

Árvores ÁHPICE: Mapeamento e Representação de Indivíduos Arbóreos de Importância para o Ambiente Urbano

Hildiane Azevedo Soares^{a*}, André Luiz Alencar de Mendonça^b

Received: 14/12/2024

Reviewed: 16/12/2024

Accepted: 16/12/2024

Published: 17/12/2024

^a Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 69080-900, Brasil;

^b Departamento de Ciências Florestais, Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, Amazonas, 69080-900, Brasil;

*Autor correspondente: hildiane.soares@ufam.edu.br

Citação: Soares, H. A., Mendonça, A. L. A. (2024). Árvores ÁHPICE: Mapeamento e Representação de Indivíduos Arbóreos de Importância para o Ambiente Urbano. *Sustentabilidade International Scientific Journal*, v. 1, n. 3. <https://doi.org/10.70336/sust.2024.v1.17196>

Resumo: A pesquisa em arborização urbana vem sendo realizada ao longo do tempo com foco em inventários, na importância de árvores no ambiente urbano e nos benefícios de se planejar e gerenciar adequadamente as florestas urbanas e periurbanas. Com o crescimento de áreas urbanas no planeta, juntamente com as mudanças climáticas e o clamor por ações de proteção do meio ambiente, a proteção, gestão e restauração de florestas passam a ser vitais no escopo de ações globais para mitigação de impactos ambientais. Esta pesquisa propõe o uso do termo ÁHPICE para árvores de importância em várias dimensões no ambiente urbano, em conjunto com ações de mapeamento, monitoramento e conservação, com apoio de tecnologia de reconstituição aerofotogramétrica e cartografia com apoio de imagens ao nível de rua e georreferenciamento das árvores. Estas ações foram aplicadas no Campus da Universidade Federal do Amazonas em Manaus – AM, no âmbito de uma aplicação de mapeamento do campus – o CampusMap UFAM – localizado num grande fragmento florestal urbano. A metodologia aplicada e resultados são discutidos sob a ótica da conservação de árvores, do fragmento, e da integração com o uso do espaço pela comunidade, além das possibilidades de uso por parte de profissionais. Espera-se que indivíduos ÁHPICE possam ser objeto de políticas públicas especiais para conservação do patrimônio que as árvores significam para as pessoas que vivem nos ambientes urbanos, participando da história, cultura e saberes locais, em conjunto com a importância ecológica e ambiental de espaços verdes em áreas urbanas e periurbanas.

Palavras-chave: Arborização urbana, florestas urbanas e periurbanas, árvores AHPICE

Abstract: Research on urban forestry has been carried out over time with a focus on inventories, the importance of trees in the urban environment and the benefits of properly planning and managing urban and peri-urban forests. With the growth of urban areas on the planet, together with climate change and the clamor for environmental protection actions, the protection, management and restoration of forests have become vital in the scope of global actions to mitigate environmental impacts. This research proposes the use of the term AHPICE for trees of importance in several dimensions in the urban environment, together with mapping, monitoring and conservation actions, using aerial photogrammetric reconstruction technology and cartography with the support of street-level images and georeferencing of trees. These actions were applied on the Campus of the Federal University of Amazonas in Manaus - AM, within the scope of a campus mapping application - CampusMap UFAM - located in a large urban forest fragment. The methodology applied and the results are discussed from the perspective of tree conservation, the fragment, and the integration with the use of space by the community, in addition to the possibilities of use by professionals. It is expected that AHPICE individuals can be the object of special public policies for the conservation of a city heritage, specially to what trees mean to people living in urban environments, participating in the history, culture and local knowledge, together with the ecological and environmental importance of green spaces in urban and peri-urban areas.

Keywords: Urban arborization, Urban and periurban forests, AHPICE trees

1. Introdução

As florestas são essenciais para o equilíbrio ambiental nas cidades, oferecendo refúgio para espécies nativas e preservando a biodiversidade, inclusive nos ambientes periurbanos. Além de servirem como áreas de pesquisa, lazer e educação ambiental, essas áreas verdes atuam como filtros naturais que capturam poluentes, absorvem dióxido de carbono e liberam oxigênio. Em grandes centros urbanos, onde a poluição do ar é uma realidade incômoda, florestas podem reduzir

significativamente os níveis de poluentes atmosféricos, melhorando a saúde pública (Escobedo, Kroeger & Wagner, 2011; Nilson, Sangster e Konijnendjik, 2011; Grote et al. 2016; Astell-burt & Feng, 2015)

Outro serviço essencial proporcionado pelas florestas urbanas é a regulação térmica. Áreas arborizadas ajudam a mitigar os efeitos das ilhas de calor, fenômeno amplamente observado em cidades densas, onde concreto, asfalto e o privilégio dado a construções eleva as temperaturas locais. As árvores fornecem sombra e, através da evapotranspiração, reduzem as temperaturas locais, criando microclimas mais confortáveis (Schwaab et al., 2021). O fenômeno das ilhas de calor urbanas em Manaus tem sido objeto de modelagem, com resultados importantes no que diz respeito a mitigação deste fenômeno pela integração de áreas verdes a ambientes tipicamente urbanos (Machado, 2023)

As áreas verdes também desempenham um papel importante no sequestro e armazenamento de carbono, contribuindo para a redução do CO₂ atmosférico e ajudando a retardar efeitos das mudanças climáticas (AA). Embora não substituam grandes biomas, e ainda seja necessário estudar cenários e situações relacionadas aos efeitos das mudanças climáticas (Fryd e colaboradores, 2012), sabe-se que áreas verdes atuam como sumidouros de carbono em áreas urbanas (Ramyar & Zarghami, 2017) complementando estratégias de resiliência climática. Também mitigam os impactos da urbanização, como as emissões de carbono e o fenômeno das Ilhas de Calor Urbanas, sendo, portanto, essenciais em políticas de sustentabilidade (Nowak et al., 2013).

