

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Utilização da espectroscopia no infravermelho próximo para
determinação de espécies arbóreas tropicais**

Jéssica Costa dos Santos

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

**Piracicaba
2023**

Jéssica Costa dos Santos
Engenharia Florestal

**Utilização da espectroscopia no infravermelho próximo para
reconhecimento de espécies arbóreas tropicais**

Orientador:

Prof. Dr. **HILTON THADEU ZARATE DO COUTO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestra em Ciências, Programa: Recursos Florestais. Opção em: Silvicultura e Manejo Florestal

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Santos, Jéssica Costa dos

Utilização da espectroscopia no infravermelho próximo para reconhecimento de espécies arbóreas tropicais / Jéssica Costa dos Santos.
- - Piracicaba, 2023.

58 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Reconhecimento de espécies 2. Área foliar 3. Espectroscopia do infravermelho próximo 4. Amazônia brasileira I. Título

Dedico ao nosso Pai, as famílias a quem pertenço e aos meus amigos queridos em especial Professor Hilton Thadeu.

AGRADECIMENTOS

É com grande satisfação e gratidão que escrevo este texto de agradecimento para minha dissertação de mestrado.

Primeiramente, agradeço a Deus, à minha família e amigos, que sempre me apoiaram e encorajaram em todas as etapas deste caminho. Sem o apoio e incentivo deles, eu não teria alcançado este marco importante em minha vida acadêmica.

Agradeço a todos os Professores, Orientadores e em especial meu Orientador de desta dissertação em memória Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto por toda ajuda, apoio e carinho no desenvolvimento desta dissertação. Seus conhecimentos e orientações foram fundamentais para que eu pudesse realizar este trabalho com qualidade e excelência.

Agradeço também aos colegas de curso, que me acompanharam durante todo o processo de mestrado. Suas opiniões e sugestões foram muito importantes para o meu crescimento profissional e pessoal.

Por fim, agradeço à instituição de ensino onde realizei o meu mestrado, que ofereceu uma excelente estrutura e oportunidades de aprendizado e ao apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES – PROEX), Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ), Pró-Reitoria de Pós-Graduação da Universidade de São Paulo (PRPG – USP) e Universidade Virtual da Universidade de São Paulo (UNIVESP). Tenho certeza de que este período em minha vida será lembrado com muito carinho e gratidão.

A todos vocês, meu muito obrigado. Este trabalho não seria possível sem a contribuição e dedicação de cada um de vocês.

SUMÁRIO

RESUMO.....	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA FUNDAMENTAL	11
2.1 Reconhecimento de espécies na Amazônia	11
2.2 Espectrometria do infravermelho próximo (NIRS).....	14
3. OBJETIVOS.....	17
3.1 Objetivo geral.....	17
3.2 Objetivos específicos	17
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1 Área de estudo.....	19
4.2 Amostragem de espécies	20
4.3 Dados espectrais	27
4.4 Análises	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS.....	54

RESUMO

Utilização da espectroscopia no infravermelho próximo para reconhecimento de espécies arbóreas tropicais

Este trabalho teve como objetivo analisar as características espectrais para o reconhecimento de espécies arbóreas tropicais utilizando como ferramenta a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS). A espectroscopia do infravermelho próximo é um método não destrutivo para identificação de espécies e de grande importância para a sociedade em reconhecer as espécies que levantam interrogações em campo. A prática do reconhecimento correto das espécies pode estar diretamente ligado a mitigação da exploração, madeira e extinção de espécies. Inicialmente este trabalho conta com informações de 3 espécies procedentes de Piracicaba-SP e futuramente de 25 espécies de Belém-PA. As espécies foram identificadas utilizando área foliar como amostras para correta determinação de reconhecimento com auxílio de análises estatísticas, a qual será produto útil para a comunidade científica, analistas ambientais e público. Os espectros foram obtidos em um espectrômetro *ASD Inc. Fieldspec 4 WIDE – RES/ Unit 18153 Plant Probe* na faixa 350 – 24000 (nm), utilizando 25 amostras de folhas secas e úmidas para cada espécie observada da mesma origem. Os métodos de classificação testados foram análise discriminante linear. Para a maioria das amostras foram compiladas 1101 variáveis em 3 classes, frequência de 25 observações proporção e probabilidade de 0.333333 para cada espécie.

