como a definição de metodologia para aquisição da base de conhecimento (Giarratano; Riley, 2004; Melli, 2009).

A aquisição da base de conhecimento envolveu a coleta de caracteres morfológicos diagnósticos utilizados na identificação de plantas. Foram selecionadas famílias de angiospermas da Amazônia brasileira com base em literatura especializada (Martins-da-Silva *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 1999) e na frequência de ocorrência no fragmento florestal urbano da APA Floresta Manaós, em Manaus, AM. Os dados morfológicos (ou atributos) utilizados neste estudo foram selecionados a partir de fontes confiáveis e atualizadas, como a Flora do Brasil (Flora e Funga do Brasil, 2026) e Flora da Reserva Ducke (Ribeiro *et al.*, 1999). A base de conhecimento foi estruturada com auxílio de planilhas eletrônicas no Google Sheets.

A codificação do conhecimento consistiu na organização dos dados para uso no SE. Para isso, um classificador foi desenvolvido utilizando técnicas de aprendizado de máquina com prévia mineração de dados feitos pelo *software Weka* v. 3.8 (Frank; Hall; Witten, 2016).

Os dados codificados foram treinados no *Weka* utilizando a totalidade da base de conhecimento (*use training set*), comparando-se os algoritmos *J48*, *REPTree* e *RandomTree*. A opção pelo treinamento com todo o conjunto de dados deveu-se ao objetivo central do estudo: derivar regras de decisão interpretáveis para implementação no sistema especialista, mais do que maximizar desempenho preditivo em validação externa. Esses algoritmos foram selecionados por gerarem árvores de decisão de fácil interpretação, possibilitando a extração direta de regras de produção compreensíveis e aplicáveis no SE. A escolha também se fundamentou em estudos prévios que indicam adequação desses classificadores em tarefas semelhantes (Anitha, 2022; Ossani *et al.*, 2020).

A matriz de confusão foi utilizada para avaliar o desempenho dos três algoritmos de classificação no SE, fornecendo uma análise detalhada das previsões feitas pelos classificadores em comparação com as classificações reais. Essa ferramenta permite identificar tanto os acertos quanto os erros em cada classe, destacando as categorias corretamente identificadas e aquelas que foram confundidas (Junior *et al.*, 2022). Para medir a precisão dos algoritmos, foi utilizada a estatística *Kappa*, que avalia a concordância entre as classificações reais e as previstas. A estatística *Kappa* é considerada adequada ao apresentar concordância quase perfeita, com um valor entre 0,81 e 1,00 (Junior *et al.*, 2022; Miot, 2016).

O sistema de regras criado foi integrado a uma *interface* de usuário utilizando o *Expert System Builder (ES-Builder)*, uma aplicação de *shell* para SEs desenvolvida pelo *McGoo Software* (ES-Builder Web, 2024). O *ES-Builder* utiliza uma *interface* baseada em árvore de decisão para definição de atributos, valores e conclusões (instâncias). O SE resultante pode ser exportado como uma página *web* interativa, onde os usuários interagem clicando nas opções disponíveis na tela. As conclusões são obtidas por meio de um processo de encadeamento direto (*forward chaining*).

2.2 Validação do sistema

O desempenho do classificador foi testado com amostras do Herbário da Universidade Federal do Amazonas (HUAM), previamente identificadas por especialistas.

Posteriormente, a usabilidade e precisão do SE foram validadas por meio de um método de pesquisa de experiência do usuário. Para este fim, foi utilizado um questionário no Google Forms, que incluiu imagens das amostras/exsicatas com as identificações das famílias ocultas, para uma avaliação cega, e instruções detalhadas sobre como utilizar o *ES-PLANTUFAM* como ferramenta de aprendizado. O formulário foi disponibilizado para usuários (voluntários, alunos de graduação da Universidade Federal do Amazonas - UFAM), que inicialmente coletou informações sobre a experiência prévia dos usuários e, em seguida, apresentou perguntas em escala de *Likert* sobre a experiência dos usuários com o *ES-PLANTUFAM*.