A expansão dos centros urbanos tem exercido um impacto substancial sobre a preservação de fragmentos florestais, especialmente em cidades como Manaus, onde o avanço da modernização e urbanização nas áreas centrais cria fronteiras sociais e ambientais complexas. Como destacado por Santos et al. (2024), o planejamento de paisagens urbanas que equilibrem as demandas humanas com a proteção da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos fornecidos por essas florestas urbanas representa um desafio significativo e urgente para o desenvolvimento sustentável, especialmente em cidades como Manaus, que se encontram estrategicamente localizadas em ambientes naturalmente importantes, como na floresta amazônica.

As ferramentas de mapeamento têm sido aplicadas em vários produtos associados a conservação de florestas. Em especial, com o advento de sensoriamento remoto e a popularização de mapas em *smartphones*, as cidades e as feições que as formam passaram a ser mapeadas a partir de levantamentos por satélites e aerofotogramétricos tradicionais, bem como sua cartografia passou a ser mais precisa e acurada a partir de equipamentos de maior precisão utilizados na coleta de dados geográficos. Computacionalmente, passou a ser mais frequente a utilização de Sistemas de informação geográfica e de sistemas com poder de processamento adequado para a geração frequente de cartografia atualizada e em maiores escalas. Biljecki e Ito (2021) citam o advento de imagens ao nível de rua como uma forma promissora de atualização de dados do espaço urbano, bem como apoio a navegação e mapeamento. Porém parece promissora sua utilização em especial na arborização urbana e periurbana (Lu et al. 2023). Especificamente para o mapeamento de árvores e espaços verdes, pesquisas vem utilizando imagens ao nível de rua e modelos tridimensionais baseados em reconstituição aerofotogramétrica para identificação de espécies (Choi et al. 2018), inventário e quantificação (Seiferling e colaboradores, 2017), serviços ecossistêmicos derivados (Barbierato et al. 2020) e qualidade e forma da arborização (Hu e colaboradores, 2022);

Estudos como Jim (1990), Browne (2001), Jim (2005a), Jim (2005b), Li, Wang e Huang (2011) Jim (2017) e Huang e colaboradores (2020), vem ao longo do tempo enfatizando o conceito de árvores historicamente importantes para ambientes urbanos. Jim (1990) cita que a identificação de árvores específicas com um termo pode significar uma maior facilidade para a proteção destes espécimes, e angariar apoio público e privado para sua manutenção, monitoramento, conhecimento e cuidado. No Brasil existem iniciativas históricas de preservação de espécies, quase sempre embasadas pela importância ecológica e raridade da espécie protegida, enquanto alguns países buscam preservar indivíduos de características notáveis.

Scipioni, Kanieski e Coelho (2023) explicam que árvores desempenham um papel fundamental nas paisagens naturais e urbanas, sendo parte integrante do cotidiano social humano, com vínculos históricos e aplicações em práticas socioculturais, como eventos folclóricos e festividades. Salienta-se aqui a importância cultural de árvores, bem como sua importância histórica para espaços urbanos, incluindo acontecimentos históricos que ocorreram tendo como ponto de referência uma ou mais árvores. Aqui também se aplica a definição imaterial do indivíduo arbóreo para um espaço urbano: como as árvores são seres vivos, sua existência é cíclica. Porém é possível que sua existência tenha referenciado saberes, acontecimentos e muitas outras experiências entrelaçadas com as histórias dos moradores das cidades (Wohlleben, 2017)

Este estudo é derivado de levantamentos feitos para um produto proposto para o Campus Map da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), aplicação que tem como objetivo ser um repositório georreferenciado de dados da Universidade e prover múltiplas interfaces para ações e públicos diversos. A pesquisa aqui apresentada tem como objetivo demonstrar metodologias para o mapeamento e monitoramento de árvores ÁHPICE, definindo o conceito dessas árvores, com ênfase em sua importância para a cidade de Manaus - AM. Serão apresentadas técnicas de mapeamento utilizando interfaces cartográficas, tanto em nível de rua quanto por meio de modelos tridimensionais georreferenciados. Adicionalmente, foi conduzido um estudo preliminar com profissionais para análise da interface desenvolvida especificamente para o estudo e visualização dessas árvores, avaliando sua aplicabilidade e contribuições para o manejo e conservação em áreas urbanas.

2. Materiais e Métodos

Área de Estudo

O Mini Campus da Universidade Federal do Amazonas - UFAM (3° 05 '59"S, 59° 58' 30"W), fica localizado na Avenida Rodrigo Otávio, bairro Coroado, zona sul da cidade de Manaus, abrangendo aproximadamente 600 hectares na zona Leste da cidade (Silva & Mendonça, 2024). É uma área pública federal para atividades educacionais, culturais e recreativas. Parte dela é a APA urbana Floresta Manaós, criada pelo Decreto nº 1503 de 27/03/2012. O Campus tem como nome oficial: Campus Universitário Senador Arthur Virgílio Filho e sua área de floresta se conecta a áreas de floresta à oeste no Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

A iniciativa Campus Map foi desenvolvida inicialmente pela Universidade Federal do Paraná - UFPR com o objetivo de desenvolver um aplicativo para ser utilizado em dispositivos móveis, para navegação em espaços internos e visualização dos dados levantados no âmbito do projeto (Lima, 2017). O Campus Map UFAM atualmente implementa banco de dados geográfico para feições de interesse dentro dos *campi* da UFAM, englobando edificações e também o espaço externo. Dada a importância das áreas de fragmentos florestais urbanos aonde muitos *campi* da UFAM estão inseridos, sua base de dados prevê o mapeamento e caracterização de elementos de interesse para a ecologia das paisagens analisadas, para além da navegação e visualização de espaços em interfaces cartográficas.