Palavras-chave: Reconhecimento de espécies, Área foliar, Espectroscopia do infravermelho próximo, Amazônia brasileira

ABSTRACT

Use of near infrared spectroscopy for recognition of tropical tree species

This work aimed to analyze the spectral characteristics for the recognition of tropical tree species using near-infrared spectroscopy (NIRS) as a tool. Near-infrared spectroscopy is a non-destructive method for species identification and is of great importance for society to recognize species that raise questions in the field. The practice of correct species recognition can be directly linked to the mitigation of logging and species extinction. Initially, this work has information on 3 species from Piracicaba-SP and, in the future, on 25 species from Belém-PA. The species were identified using leaf area as samples for correct recognition determination with the aid of statistical analysis, which will be a useful product for the scientific community, environmental analysts and the public. The spectra were obtained on an ASD Inc. spectrometer. Fieldspec 4 WIDE – RES/ Unit 18153 Plant Probe in the range 350 – 24000 (nm), using 25 samples of dry and wet leaves for each species observed from the same source. The classification methods tested were linear discriminant analysis. For most samples, 1101 variables were compiled in 3 classes, frequency of 25 observations, proportion and probability of 0.333333 for each species.

Keywords: Species recognition, Leaf area, Near infrared spectroscopy, Brazilian Amazon

1. INTRODUÇÃO

O Brasil possui um dos mais importantes repositórios de biodiversidade, com cerca de um terço das florestas tropicais remanescentes do mundo (SILVA et al., 2008). Nos ecossistemas em regiões tropicais, a proporção de biodiversidade corresponde cerca de 48% de árvores do planeta; no Brasil, são estimadas 10,674 espécies em números absolutos, destas, 4,539 correspondem a espécies arbóreas (CARDOSO, et al., 2017; CROWTHER et al., 2015).

Estas espécies, são responsáveis por recursos florestais diretamente ligados aos processos ecossistêmicos, ciclagem de nutrientes, conservação da biodiversidade e pela produção de produtos madeireiros e não madeireiros (METZGER, et al., 2019).

Na região amazônica, por exemplo, de acordo com o cenário de desmatamento, 36% a 57% das espécies estão em risco de desaparecer (GOMES et al., 2019; TER STEEGE et al., 2013). A expansão das atividades madeireiras e da fronteira agrícola ameaça à integridade e funcionalidade dessa floresta (MAUÉS; DE OLIVEIRA, 2010).

A fragmentação do habitat reduz áreas contínuas de floresta a pequenas porções isoladas, diminuindo o número efetivo de árvores de uma população (MAUÉS; DE OLIVEIRA, 2010). Essas circunstâncias são consequências da exploração de recursos florestais para o comércio ilegível de madeira, comprometida a fiscalização quanto à identificação duvidosa de espécies durante e após os inventários florestais (MELLO et al., 2021).

A escassez por profissionais identificadores, chamados parobotânicos ou “mateiros” e o aumento da demanda por madeira, faz com que seja urgente a criação de novos métodos que visem auxiliar a identificação de espécies. Ressaltando, que a flora brasileira pertence a uma das maiores e diversas florestas do mundo, muitas delas são muito semelhantes visualmente (LANG et al., 2015).

A identificação de uma árvore torna-se complexa quando se tem apenas como amostra a madeira (OLIVEIRA et al., 2015) e ausência de um parobotânicos bem treinado em campo, ausência de amostras férteis ou ainda equívocos na obtenção de flores, frutos e sementes apresenta-se como problemática na execução de inventários florestais (LANG et al., 2015).

Para reverter estes cenários são necessárias tomadas de decisões que contemplem a maior número de espécies, para que estas futuramente não entre no

quadro de extinção, como consequência da exploração desenfreada (HOOGSTRA-KLEIN; MEIJBOOM, 2021; MARTINS et al., 2020).