2.3 Análise estatística

A análise dos dados da pesquisa de experiência do usuário foi conduzida utilizando o pacote "*psych*" versão 2.4.6.26 no programa R versão 4.4.1 (R Core Team, 2023). Os valores do alfa de Cronbach foram calculados para avaliar a confiabilidade das afirmações que representam as variáveis independentes. Um valor de alfa de *Cronbach* acima do limiar de 0,7 indica a confiabilidade da pesquisa (Gadermann; Guhn; Zumbo, 2012). A experiência prévia dos usuários com identificação botânica e suas opiniões sobre as afirmações do *ES-PLANTUFAM* foram avaliadas por meio de análise de frequência (Gadermann; Guhn; Zumbo, 2012).

2.4 Aspectos éticos

Trata-se de pesquisa de natureza educacional, com avaliação de usabilidade do sistema *ES-PLANTUFAM*, realizada por meio de questionário anônimo, sem registro de identificação direta ou indireta dos participantes e sem coleta de dados sensíveis, caracterizando-se como estudo de risco mínimo nos termos da Resolução CNS nº 510/2016.

O material suplementar está disponível em Zenodo: 10.5281/zenodo.12712684.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Planejamento e viabilidade do sistema especialista

Durante a etapa de avaliação de viabilidade do planejamento, todos os fatores analisados apresentaram resultados favoráveis ao desenvolvimento do *ES-PLANTUFAM* (Tabela 1). Segundo Giarratano e Riley (2004), a análise de viabilidade permite verificar se um sistema especialista pode gerar conclusões precisas e resolver adequadamente o problema proposto.

Na avaliação da gestão de recursos, foi realizado um levantamento dos recursos computacionais (*software* e *hardware*), humanos e financeiros para o desenvolvimento do *ES-PLANTUFAM*. Conforme a literatura, os recursos disponíveis e o *layout* funcional preliminar do sistema (Figura 1) mostraram-se comparáveis aos utilizados em outros sistemas especialistas com funções semelhantes (Abduljabbar; Salman; Jaleel, 2020; Altayeb *et al.*, 2023; Ayus; Panigrahi, 2021; Mhlongo *et al.*, 2023; Panigrahi; Ayus; Jena, 2021; Wang, 2017).

3.2 Construção da base de conhecimento e seleção das famílias

A base de conhecimento foi desenvolvida a partir da seleção de famílias botânicas representativas da flora do *campus* da UFAM. Foram incluídas 46 famílias de angiospermas, selecionadas com base na frequência de ocorrência nas coletas realizadas na área de estudo. A seleção considerou um conjunto total de 2.310 amostras, distribuídas em 118 famílias de angiospermas coletadas no *campus* da UFAM e depositadas no Herbário HUAM. Entre essas amostras, destacaram-se as famílias *Annonaceae* (246 registros), *Fabaceae* (209) e *Melastomataceae* (141), entre outras apresentadas no material suplementar (Tabela S1 e Figura S1).

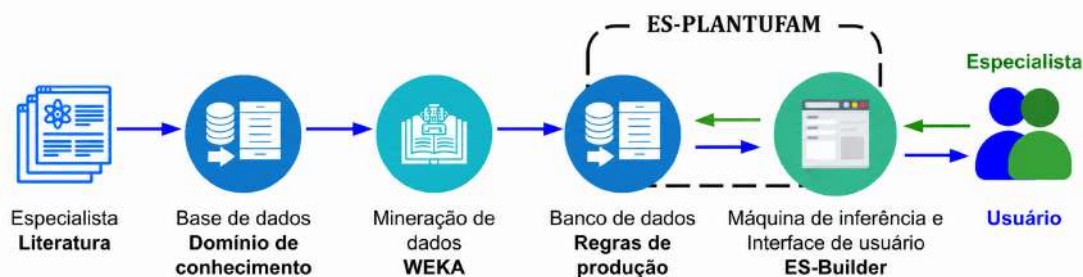
Essa seleção reflete os grupos mais representativos do fragmento florestal estudado, permitindo calibrar inicialmente o sistema para os táxons mais frequentes. Embora o número de caracteres necessários para identificação varie entre famílias, neste estudo foram utilizados apenas onze atributos morfológicos. A base de conhecimento completa está disponível no material suplementar (Tabela S2).