Critérios para seleção de indivíduos

A definição de árvores que possam ser de interesse público e social passa pela seleção de diversos critérios. Há, na legislação brasileira (BRASIL, 2012) o conceito de árvores imunes ao corte, que, tem como princípio básico a necessidade de proteção do patrimônio ambiental brasileiro. Canizzaro e Corintha (2012) citam, em seu estudo sobre árvores chamadas de monumentais, a necessidade da padronização de critérios para que mais árvores possam ser consideradas de importância para a sociedade. Estudos da ecologia e da Silvicultura vem sumarizando, por exemplo, a importância ecológica de um indivíduo arbóreo, como nos casos onde árvores atuam como portasementes ou como fonte de sombreamento ou de abrigo e alimento para o desenvolvimento de outras espécies. Porém, muitas vezes há a necessidade de que árvores tenham maior importância social, especialmente no ambiente urbano onde são facilmente trocadas por outros tipos de aproveitamento de espaço.

Segundo Jim & Zhang (2013), árvores urbanas devem ser avaliadas para proteção especial a partir de critérios como: 1) porte excepcional, 2) formato notável, 3) raridade 4) idade (antiguidade) e 5) importância cultural, histórica ou ecológica. Scipioni, Kanieski & Coelho (2023) desenvolvem o raciocínio da importância humana a partir de dimensões, embasados por diversos estudos da literatura da arborização urbana pelo mundo: a) dimensão excepcional, b) idade avançada, c) desempenho superlativo (campeã), d) características ecológicas especiais, e) função de domínio cênico-visual, f) associação personalidade-evento, g) legado natural-cultural, h) conotação espiritual-mítica e i) reconhecimento de proteção legal.

Árvores urbanas, ao atenderem a pelo menos um dos critérios, tornam-se marcos simbólicos e ecologicamente e socialmente relevantes, ditas essenciais para a conservação urbana e histórica de um ambiente e parte da integração entre humano e natural nas cidades. *Campi* universitários

costumam ser ambientes representativos da vida na cidade e são lugares de reconhecida importância para as cidades que os abrigam. Provavelmente dada a característica dessas áreas, as árvores ocupam um espaço de destaque no paisagismo de boa parte desses terrenos e a percepção interna é provavelmente unânime da importância de áreas verdes, arborização viária e espaços verdes na composição da paisagem. Ainda no caso em tela, de um campus universitário inserido em uma área de proteção ambiental (APA), toda área verde já está protegida por lei. Pressupõe-se que, neste caso, o lugar já esteja inserido no conceito de grande importância ecológica e social. Porém no caso de espécimes - não só na universidade, como em todo o espaço urbano, existem questões de difícil materialização. Exemplos são árvores que tem importância na vida universitária, e que, com sua história, podem ter sido referenciais de pesquisas, eventos, acontecimentos e costumes locais e, parte da história de várias pessoas em um espaço de tempo. Mesmo árvores que não mais estejam vivas deveriam ter sua história registrada e protegida, como parte do recorte espaço-temporal da existência humana naquele ambiente.

Parte-se do conjunto dessas ideias para a proposição do termo AHPICE, como forma de designar árvores que devem ser protegidas e monitoradas como parte de várias dimensões da relação entre humanos e meio ambiente. O termo busca refletir a relevância da árvore no ambiente, tanto em aspectos materiais quanto imateriais, destacando-se níveis de importância Ambiental, Histórica, Cultural e Ecológica. AHPICE então seria um acrônimo contendo as dimensões aqui citadas – incluindo as letras P e I como iniciais para patrimônios-imateriais – que busca remeter a ideia do ápice - termo utilizado no sentido de máximo, referente ao apogeu da importância a ser dada para estes espécimes urbanos. Esse termo também encapsula o papel central de uma árvore no ecossistema, simbolizando o "ápice" do ambiente, ou seja, seu cume ou ponto máximo.

A partir desta ideia de importância humana, foram definidas 42 árvores no setor Sul do campus universitário que se destacam em um ou mais critérios estabelecidos no início desta seção. A metodologia do presente artigo concentra-se também nos aspectos relevantes para o mapeamento e monitoramento deste grupo de indivíduos, podendo ser estendida para qualquer conjunto de ações que vise a conservação de espécimes classificadas como tal.

Técnicas de mapeamento

1. Mapeamento georreferenciado e banco de dados geográfico

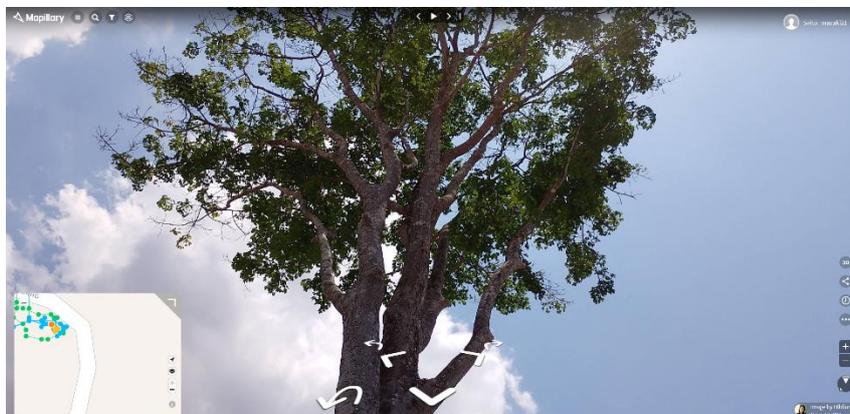
O presente trabalho elegeu elementos considerados referenciais para levantamento de atributos a partir da modelagem de campos em banco de dados geográfico, formato *postgreSQL 16*, com extensão espacial *postgis*, versão 3.5. Foi realizada modelagem a partir da discussão de elementos de interesse para árvores em geral na arborização urbana e viária, além dos aspectos específicos que permitam identificar quais as dimensões de interesse no espécime que permitam que o mesmo seja considerado uma árvore AHPICE. Com os dados coletados, o banco de dados geográfico foi implementado e as informações publicadas por meio de servidor de mapas do tipo *Geoserver*, versão 2.26.1, conforme Silva & Mendonça (2024).