Uma nova tecnologia está sendo considerada para minimizar problemas em consequência da identificação equivocada de espécies florestais, que se chama espectroscopia no infravermelho próximo - NIRS (HADLICH et al., 2018; LANG et al., 2015; MOHAN; VENKATACHALAPATHY; SUDHAKAR, 2014; PIVA et al., 2019). Esta tecnologia apresenta-se como uma técnica rápida, não destrutiva e precisa de delimitação e atribuição taxonômica (CARDOSO et al., 2017).

Essa ferramenta pode ser utilizada como uma forte aliada na rápida identificação em inventários florestais quando houver dúvidas de árvores não identificadas. O que minimizará custos considerando a onerosidade de inventários, o longo período de deslocamento em florestas nativas (logísticas exsicatas), a compilação primária de dos dados para execução de planos de manejo, segurança e confiabilidade de informações encaminhados aos órgãos de gestão e controle florestal.

Ainda que se tenha estudos recentes com identificação de espécies aplicando o NIRS, seja utilizando a madeira, casca do caule ou folhas (BRAGA et al., 2018; DURGANTE et al., 2013; HADLICH et al., 2018; LANG et al., 2015), ainda há necessidade de estudos que beneficiam e facilitem a identificação de mais espécies da Amazônia (TER STEEGE et al., 2013).

O NIRS atualmente já tem sido utilizado para identificação de espécies arbóreas florestais (BRAGA et al., 2018; HADLICH et al., 2018), e comprovam que análises com espectroscopia no infravermelho próximo associada a modelos de discriminação pode ser empregada para a identificação de espécies (LANG et al., 2015).

Levando em consideração a dificuldade de identificação, este trabalho contribuirá para identificação de espécies arbóreas tropicais, através da espectrometria do infravermelho próximo, utilizando como amostra folhas de espécies da Amazônia e procedentes de São Paulo dando enfoque a importância da conservação, desenvolvimento econômico e sustentabilidade de tais espécies.

2. SÍNTESE BIBLIOGRÁFICA FUNDAMENTAL

2.1 Reconhecimento de espécies na Amazônia

A maior parte da diversidade de espécies são presentes em regiões tropicais. Como já citado anteriormente, quase que 50% dessa biodiversidade corresponde a espécies arbóreas (CARDOSO, et al., 2017; CROWTHER et al., 2015).

Com o aumento da classificação das espécies arbóreas para a indústria de diferentes categorias madeireiras, torna-se imprescindível o reconhecer indivíduos arbóreos para promover desenvolvimento econômico das florestas, assim como garantir a sustentabilidade das atividades nos recursos naturais (MOHAN; VENKATACHALAPATHY; SUDHAKAR, 2014).

A árvore é o principal elemento da floresta, sua frequência formam uma massa verde que conferem cor para as florestas (LOPATIN et al., 2016). Na engenharia florestal ela se torna o principal elemento foco do manejo florestal, por isso é importante reconhecer cada espécie que compõem o conjunto de indivíduos arbóreos dentro de uma floresta (TYRVÄINEN et al., 2005).

O processo de reconhecimento tradicional das espécies envolve o conhecimento de diversas características morfológicas da planta e na dendrologia as principais características são as vegetativas que vão auxiliar o profissional a reconhecer as espécies durante os inventários florestais (ALVES et al., 2013; MELO; VARELA, 2006).

O reconhecimento de cada espécie, no conjunto de indivíduos arbóreos demanda uma vasta experiência do identificador, geralmente o reconhecimento está relacionado a um conjunto de estruturas vegetativas as quais são possíveis visualizar durante as atividades florestais (LANG et al., 2015). No campo para reconhecer cada espécie é importante ao identificador ter treinamento no reconhecimento das variações que cada estrutura pode apresentar no campo (LANG et al., 2015).

Geralmente as estruturas vegetativas sofrem alteração do ambiente, por isso é importante ter um número de amostras considerável (DRAPER et al., 2020). Uma tarefa importante no processo de reconhecimento das espécies é providenciar coleta de amostra, as coletas são levadas ao laboratório onde é feito o processo de herborização, desta forma as mostras podem ser comparadas com outras já depositadas em acervos botânicos. Assim, é possível validar a identificação ou a determinação científica da espécie (DENHAM et al., 2019; GAEM et al., 2022).