Tabela 1: Avaliação de viabilidade do planejamento deste SE.

Item	Fatores sugeridos	Retorno esperado	Retorno encontrado
1	O problema pode ser solucionado eficientemente por programação convencional?	Não	Não
2	O domínio do problema é bem definido?	Sim	Sim
3	Existe necessidade e interesse por um SE?	Sim	Sim
4	Existem especialistas humanos dispostos a cooperar?	Sim	Sim
5	Os especialistas conseguem passar seu conhecimento?	Sim	Sim
6	A solução do problema envolve principalmente heurística e incerteza?	Sim	Sim

Fonte: Adaptado de Giarratano; Riley, 2004.

Figura 1: Arquitetura simplificada do ES-PLANTUFAM. As setas azuis representam a aquisição do conhecimento a partir de literatura especializada e sua representação em regras de decisão integradas à interface do usuário. As setas verdes indicam a atualização e avaliação contínua do sistema por meio de testes e comparações com especialistas humanos.



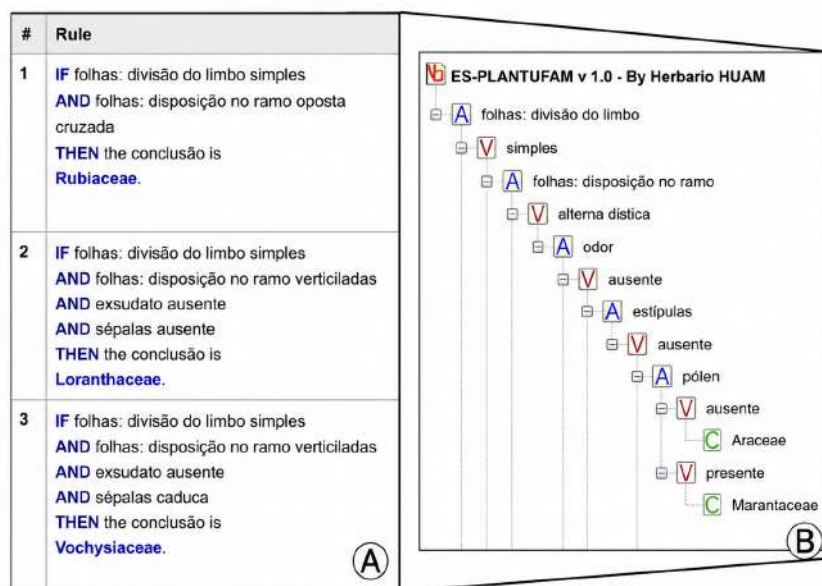
3.3 Desempenho dos algoritmos de classificação

Entre os três algoritmos de árvore de decisão avaliados (J48, *REPTree* e *RandomTree*), treinados utilizando a totalidade da base de conhecimento no *software* WEKA, o *RandomTree* apresentou o melhor desempenho (ver análise detalhada no material suplementar). Esse classificador obteve a maior precisão na identificação das 119 instâncias codificadas, correspondentes às combinações de caracteres morfológicos utilizados para representar as famílias analisadas. O modelo alcançou taxa de acerto de 91,6% e estatística *Kappa* de 0,9139 (Tabela 2). Valores de *Kappa* superiores a 0,80 são geralmente interpretados como indicativos de concordância quase perfeita entre as classificações previstas e reais, demonstrando elevada consistência do modelo na identificação das famílias botânicas analisadas.

Resultados semelhantes têm sido relatados em estudos que utilizam árvores de decisão para construção de sistemas especialistas e ferramentas de identificação biológica (Delgado Calvo-Flores *et al.*, 2006; Wang, 2017).