2. Fotos ao nível de rua

As representações 2D das áreas onde as árvores estão localizadas foram gerados a partir de desenvolvimento com ferramenta Mapbox3. Os mapas interativos são ferramentas que facilitam a análise espacial e a compreensão da distribuição das árvores no ambiente. Foram realizados mapeamentos à nível de rua utilizando o *Mapillary*, uma ferramenta que permite a captura de imagens com qualquer tipo de câmera e permite a utilização destas imagens em mapas, por meio da informação EXIF existente no arquivo de imagens, no formato de coordenadas. É considerado uma aplicação colaborativa, pois mantém o banco de dados de contribuições de usuários em seu sítio próprio, em escala global. O *Mapillary* é um banco de imagens e uma alternativa *opensource* para obtenção, armazenamento e utilização de imagens ao nível de rua, podendo ser incluído em qualquer interface web por meio de seu aplicativo de desenvolvimento *mapillary.js*. Para a interface do campus map foi imaginada a visualização de rotas cênicas, passando pelos indivíduos de interesse, com possibilidade de interação em interface computacional (Figura 1), bem como posterior possibilidade de integração de modelos tridimensionais e ferramentas de realidade aumentada, também úteis para a conservação histórica, já que os levantamentos de cada época

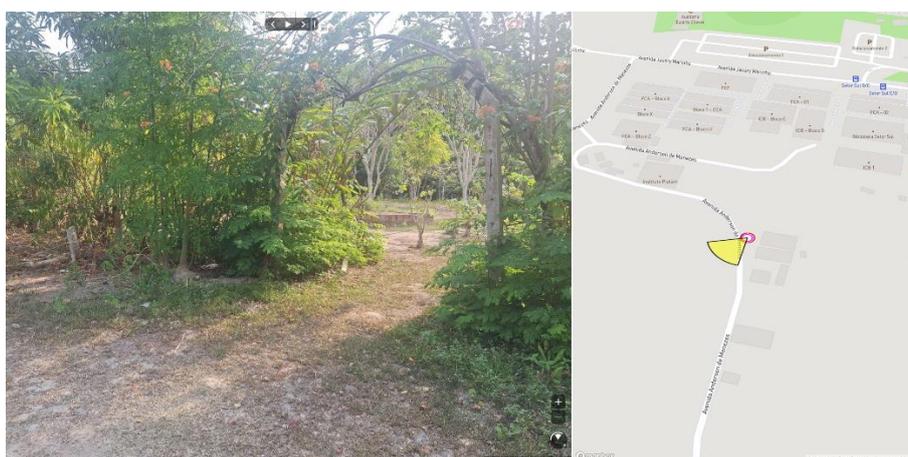
podem ser armazenados. As fotos ao nível de rua foram integradas na interface 2D mapbox (Figura 2) e os códigos estão disponibilizados na plataforma *github* do labgeotec UFAM.

Figura 1. Árvore AHPICE em imagem ao nível de rua no mapillary.



Fonte: Os Autores (2024)

Figura 2. Interface integrando mapa 2D e imagem ao nível de rua no setor sul da UFAM.



Fonte: Os Autores (2024)

3. Modelo tridimensional Realista

O levantamento de dados foi feito por meio de aerofotogrametria com aeronave remotamente pilotada (ARP), modelo DJI MINI4 Pro, permitindo a captura de imagens aéreas de alta resolução e garantindo cobertura eficiente da área de interesse, maximizando a qualidade dos dados geoespaciais coletados. O processamento de dados foi feito no ambiente OpenDroneMap (ODM), plataforma de código aberto que converte imagens aéreas em mapas 3D e ortomosaicos por meio de algoritmos do tipo SFM – *Structure from motion* (Westoby, 2012). Essa abordagem otimiza a eficiência e acessibilidade, facilitando o uso de ferramentas avançadas para decisões informadas em projetos de mapeamento.

As capturas fotográficas seguiram adaptações das metodologias de Uçar & Akay (2021) e Gatzliolis et al. (2015), e incorporadas as melhorias sugeridas por Soares & Mendonça (2024), como a efetiva maior quantidade de fotos incorporadas no processamento, bem como a utilização de configurações do algoritmo do SFM disponibilizada no próprio *OpenDroneMap*, para reconstituição de objetos 3D.

Testes com usuários

Na fase anterior desta pesquisa foram realizados testes com usuários para validar a ferramenta de interface cartográfica montada em conjunto com visualização de mapa 2D interativo tradicional. O objetivo dos testes era verificar se o uso deste tipo de interface tinha resultados promissores para

navegação em ambientes externos, em comparação com a navegação no mundo real e o uso de mapas interativos 2D tradicionais. Já para validar a percepção do modelo Tridimensional realista, foi realizada uma entrevista estruturada com três engenheiros florestais, em caráter preliminar e qualitativo. A pesquisa concentrou-se em quatro temas básicos, envolvendo a interação com o modelo tridimensional realista e 1) a possibilidade de identificação da espécie; 2) possibilidade de observação da filotaxia e das folhas; 3) presença de patologias; e 4) caminhar e sugestão de melhorias para interface e visualização. Foram realizadas perguntas abertas solicitando que o entrevistado pudesse destacar os temas a partir da sua utilização da ferramenta, bem como foi dada liberdade para serem fornecidas sugestões e outras observações fora desse escopo.

A partir da utilização da metodologia aqui aplicada, serão também discutidas as possibilidades de uso, pensando-se na aplicação destas ferramentas para ações de interesse para ações relativas às árvores AHPICE e possíveis interesses relacionados.

3. Resultados e Discussão

Conforme demonstram Soares & Mendonça (2024), Manaus exemplifica como árvores são fundamentais para a identidade cultural e história de um espaço urbano. O centenário Boulevard Álvaro Maia, avenida no centro da cidade, com seus flamboyants plantados na década de 1980 de vibrante floração vermelha, é um marco histórico do paisagismo urbano e cartão-postal da cidade. Na Avenida Getúlio Vargas, da chamada *Belle Époque* manauara, é embelezada por Oitizeiros centenários que formam um teto verde, reduzindo a temperatura da região. No bairro Educandos, uma samaúma plantada há 15 anos contribui para o paisagismo, o conforto térmico e tem profundo valor para os habitantes do bairro. Ao lado da APA Manaós, existe um espécime de Tanimbuca no fragmento do INPA, que, segundo pesquisadores do próprio Instituto, possui mais de 600 anos de idade. Todas as árvores aqui citadas podem ser consideradas árvores AHPICE e podem ter estudos individualizados necessários para mapeamento e documentação de história e cultura da árvore e das pessoas por ela impactadas.