Nos inventários florestais na Amazônia as estruturas de caule, casca, cheiro e exsudação assim como estruturas de folhas quanto ao tipo, a filotaxia, as estruturas modificadas têm sido muito importantes para definir e relacionar as características a uma espécie específica minimizando os erros de identificação botânica (GAEM et al., 2022).

Reconhecer as espécies no campo não é uma tarefa fácil, exige experiência do identificador, muito treino no reconhecimento das características e principalmente no processo de associação dessas características com as diferentes espécies (LANG et al., 2015).

Muitas espécies de mesmo gênero, de mesma família têm características que são similares e isso pode acabar confundindo o identificador, mas exercício, a prática no dia a dia lhe confere habilidade para melhorar a cada dia o processo de reconhecimento (TORKE et al., 2022). Por outro lado, reconhecer as espécies em nível científico agrega valor ao seu produto confere sustentabilidade para a atividade e conseqüentemente traz conservação para as florestas Naturais (DENHAM et al., 2019; DRAPER et al., 2020; GAEM et al., 2022).

Na engenharia florestal é comum usar o jargão identificação ou reconhecimento, mas na sistemática vegetal este termo significa dar nome para uma planta que não tem nome, isto é, uma planta nova. No entanto, o termo determinação significa análise ou avaliação (Oxford Languages, 2022).

Na prática quando o engenheiro leva o identificador ao campo, ele faz registros das árvores com um apelido (nomes populares). Esse nome não é dado a partir de nenhum critério, é empírico (HADLICH et al., 2018). Se trata de um conhecimento tradicional, geralmente ele associa algumas ou poucas características (casca, cor, textura, cheiro, exsudados e raríssimas vezes as estruturas das folhas) a uma lembrança de determinada espécie, isso se dá pelo acervo de nomes que ele tem memorizado (HADLICH et al., 2018; (SANTOS et al., 2020).

Na maioria das vezes os inventários são feitos quando muitas das plantas não estão férteis, o que é um problema taxonômico para fazer identificação botânica considerando suas estruturas. Como se tratam de árvores, elas precisam ter um diâmetro mínimo para corte e para que ela tenha esse diâmetro a conseqüentemente já tem uma altura considerada. Nestes casos, não são feitas coletas botânicas, pois isso demanda muito tempo e dinheiro (BREMANANTH; NITHYA; SAIPRIYA, 2009; OLIVEIRA et al., 2015).

Ainda que sejam feitas algumas coletas, dificilmente os herbários aceitam os materiais, pois não são aceitas amostras não férteis para compor a sua coleção devido à dificuldade para sua caracterização devido ao número de espécies a serem comparadas. Algumas vezes podem até aceitar para fazer uma determinação, mas depois é feito o descarte do material e isso pode levar até um ano para que seja identificado (Baptista-Maria, 2007)

Podemos citar que mais um dos problemas da identificação é associação de nomes científicos de forma equivocada. A partir da lista de espécie informada pelo identificador em campo os nomes científicos são atribuídos a nomes populares sem nenhum critério, na maioria das vezes o técnico consulta sites ou livros (DURGANTE et al., 2013; LANG et al., 2015).

Nestas circunstâncias, pode-se cogitar que as fiscalizações dos órgãos responsáveis podem estar sendo ineficientes por falta de ferramentas e conhecimento sobre identificação. Pois, o engenheiro florestal associa os nomes científicos aos nomes populares informados pelos identificadores e repassa aos órgãos fiscalizadores em que muitas vezes confiam na lista de espécies catalogadas sem conhecer a maioria das plantas (DURGANTE et al., 2013; LANG et al., 2015).

Muitas listas compõem espécies diferentes que são agrupadas sob um mesmo nome científico. As vezes o nome não é válido, sem registro de ocorrência para o local ou ainda de hábitos diferentes. E como não foram feitas coletas não é possível atestar os nomes apontados as árvores, desta forma perde-se registro de diversidade (DENHAM et al., 2019; GAEM et al., 2022; TER STEEGE et al., 2016).