A matriz de confusão (Figura 2) apresenta forte concentração na diagonal principal, indicando alta acurácia para a maioria das famílias. Algumas classificações incorretas foram observadas, como uma instância de *Apocynaceae* classificada como *Hypericaceae* e duas instâncias de *Hypericaceae* classificadas como *Apocynaceae* e *Dilleniaceae*. Essas confusões podem refletir similaridades morfológicas entre determinadas famílias, evidenciando limitações na discriminação baseada apenas nos caracteres selecionados. A identificação desses casos permite reconhecer quais grupos apresentam maior dificuldade de distinção e quais características podem contribuir para erros de classificação, fornecendo subsídios para o aprimoramento do modelo. De modo geral, a matriz de confusão indica bom desempenho do classificador, com elevada proporção de classificações corretas e número reduzido de erros de predição.

Figura 3: Interface do usuário do ES-PLANTUFAM, mostrando as regras da base de conhecimento de acordo com as famílias selecionadas (a) e a árvore de decisão correspondente (b).



Fonte: Dados organizados pelos autores (2025).

3.5 Validação com especialistas e teste com amostras

O classificador foi testado com dezoito amostras aleatoriamente selecionadas do banco de imagens de exsicatas do Herbário HUAM, previamente identificadas por especialistas, conforme detalhado na Tabela S3 do material suplementar. Das dezoito amostras, o sistema não classificou corretamente duas: *Marantaceae* (HUAM011320) e *Chrysobalanaceae* (HUAM006094), principalmente devido à falta de informações diagnósticas nas etiquetas. Ainda assim, a precisão geral do classificador foi de 88,89%, demonstrando sua eficácia considerável com a maioria das amostras classificadas corretamente utilizando o ES-PLANTUFAM.

3.6 Avaliação de usabilidade pelos usuários

O sistema ES-PLANTUFAM foi avaliado por 22 voluntários por meio de um formulário aplicado no *Google Forms* (<https://forms.gle/4JJgLRnT5zkpsdf6A>). O questionário incluiu perguntas sobre a experiência prévia dos usuários com identificação botânica (Tabela 3) e afirmações em escala *Likert* para avaliar a experiência de uso do sistema (Tabela 4), cujas respostas completas estão disponíveis no material suplementar (Tabela S4).

Todos os participantes voluntários já haviam assistido a aulas de morfologia vegetal, o que pode ter influenciado positivamente sua familiaridade e habilidade no uso de ferramentas de identificação de plantas. Entre os voluntários que já utilizaram chaves de identificação tradicionais, 72,73% relataram dificuldades no seu uso. Esse resultado reforça a necessidade de ferramentas alternativas que facilitem o processo de identificação botânica, objetivo que motivou o desenvolvimento do ES-PLANTUFAM.

A consistência interna do questionário (oito afirmações) foi satisfatória (α de Cronbach = 0,82), indicando boa confiabilidade do instrumento (Gadermann; Guhn; Zumbo, 2012). O intervalo de confiança (0,73-0,92) sugere estabilidade do índice, e a exclusão de qualquer item não aumentou o valor de α (ver análise em R no material suplementar).

A distribuição das respostas indicou avaliação geral positiva do sistema, com predominância das categorias “Concordo” e “Concordo totalmente” (Tabela 4). As maiores frequências de concordância total ocorreram nas proposições relacionadas à clareza das informações (54,55%) e à adequação das imagens (72,73%), sugerindo que esses aspectos constituem fatores importantes para uma experiência positiva de uso. Por outro lado, as proposições

Tabela 3: Distribuição proporcional da experiência anterior do usuário (n = 22 participantes).

Perguntas	Sim	Não	Não sei opinar
Você já teve aulas de morfologia botânica?	100	0.00	0.00
Você já usou chaves de identificação de plantas tradicionais?	72.73	27.27	0.00
Você teve dificuldades em utilizar chaves de identificação de plantas tradicionais?	72.73	0.00	27.27

relacionadas à precisão das respostas e à contribuição para a eficiência da identificação apresentaram proporção relativamente maior de respostas neutras ou discordantes, indicando pontos que podem ser aprimorados em versões futuras do sistema.