Um exemplo marcante da relevância das árvores históricas e culturais é a sumaúma, plantada em 1993 no campus da UFAM, setor sul, por Erica Ribeiro Yoshida, a primeira engenheira florestal formada pela instituição. Além de cumprir importantes funções biológicas, essa árvore simboliza a história e o legado do curso de Engenharia Florestal da UFAM em Manaus. Recentemente sua existência foi ameaçada por duas tentativas de remoção para novas construções da própria Universidade. Estas tentativas foram detidas pela comunidade ligada a história desta árvore e demonstram a urgência de proteger esses elementos naturais, testemunhas vivas da história e da identidade local (Soares & Mendonça, 2024)

Figura 3. Egressa Érica Ribeiro Yoshida realizando plantio de sumaúma (*C. pentandra*) no bloco de ciências agrárias, setor sul da Universidade Federal do Amazonas no ano de 1993.



Fonte: Arquivo Pessoal, Érica Yoshida de Freitas (2024)

Especificamente para o campus da UFAM em Manaus, foram inicialmente mapeadas 42 árvores de interesse para o estudo, algumas delas isoladas em espaço viário, outras em bordas de fragmento florestal. Durante o processo de confecção do trabalho, ocorreu um fenômeno natural conhecido como *blowdown*, caracterizado por ventos intensos e chuvas fortes, que provocam o tombamento de árvores na floresta. Esse evento resultou na queda de duas árvores, reduzindo o número de indivíduos analisados para 40. Tal episódio ressalta a vulnerabilidade das árvores frente a eventos climáticos extremos, destacando a importância do monitoramento contínuo e de estratégias de manejo para mitigar impactos naturais.

A aplicação do campus Map, conforme Silva e Mendonça (2024) possui uma interface que pensa em outras aplicações que não só a representação das árvores AHPICE. As árvores AHPICE mapeadas podem ser vistas em representação cartográfica convencional, usando-se duas possibilidades de bases de dados de fundo (Google *Satellite* e OSM) (Figura 4) (Quadro 1), com previsão de integração das imagens obtidas em levantamento aerofotogramétrico do campus inteiro. As mesmas podem também ser observadas a partir de rotas do tipo *Mapillary*, com imagens ao nível de rua integrada à interface cartográfica tradicional. Todas as páginas desenvolvidas para a aplicação têm possibilidades interativas, porém a interface básica busca manter a simplicidade para que possa atrair usuários de diversos setores da comunidade (Figura 5). Sluter (2001) já ressaltava que os mapas interativos transformam o usuário de um receptor em um participante ativo no processo de comunicação cartográfica. Essa interação permite que os usuários personalizem a visualização dos dados, escolhendo a classificação e a simbologia, o que enriquece a experiência de aquisição de conhecimento. Contudo, essa capacidade de customização é restringida pelas funcionalidades inerentes ao design da interface, limitando as opções disponíveis para o usuário.

Figura 4. Árvores AHPICE, em ícones verdes – e respectivos dados de atributos - setor Sul do Campus Universitário Sen. Arthur Virgílio Filho.



Fonte: Os Autores (2024)

Quadro 1. Modelagem de atributos - árvores isoladas no campus map.

ATRIBUTOS	ESPÉCIME		
	Nome Vulgar	Castanheira	Sumaúma
Nome Científico	<i>Bertholletia excelsa</i>	<i>Ceiba pentandra</i>	<i>Hevea brasilienses</i>
Local	Setor Sul - UFAM	Setor Sul - UFAM	Setor Sul - UFAM
Altura (m)	18	24	20
DAP (cm)	1.5	50	70
Finalidade	Produção de madeira; extração de castanhas com alto valor nutricional e econômico; integração em sistemas agroflorestais e monocultivos.	Possui um sistema radicular extenso e resistente, essencial para reforçar o solo e mitigar processos erosivos.	Valorizada pelo látex extraído de seu tronco, utilizado como base para diversos produtos, incluindo pneus, borrachas, luvas e equipamentos médicos.

Fitossanidade	Presença de formigas	Saudável	Saudável
Período de Floração	Ocorre nos meses de outubro a dezembro	Entre os meses de agosto e setembro	A partir de agosto prolongando-se até novembro
Síndrome de Dispersão de Sementes	Barocórica	Anemocórica	Balística
ÁHPICE Justificativa	Espécime jovem e ameaçada, possui importância ecológica para o ambiente; encontra-se isolada representando possibilidade de modelagem.	Plantada no campus sul em 1993 por Erica Ribeiro Yoshida, primeira engenheira florestal formada na universidade. Também abriga diversos ninhos da espécie <i>Psarocolius decumanus</i> , mais conhecido como Japiim.	Importância ecológica e patrimonial no mini campus; árvore isolada; plantada pelo professor Valmir.

Fonte: Literatura consultada: Embrapa (2023); Maciel (2016); Sebrae (2016); Soares & Mendonça (2024); Souza & Wadt (2021).

A modelagem de atributos reúne informações essenciais sobre os espécimes de interesse, abrangendo aspectos fundamentais para sua identificação e estudo. Incluem-se o nome vulgar, para facilitar o reconhecimento popular, e o nome científico, que assegura precisão taxonômica. Dados como localização, altura e diâmetro à altura do peito (DAP), são indispensáveis para inventários e análises futuras. Além disso, são registrados a finalidade ecológica ou cultural do indivíduo, seu estado fitossanitário, o período de floração e a síndrome de dispersão de sementes, permitindo uma visão abrangente de sua ecologia e papel no ecossistema. A justificativa para a sua classificação como ÁHPICE é particularmente relevante, pois subsidia consultas e estudos posteriores, podendo ser complementada por registros audiovisuais que enriquecem tanto a interface digital quanto o espaço físico. Essas informações não apenas promovem a preservação e o monitoramento das árvores, mas também disseminam conhecimento sobre sua relevância ambiental, histórica e cultural.