Outro fator limitante para identificação de espécies é o número reduzido de parobotânicos e taxonomistas trabalhando na região que demanda de tais profissionais, além disto a estrutura de financiamento científico não facilitam o desenvolvimento de projetos taxonômicos ou florísticos de forma que dê subsídio a tal atividade (CARDOSO et al., 2017).

2.2 Espectrometria do infravermelho próximo (NIRS)

Espectro eletromagnético ele é um conjunto de ondas eletromagnéticas de todas as frequências possíveis e essas ondas são caracterizadas pela oscilação de campos elétricos e magnéticos. São geradas a partir do movimento de cargas elétricas aceleradas ou durante as transições eletrônicas (transições nucleares e transições vibracionais) entre dois níveis de energia quantizada (PU et al., 2020).

A faixa que estamos mais habituados é a faixa da luz visível que varia de 350 a 800 (nm) nanômetros e as demais faixas elas são invisíveis a olho nu. A região do infravermelho é de 800 (nm) a 100 (μm), e é fragmentada em: infravermelho próximo de 800 a 2500 (nm), infravermelho médio de 2500 (nm) a 25 (μm) e infravermelho distante de 25 a 100 (μm) (Figura 1) (PU et al., 2020; DUFOUR 2009).

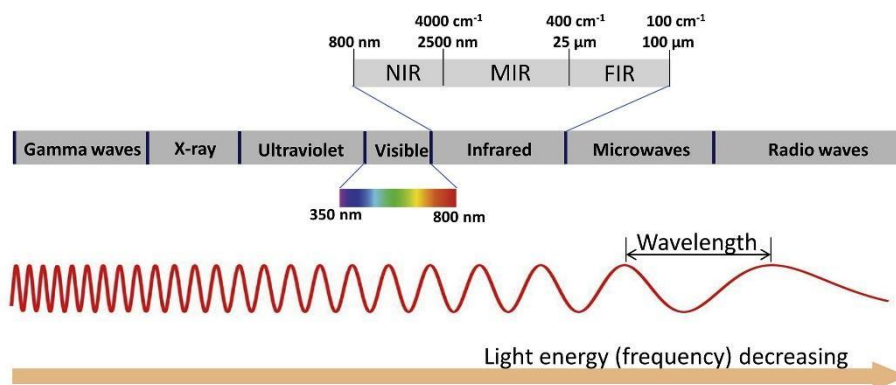


Figura 1. O espectro eletromagnético.

Fonte: (PU et al., 2020).

O infravermelho foi descoberto a partir de um estudo de William Herschel. Herschel foi um astrônomo e compositor, mediu a temperatura dos comprimentos de onda através da incidência da luz solar em um prisma. Ele percebeu que a temperatura aumentava a partir do comprimento de onda do violeta ao vermelho e a partir do momento que os comprimentos de onda ultrapassava vermelho, concluiu que a temperatura aumentava mais (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

Do inglês *Near Infrared Spectroscopy* (NIR), ao português, espectroscopia de infravermelho próximo, baseia nas frequências de vibrações frequências de vibrações específicas das ligações químicas, que correspondem a níveis de energia vibracionais bem definidos, caracterizando essas ligações e grupos funcionais presentes nas moléculas (OLIVEIRA; SILVA, 2014).

A maioria dos compostos que fazem ligações covalentes, com exceção de alguns terras-raras, absorvem várias frequências da região do infravermelho, através da interação da matéria com a radiação eletromagnética. Então, somente as moléculas que sofrem variação no momento de dipolo durante o estado rotacional e vibracional conseguem absorver a radiação infravermelha, desta forma as moléculas de ligações simétricas como as do H₂ e Cl₂, não vão absorver essa radiação (SILVERSTEIN et al., 2007).

Desta forma, os átomos em uma molécula não ficam fixos, mas oscilam continuamente como consequências de diferentes vibrações (estiramento e dobramento) e rotações dos tipos de ligação de cada molécula (SILVERSTEIN et al., 2007).