Apesar dos resultados promissores, algumas limitações devem ser consideradas. A base de conhecimento do *ES-PLANTUFAM* foi construída a partir de um conjunto restrito de famílias botânicas representativas da flora do *campus* da UFAM, o que pode limitar a generalização do sistema para outras regiões ou para um número maior de táxons da flora amazônica. Além disso, a validação foi realizada com número relativamente reduzido de amostras e participantes. Estudos futuros poderão ampliar a base de conhecimento, incorporar novos caracteres morfológicos diagnósticos e realizar avaliações com conjuntos de dados e públicos mais amplos, aumentando a robustez e aplicabilidade do sistema.

Tabela 4: Distribuição proporcional da experiência do usuário (n = 22 participantes) com o *ES-PLANTUFAM*, com as opiniões classificadas conforme a escala de *Likert*.

Proposições	DT	D	N	C	CT
1 - Minha experiência utilizando o <i>ES-PLANTUFAM</i> para identificação de amostras foi positiva.	0.00	0.00	4.55	50.00	45.45
2 - As informações fornecidas pelo <i>ES-PLANTUFAM</i> foram claras.	0.00	0.00	0.00	45.45	54.55
3 - A navegação e usabilidade geral do <i>ES-PLANTUFAM</i> para identificação das amostras foram fáceis.	0.00	0.00	13.64	36.36	50.00
4 - Tive facilidade em interpretar os resultados ou recomendações fornecidas pelo <i>ES-PLANTUFAM</i> .	0.00	4.55	9.09	45.45	40.91
5 - As informações fornecidas sobre as amostras de plantas e a resolução das imagens das plantas foram adequados.	0.00	0.00	4.55	22.73	72.73
6 - O <i>ES-PLANTUFAM</i> conseguiu fornecer respostas precisas e confiáveis para a identificação das famílias nas amostras fornecidas.	0.00	9.09	13.64	27.27	50.00
7 - Considero que o <i>ES-PLANTUFAM</i> contribui significativamente para a eficiência na identificação de amostras botânicas.	0.00	9.09	13.64	27.27	50.00
8 - Eu recomendaria o <i>ES-PLANTUFAM</i> para conhecidos com interesse na área.	0.00	0.00	4.55	40.91	54.55

Nota: DT - Discordo totalmente; D - Discordo; N - Neutro; C - Concordo; CT - Concordo totalmente.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo foi desenvolvido o *ES-PLANTUFAM*, um SE *online* projetado para identificar amostras botânicas de famílias de angiospermas do *Campus* UFAM. A base de conhecimento foi construída a partir de fontes taxonômicas consolidadas, incluindo a Flora do Brasil, a Flora da Reserva *Ducke* e a literatura botânica especializada. O estudo resultou na construção de uma base de dados morfológicos e na implementação de uma ferramenta digital para apoio à identificação botânica.

O desenvolvimento do sistema resultou na construção de uma base de dados morfológicos e na disponibilização de uma plataforma *web* voltada à identificação baseada em caracteres diagnósticos. A ferramenta contribui para tornar mais acessível o conhecimento morfológico utilizado na identificação de famílias de angiospermas da

Amazônia brasileira, podendo apoiar atividades de ensino, pesquisa e treinamento em taxonomia e morfologia vegetal.

Os resultados indicam que o *ES-PLANTUFAM* foi bem recebido pelos usuários, com a maioria relatando experiência positiva durante a utilização do sistema. Ainda assim, há potencial para ampliar sua aplicabilidade por meio da inclusão de um número maior de famílias botânicas e da adaptação da interface para uso em campo. Embora ferramentas de identificação baseadas em visão computacional estejam se tornando cada vez mais comuns, abordagens fundamentadas em caracteres morfológicos continuam desempenhando papel relevante na identificação botânica. Essas ferramentas permitem explicitar os caracteres diagnósticos utilizados na distinção entre táxons, complementando métodos baseados em imagens e contribuindo para maior transparência no processo de identificação.