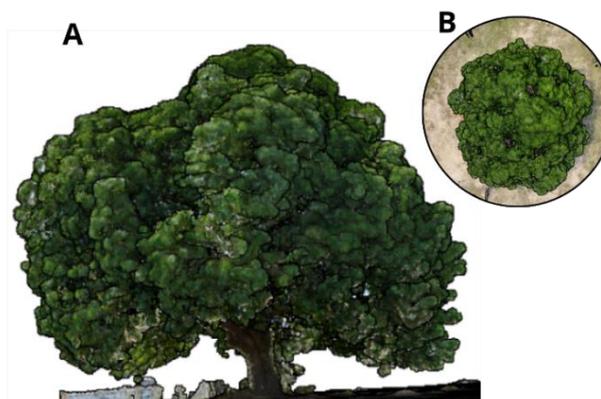
Quanto à representação dos espécimes no modelo tridimensional realista (Figuras 6 e 7), observou-se que certas variáveis devem ser cuidadosamente consideradas para a geração de modelos tridimensionais de alta qualidade. Por exemplo, árvores com copas muito esparsas, como a Seringueira (*Hevea brasiliensis*) (Figura 7), apresentam desafios significativos no processamento aerofotogramétrico pelo método SFM. Nesses casos, é necessário capturar um maior número de imagens, além de manter uma proximidade maior do objeto de estudo, para garantir resultados satisfatórios e uma representação fiel da estrutura da árvore. Porém, como pode ser observado na figura 7, o modelo pode necessitar de uma limpeza da nuvem de pontos, o que é um procedimento relativamente custoso para a solução código-aberto, disponível pelo *opendronemap*. Além da representação a partir da nuvem de pontos é possível representar a árvore por meio de um modelo texturizado (Figura 6) e podem ser integrados dados acerca dos atributos específicos dos espécimes.

Figura 5. Tela Inicial do Campus Map UFAM.



Fonte: Silva e Mendonça (2024)

Figura 6. Representação tridimensional de Castanheira (*Bertholletia excelsa*), modelo tridimensional realista a partir de textura. A – Visão frontal; B – Visão Superior.



Fonte: Os autores (2024)

Figura 7. Representação tridimensional de Seringueira (*Hevea brasilienses*) do canteiro em frente à FCA UFAM a partir de nuvem de pontos.



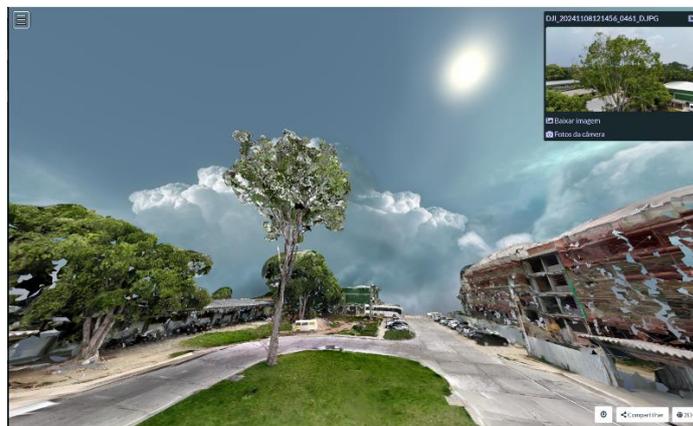
Fonte: Os autores (2024)

A análise com profissionais indicou dificuldades na utilização da interface, além de dificuldades de detalhamento de características das árvores, atribuídas, em parte, à representação em nuvem de pontos. As entrevistas permitiram coletar feedback sobre o uso da ferramenta, evidenciando não só o potencial das ferramentas como também a necessidade de aprimorar os

modelos e procurar realizar tratamento nos dados de forma a dirimir dúvidas de uso mais comuns com a interface, como as ferramentas de navegação, ampliação e cliques, tornando-a mais intuitiva e funcional, com o objetivo de aumentar sua eficiência em aplicações práticas.

Uma vez que a ferramenta tridimensional permite a visualização de imagens, foi evidenciado pelos profissionais entrevistados que é possível realizar identificações dos elementos mais comuns - características de tronco, estado fitossanitário, fitopatologias e risco de queda. Porém alguns elementos tem visualização prejudicada, como intervenção de fauna, texturas de tronco, formatos e ranhuras em folhas. Todos os entrevistados, porém, concordaram que a utilização do modelo substitui em muitos casos a necessidade de especialistas se deslocarem até a árvore, tornando atividades de inspeção, por exemplo, passíveis de serem feitas à distância. Também foram destacadas as possibilidades que se abrem para utilização em ambiente escolar, como forma de construção de conhecimentos relativos às árvores e a paisagem do seu entorno.

Figura 8. Modelo Texturizado em interface O da Seringueira (*Hevea brasilienses*) do canteiro em frente à FCA UFAM.



Fonte: Os autores (2024)

Mais testes encontram-se em andamento para avaliar a utilização da ferramenta de mapas integrada a imagens de nível de rua, com o objetivo de verificar eventuais problemas na navegação básica e a capacidade de usuários de reconstituir informações sobre rota e sobre as árvores a partir do uso desta interface. Em um primeiro momento foi destacado que o uso da interface integrada com imagens ao nível de rua permite fazer reconstituições realistas de rotas para navegação, além de objetos de interesse em rota (Sayuri, Delazari & Mendonça, no prelo), com ressalvas relacionadas à incapacidade de se modificar de forma mais aguda o ângulo de visada para o elemento de interesse – uma limitação do próprio sistema *mapillary* utilizado.