As vibrações de estiramento também podem ser chamadas de deformação axial, esta vibração é contínua na distância interatômica ao longo do eixo de uma ligação entre dois átomos. Essa vibração apresenta um modo simétrico e o assimétrico. As variações de dobramento também chamada de deformação angular, ocorrem uma variação no ângulo entre duas ligações. Essas vibrações podem ocorrer de quatro formas diferentes: no plano “tesoura” e “balanço” e duas fora do plano “abano” e “torção” (SILVERSTEIN et al., 2007).

O infravermelho próximo fornece informações espectrais são mais complexas por isso são chamadas de bandas de combinação e de sobretons. As bandas de combinações são lineares de frequências normais ou múltiplos inteiros, já as de sobretons são de bandas com valores de frequências correspondentes a números inteiros daquelas vibrações normais (PASQUINI, 2003).

Quando uma amostra é exposta a um feixe de luz infravermelha, a amostra absorverá parte da energia luminosa que ocasionará vibrações moleculares. Cada ligação química como: C–H, N–H, O–H, S–H apresenta diferentes modos de vibrações (PU et al., 2020).

A Espectroscopia de Infravermelho Próximo (NIR) é uma técnica analítica que usa a região de infravermelho próximo do espectro eletromagnético imediatamente superior à região visível como comprimento de onda, ou seja, trata-se da região do infravermelho “mais próximo” da região visível; baseado em conjunto de dados espectrais e emissão ou absorções eletromagnéticas que age como uma impressão digital (LIMA; BAKKER, 2011).

Essa técnica não é destrutiva e oferece vantagens sobre a determinação, de maneira que não necessite de tratamento de amostras, podendo ser rápido na obtenção aos resultados, fácil deslocamento, preciso e sem geração de resíduo (OLIVEIRA et al., 2015).

O NIRS como método analítico dispõe de várias vantagens de referência, como: rapidez; precisão; não destrutivo, ou seja, o material da amostra não é destruído e permanece intacto; a instrumentação do NIRS pode ser adquirida e mantida com um baixo orçamento, sendo uma análise mais econômica se compara as demais, conferindo tecnologia combinando a técnicas para discriminação de árvores para facilitar o inventário em florestas tropicais (DURGANTE et al., 2013).

Este método aumenta o agrupamento de árvores em espécies, gerando um modelo robusto, para assim obter identificação precisa (HADLICH et al., 2018), com altas taxas de identificação de análises discriminantes de dados como fonte de informação para reconhecimento de plantas os quais tem sido utilizado na silvicultura, seja para reconhecimento de madeiras e na taxonomia a identificação utilizando folhas (DURGANTE et al., 2013).

A espectroscopia de infravermelho próximo é eficaz na discriminação de espécies, sejam em plantas adultas, já bem estabelecida ou jovens, em fase inicial de desenvolvimento; ambas as fases o reconhecimento baseado em espectros NIR podem ser utilizados, neste estudo em específico utilizando folhas para identificação (LANG et al., 2015).

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Elaborar modelos de discriminação para o reconhecimento de espécies arbóreas tropicais da Amazônia e de São Paulo através de análises discriminantes lineares com base em dados espectrais do infravermelho próximo (NIRS).

3.2 Objetivos específicos

Discriminar as espécies a partir dos espectros das folhas em diferentes posições das faces adaxial e abaxial através da espectroscopia NIRS.

Discriminar as espécies a partir dos espectros de amostras de folhas com diferentes preparos (úmidas e secas) do Campus da ESALQ por meio da espectroscopia NIRS.

Discriminar as amostras de folhas (secas) de espécies da Amazônia por meio de modelos espectrais com o NIRS.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

O início das atividades em campo desta pesquisa aconteceu em dois estados diferentes no Brasil. Em primeiro momento foram feitas coletas de materiais botânicos em São Paulo na cidade de Piracicaba e em segundo no Pará na cidade de Belém.

Em Piracicaba — SP, as árvores foram devidamente identificadas no campus da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/UP) — latitude 22°42' S e longitude 47°38' W (MORAES et al., 1997), onde também foram administradas análises, de maneira que facilitasse o processo de treinamento de identificação com NIRS.