Embora promissor, o sistema ainda apresenta limitações relacionadas ao número restrito de famílias incluídas na base de conhecimento e ao conjunto reduzido de amostras utilizadas na validação. A ampliação da base de dados, a inclusão de novos caracteres morfológicos e a avaliação com conjuntos de dados mais amplos poderão aumentar a robustez e a aplicabilidade do sistema.

Dessa forma, o *ES-PLANTUFAM* representa um passo inicial no desenvolvimento de ferramentas digitais explicáveis voltadas à identificação botânica da flora amazônica, com potencial aplicação em ensino, pesquisa e apoio à curadoria de coleções botânicas.

REFERÊNCIAS

- ABDULJABBAR, A. S.; SALMAN, N. D.; JALEEL, Z. T. Design of an expert system for airport rubber removal. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 737, n. 1, p. 012135, 2020.
- ALTAYEB, J. M. *et al.* Mango pests identification expert system. **International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS)**, v. 7, n. 6, p. 19–26, 2023.
- ANITHA, A. Disease prediction and knowledge extraction in banana crop cultivation using decision tree classifiers. **International Journal of Business Intelligence and Data Mining**, v. 20, n. 1, p. 107–120, 2022.
- AYUS, I.; PANIGRAHI, N. A decision support system using rule-based expert system for covid-19 prediction and diagnosis. In: MOHANTY, S. N. *et al.* (Ed.). **Applications of Artificial Intelligence in COVID-19**. Singapore: Springer, 2021, (Medical Virology: From Pathogenesis to Disease Control). p. 119–140. Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-981-15-7317-0_7. Acesso em: 15 jun. 2024.
- CALVO-FLORES, M. D. *et al.* Xkey: A tool for the generation of identification keys. **Expert Systems with Applications**, v. 30, n. 2, p. 337–351, 2006.
- CARDOSO, D. *et al.* Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 40, p. 10695–10700, 2017.
- CAVALCANTI, M. J.; SANTOS-SILVA, E. N. d.; PRIMEIRO, L. G. Free delta: An open source system for processing taxonomic descriptions. **Tropical Diversity**, v. 4, n. 1, p. 1–12, 2024.
- CONTRERAS, W. F. *et al.* An application of expert systems to botanical taxonomy. **Expert Systems with Applications**, v. 25, n. 3, p. 425–430, 2003.
- DALLWITZ, M. J. A flexible computer program for generating identification keys. **Systematic Biology**, v. 23, n. 1, p. 50–57, 1974.
- DALLWITZ, M. J.; PAINE, T. A.; ZURCHER, E. J. **User's guide to the DELTA system**: A general system for processing taxonomic descriptions. London: Academic Press, 2020. Disponível em: <https://www.delta-intkey.com/www/uguide.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- DAVIS, J. R.; MARTIN, C. V.; MACKENZIE, D. A simple expert system for identifying plants in a local area. **Environmental Software**, v. 5, n. 3, p. 149–157, 1990.
- ELE, S. I.; UMOH, E. E.; ADESOLA, W. A. An overview of the development principles, stages and building blocks of expert system. **West African Journal of Industrial and Academic Research**, v. 11, n. 1, p. 44–58, 2014.
- ES-BUILDER WEB. **McGoo software**: Expert system shell. 2024. Disponível em: <https://www.mcgoo.com.au/>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- Flora e Funga do Brasil. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. 2024. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/consulta/>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- FRANK, E.; HALL, M. A.; WITTEN, I. H. **The WEKA workbench**: Online appendix for “Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques”. 4. ed. Waikato: Morgan Kaufmann, 2016.
- GADERMANN, A. M.; GUHN, M.; ZUMBO, B. D. Estimating ordinal reliability for likert-type and ordinal item response data: A conceptual, empirical, and practical guide. **Practical Assessment, Research & Evaluation**, v. 17, n. 3, 2012. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ977577>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- GIARRATANO, J. C.; RILEY, G. **Expert systems**: Principles and programming. Boston, Massachusetts: Thomson Course Technology, 2004.
- GWENDO, J. O. Trends and insights on tools used for the development of expert systems: A systematic review of research articles (2018–2022). **International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology**, v. 8, p. 331–347, 2023.
- İNAN, Y. **Leaves recognition systems using artificial neural network**. 83 p. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Computer Engineering)) — Near East University, Nicosia, 2015.
- IZAGUIRRE, F. **The names of all wild things**: Field guides and environmental thinking. 109 p. Tese (Doutorado) — West Virginia University, West Virginia, 2024.
- JUNIOR, G. d. B. V. *et al.* Métricas utilizadas para avaliar a eficiência de classificadores em algoritmos inteligentes. **Revista CPAQV – Centro de Pesquisas Avançadas em Qualidade de Vida**, v. 14, n. 2, 2022.