Modelos tridimensionais e ferramentas de processamento de imagens proporcionam uma compreensão detalhada do objeto de interesse, oferecendo ao usuário uma experiência mais próxima da realidade, mesmo em situações de visualização remota. Esses recursos ampliam a percepção espacial e viabilizam a análise detalhada de características complexas, como a estrutura da copa de uma árvore, que seriam difíceis de observar por representações bidimensionais ou até mesmo presencialmente. Para além disso, as representações aqui propostas podem compensar usuários sem conhecimento específico em características silviculturais, tornando-se importante ferramentas de preservação da memória do ambiente, além de proporcionar possibilidades de treinamento educacional e apoio à diversas pesquisas na área florestal, especialmente nas áreas de silvicultura e arborização urbana.

Ao entrar na base de dados pública do aplicativo *mapillary* foi possível visualizar imagens ao nível de rua da mesma área, porém de cinco anos atrás (Figura 8). Foi possível constatar a existência de áreas verdes que foram extintas para realização de obras viárias e construção de blocos, o qual constitui um dos pilares do estudo com esse tipo de ferramenta: como os dados são georreferenciados é possível acompanhar o histórico ao longo do tempo da transformação da paisagem. Além disso, dado o interesse nas árvores AHPICE, estas, caso venham a perecer, podem permanecer numa base de dados, servindo como memorial e fonte de dados para estudos sobre a transformação da área onde antes vivia. Os modelos ao nível de rua também são interessantes para demonstrar a ocorrência de fenômenos que afetam as árvores mapeadas, como no caso de *blowdowns* (Figura 9), e acidentes de

trânsito, problemas com fauna e com tempestades, especialmente na relação com outros equipamentos urbanos.

Figura 9. Tombamento de duas árvores mapeadas em decorrência de *blowdown* no campus da universidade.



Fonte: Arquivo Pessoal, Profa. Mariléia Lopes (2024).

Por fim, deve-se pensar na integração destas coletas para o nível de bairros e com temporalidade tal que se permita mapear ambientes antes de grandes intervenções. Melhor ainda seria se estas ferramentas estivessem integradas aos sistemas SIG das prefeituras, de maneira que seja possível a visualização rápida de modelos e imagens em áreas de interesse para empreendimentos e também para ações de resgate histórico, restauro e integração com outras ações públicas e particulares. Mapas e representações realistas podem ser diferencial de custo e gestão acertada para tomadas de decisão no âmbito de obras, fiscalizações e gestão ambiental, beneficiando toda a sociedade.

Figura 10. Imagem ao nível de rua Mapillary do canteiro em frente à FCA UFAM em 2019.



Fonte: Mapillary.org

5. Conclusão

A modelagem tridimensional detalhada demonstrou ser uma ferramenta eficaz para a obtenção de informações precisas sobre árvores, otimizando tempo, reduzindo custos e minimizando impactos ambientais. Ela permite o monitoramento atemporal das árvores, a avaliação de impactos ambientais e auxilia no planejamento de áreas onde a preservação é prioritária, como no campus da UFAM. Aspectos como a qualidade do fuste, a forma e densidade da copa, e a detecção de danos estruturais podem ser analisados com precisão. Além disso, contribui para a proteção da fauna ao identificar estruturas como ninhos e apoia o planejamento urbano, avaliando interferências no entorno e projetando sombras em áreas urbanas. No entanto, a tecnologia apresenta limitações, especialmente para identificar detalhes sensoriais, de saúde ou ecológicos, que ainda demandam inspeção física. Assim, a modelagem 3D complementa, mas não substitui completamente as visitas de campo, oferecendo uma abordagem integrada e eficiente para o manejo florestal.

As árvores ÁHPICE desempenham um papel central em estudos subsequentes, pois combinam valor ecológico, histórico e cultural, tornando-se objetos prioritários de pesquisa e conservação. A aplicação de ferramentas como a modelagem 3D em estudos sobre essas árvores permite análises detalhadas de suas condições estruturais e ecológicas, promovendo um manejo

mais eficiente e sustentável. Além disso, a preservação dessas árvores em contextos urbanos e acadêmicos reforça a identidade e a memória coletiva dos locais, contribuindo para a conscientização ambiental e cultural. Estudos futuros podem explorar ainda mais a integração dessas tecnologias com programas educativos e comunitários, ampliando o impacto das árvores ÁHPICE na conservação e no planejamento sustentável.

Contribuições dos autores: Ambos os autores participaram nas etapas: Concepção, Análise Formal, Pesquisa, Escrita. O autor André Mendonça foi responsável pela supervisão do trabalho e revisão do texto.

Agradecimentos: Os autores gostariam de agradecer: UFAM e FAPEAM pela bolsa de iniciação científica concedida a autora; Professores Tarcisio Moraes Mady, Guilherme Modolo e Alef Viana e alunos do Laboratório de Anatomia da Madeira (FCA/UFAM) pelas discussões e ideia para o Termo e alunos do Laboratório de Geotecnologias pelo apoio com coletas de campo. Profa. Yeda Boaventura e o grupo de pesquisa Árvores do Asfalto pelas valiosas discussões acerca de árvores na cidade de Manaus

Conflitos de Interesse: Os autores declaram que não há conflito de interesse.