Na Amazônia as coletas foram realizadas no fragmento florestal urbano da Embrapa Amazônia Oriental chamada Capoeira do Black (Figura 2) com parcelas permanentes (50m x 50m), que compreende a 8,50 ha, localizado entre as latitudes 01°27'00''S e longitude 48°49'00''W, clima tropical chuvoso subtipo Af, conforme classificação de Köppen (WATRIN et al., 2019; WATRIN e HOMMA, 2007).

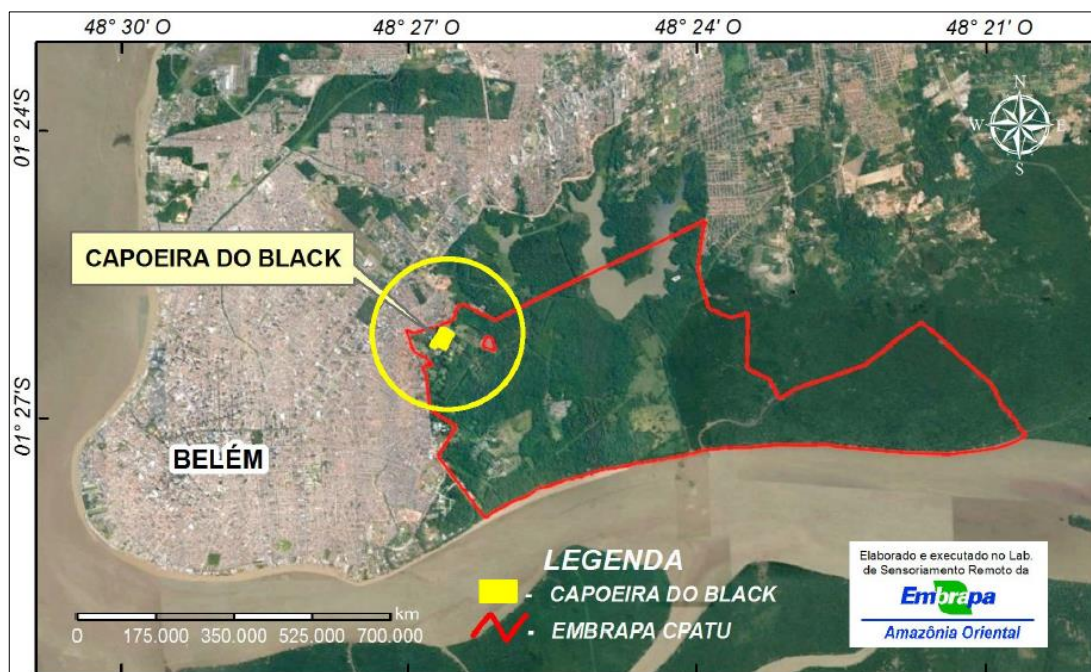


Figura 2. Localização da área de estudo a partir de imagem Google Earth (2019).
Fonte: (WATRIN et al., 2019).

4.2 Amostragem de espécies

Foram coletadas 3 (três) espécies frequentes na ESALQ (Tabela 1). Estas espécies foram previamente identificadas segundo o inventário de arborização urbana da universidade (Figura 3), para cada espécie foram selecionadas 25 folhas para amostras úmidas e 25 folhas para amostras secas de cada 2 matrizes selecionadas com DAP \geq 10 cm (Figura 4).

Tabela 1. Lista de espécies que serão analisadas em na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ/USP), Piracicaba - SP.

Nome Científico	Família Botânica	Nome Vernacular
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess.	Lecythidaceae	Sapucaia
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Bignoniaceae	Ipê-roxo
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Mogno brasileiro

Fonte: REFLORA. Adaptado.