- LELEKOV, S.; LYAKH, A. Taxex: Taxonomic expert system. History of development and technology of identification. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARINE BIODIVERSITY DATA MANAGEMENT. Ocean Biodiversity Informatics*. Germany: IOC Workshop Report, 2004. p. 113–120.
- LucidCentral. **Identification and diagnostic tools**. 2026. Disponível em: <https://www.lucidcentral.org/>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- MELLI, R. Expert systems and knowledge acquisition. *In: Exergy, Energy System Analysis and Optimization*. Oxford, United Kingdom: UNESCO-EOLSS, 2009. v. 3, p. 14. Disponível em: <https://www.eolss.net/sample-chapters/c08/E3-19-04-02.pdf>.
- MHLONGO, S. E. E. *et al.* A rule-based expert system for selection of rehabilitation strategies for abandoned mines in south africa. **Journal of Mining and Environment**, v. 14, n. 4, p. 1171–1181, 2023.
- MIOT, H. A. Análise de concordância em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, v. 15, n. 2, p. 89–92, 2016.
- NESBITT, M. *et al.* Linking biodiversity, food and nutrition: The importance of plant identification and nomenclature. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23, n. 6, p. 486–498, 2010.
- OSSANI, P. C. *et al.* Machine learning in classification and identification of nonconventional vegetables. **Journal of Food Science**, v. 85, n. 12, p. 4194–4200, 2020.
- PANIGRAHI, N.; AYUS, I.; JENA, O. An expert system-based clinical decision support system for hepatitis-b prediction & diagnosis. *In: MOHANTY, S. N. et al.* (Ed.). **Machine Learning for Healthcare Applications**. 1. ed. India: Scrivener Publishing LLC, 2021. v. 1, p. 57–76.
- R Core Team. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2023.
- RIBEIRO, J. E. L. d. S. *et al.* **Flora da Reserva Ducke: Guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central**. 1. ed. Manaus, AM: INPA-DFID, 1999. v. 1.
- SHARMA, N. *et al.* Designing online species identification tools for biological recording: The impact on data quality and citizen science learning. **PeerJ**, v. 6, p. e5965, 2019.
- SILVA, H. *et al.* Illustrated plant identification keys: An interactive tool to learn botany. **Computers & Education**, v. 56, n. 4, p. 969–973, 2011.
- SILVA, R. C. V. Martins-da *et al.* **Noções morfológicas e taxonômicas para identificação botânica**. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/amazonia-oriental/publicacoes>. Acesso em: 26 maio 2024.
- The Brazil Flora Group (BFG). **Coleção flora do Brasil 2020**. 1. ed. Rio de Janeiro: Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <http://doi.org/10.47871/jbrj2021004>. Acesso em: 27 fev. 2026.
- UNG, V. *et al.* Xper2: Introducing e-taxonomy. **Bioinformatics**, v. 26, n. 5, p. 703–704, 2010.
- VIGNES-LEBBE, R. *et al.* Desktop or remote knowledge base management systems for taxonomic data and identification keys: Xper2 and Xper3. **Biodiversity Information Science and Standards**, v. 1, p. e19911, 2017.
- WANG, C. The research on the application of plant identification and mobile learning app based on expert system. *In: Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education*. Porto, Portugal: SCITEPRESS – Science and Technology Publications, 2017. p. 332–339. Disponível em: <http://www.scitepress.org/DigitalLibrary>. Acesso em: 27 fev. 2026.