Referências

- ASTELL-BURT, T.; FENG, X. Urban green space, tree canopy and prevention of cardiometabolic diseases: a multilevel longitudinal study of 46 786 Australians. **International journal of epidemiology**, v. 49, n. 3, p. 926-933, 2020. ESCOBEDO, Francisco J.; KROEGER, Timm; WAGNER, John E. Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental pollution*, v. 159, n. 8-9, p. 2078-2087, 2011.
- BARBIERATO, E. et al. Integrating remote sensing and street view images to quantify urban forest ecosystem services. **Remote sensing**, v. 12, n. 2, p. 329, 2020.
- BILJECKI, F.; ITO, K. Street view imagery in urban analytics and GIS: A review. **Landscape and Urban Planning**, v. 215, p. 104217, 2021.
- BROWNE, D. **Our Remarkable Trees: A Selection of Northern Ireland's Special Trees**, Millennium Tree Campaign, Belfast, Northern Ireland (2001)
- CANNIZZARO, S.; CORINTO, G. L. The Role of Monumental Trees in Defining Local Identity and in Tourism. A Case Study in The Marches Region. **Geoprogess Journal**, v. 1, n. 1, 2014.
- CHOI, K. et al. An automatic approach for tree species detection and profile estimation of urban street trees using deep learning and Google street view images. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 190, p. 165-180, 2022.
- EMBRAPA, Instituto Agronômico – Estado de São Paulo, Center for International Forestry Research, CropLife Brasil, 2023. Disponível em: <https://agro.estadao.com.br/summit-agro/seringueira-para-que-serve-essa-planta>. Acesso em: 19 nov de 2024.
- FRYD, Ole; PAULEIT, Stephan; BÜHLER, Oliver. The role of urban green space and trees in relation to climate change. **CABI Reviews**, n. 2011, p. 1-18, 2012.
- GATZLIOLIS, D.; LIENARD, J.F.; VOGS, A.; STRIGUL, N.S. **3D Tree Dimensionality Assessment Using Photogrammetry and Small Unmanned Aerial Vehicles**. PLOS One: 2015.
- GROTE, R. et al. **Functional traits of urban trees: air pollution mitigation potential**. <https://doi.org/10.1002/fee.1426>
- HU, T. et al. Quantifying the shape of urban street trees and evaluating its influence on their aesthetic functions based on mobile lidar data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 184, p. 203-214, 2022.
- HUANG, L. I. et al. Biogeographic and anthropogenic factors shaping the distribution and species assemblage of heritage trees in China. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 50, p. 126652, 2020.
- JIM, C. Y.. Floristics, performance and prognosis of historical trees in the urban forest of Guangzhou City (China). **Environ. Monit. Assess.** 102, 285–308, 2005a. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-6028-0>
- JIM, C. Y.. Monitoring the performance and decline of heritage trees in urban Hong Kong. **Journal of environmental management**, v. 74, n. 2, p. 161-172, 2005b.
- JIM, C. Y.. Urban heritage trees: Natural-cultural significance informing management and conservation. **Greening cities: forms and functions**, p. 279-305, 2017.
- LI, Ying Ying; WANG, Xiang Rong; HUANG, Cheng Lin. Key street tree species selection in urban areas. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 15, p. 3539-3550, 2011.
- LIMA, C. R. (2017). **Desenvolvimento de aplicativo para dispositivos móveis com mapas indoor para o projeto UFPR Campus Map**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia Cartográfica e Agrimensura) - Setor Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MACHADO, J. de J. **Microclima Urbano e Ambiente Construído: Estratégias de Monitoramento e Simulação para estudo de Ilhas de Calor Urbanas em Manaus**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clima e Ambiente – PPG-CLIAMB (UEA – INPA). Manaus, AM. 2023.
- MACIEL, M. **Seringueira, a planta que sustentou uma região**. Ministério da Ciência, tecnologia e Inovações, 31 ago. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/museugoeldi/pt-br/arquivos/noticias/seringueira-a-planta-que-sustentou-uma-regiao>. Acesso em: 18 nov. 2024.
- NILSSON, K.; SANGSTER, M.; KONIJNENDIJK, C. C. **Forests, trees and human health and well-being: Introduction**. Springer Netherlands, 2011.

- NOWAK, D. J., GREENFIELD, E. J., HOEHN, R. E., & LAPOINT, E. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the united states. **Environmental Pollution**, n. 178, pp. 229-236, 2013.
- RAMYAR, R. J. A. E., ZARGHAMI, E. Green infrastructure contribution for climate change adaptation in urban landscape context . **Applied Ecology & Environmental Research**, 15(3). 2017.
- SCIPIONI, M. C.; KANIESKI, M. R.; COELHO, C. C.. ÁRVORES DE INTERESSE ESPECIAL NO CONTEXTO DO BRASIL— CONCEITOS. In: **ECOLOGIA POLÍTICA: AVANÇOS E DESAFIOS**. Editora Científica Digital, 2023. p. 81-95.
- SEBRAE. O cultivo e o mercado da Castanha-do-Brasil. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-cultivo-e-o-mercado-da-castanha-do-brasil>. 2016. Acesso em 19 nov. 2024.
- SEIFERLING, Ian et al. Green streets— Quantifying and mapping urban trees with street-level imagery and computer vision. **Landscape and Urban Planning**, v. 165, p. 93-101, 2017.
- SCHWAAB, J., MEIER, R., MUSSETTI, G., SENEVIRATNE, S., BÜRGI, C., & DAVIN, E. L; The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. **Nature communications**, 12(1), 6763. 2021.
- SLUTER, C.R. (2001). Sistemas Especialistas para Geração de Mapas Temáticos. Revista Brasileira de Cartografia, Curitiba, v. 53, p. 45-64.
- SILVA, M. F. N. da, & de MENDONÇA, A. L. A. Proposta de Interface integrada do Campus Map UFAM. Relatório Final de Iniciação Científica (PIBIC UFAM). Manaus, 2024.
- SOARES, H. A., de MENDONÇA, A. L. A. Relatório Final de Iniciação Científica (PIBIC UFAM). Manaus, 2024.
- SOUZA, J. M. L. de., WADT, L. H. O. **Características da planta – Castanha-do-Brasil**. Agência Embrapa de Informação Tecnológica - Ageitec, 20 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/castanha-do-brasil/pre-producao/caracteristicas-da-especie-e-relacoes-com-o-ambiente>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- Uçar, Z.; Akay, A. E. **Using uav-based 3d images of individual tree species in distance education in forestry**. Karabuk University, Virtual Safranbolu, Turkey, 2021.
- Westoby, M. J. et al. ‘Structure-from-Motion’ photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. **Geomorphology**, v. 179, p. 300-314, 2012.
- Wohlleben, P. **A vida secreta das árvores: O que elas sentem e como se comunicam**. Rio de Janeiro: Sextante, 2017.
- Zhang, H.; Jim, C. Y.. Contributions of landscape trees in public housing estates to urban biodiversity in Hong Kong. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 2, p. 272-284, 2014.

Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)