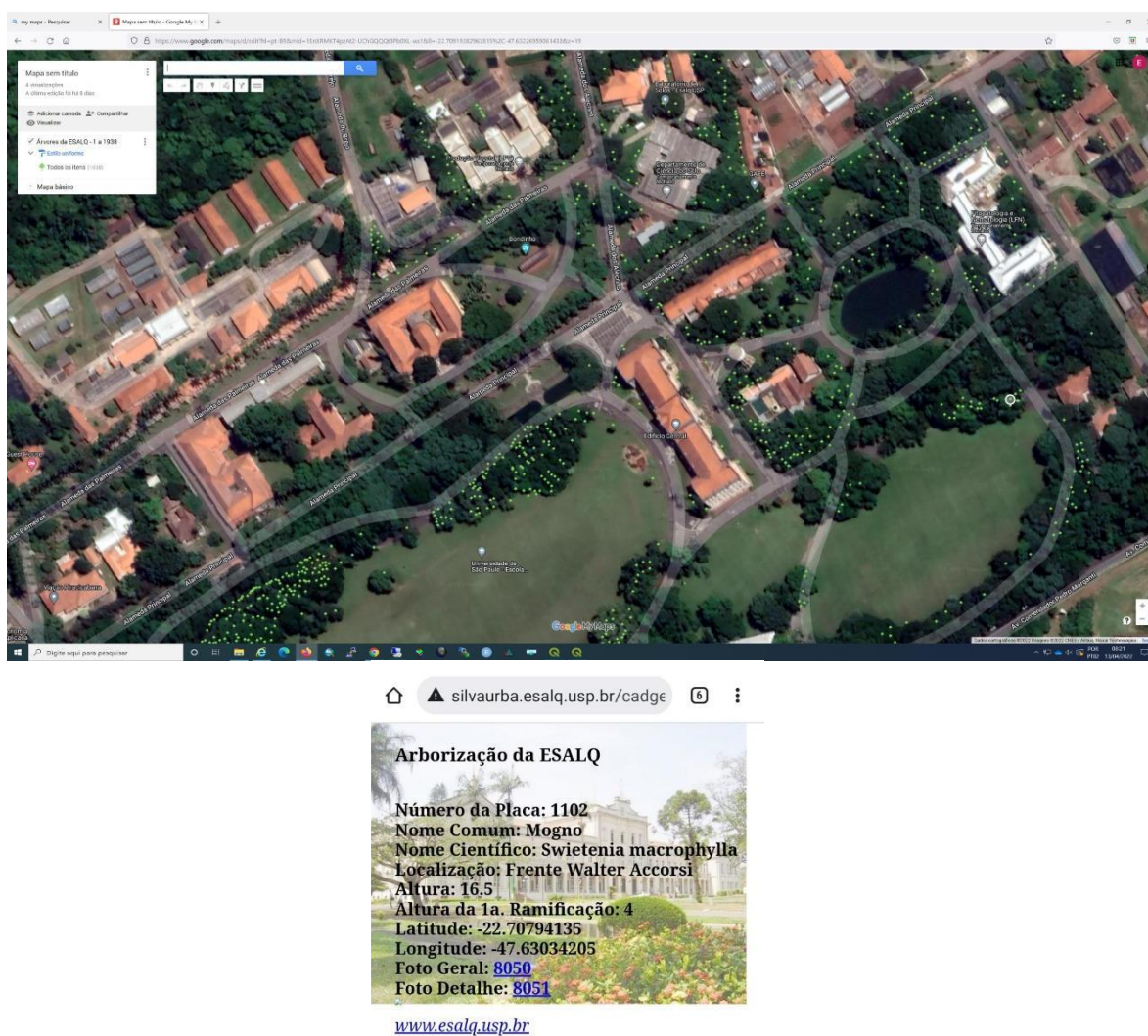


Figura 3. Representação esquemática do inventário de arborização urbana da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".



Figura 4. Representação esquemática de coleta da espécie *Lecythis pisonis* Cambess. (A) e tratamento prévio das amostras úmidas (B) e secas (C).

Em Belém foram selecionadas 2 (duas) matrizes para como amostras de 25 (vinte e cinco) espécies (Tabela 2). Após coleta (Figura 5) os materiais botânicos foram devidamente identificados taxonomicamente por parabológicos, comparando-as com amostras referências das (espécimes) no herbário do Instituto Agrônomo do Norte (IAN) e preservadas em exsicatas seguindo os procedimentos normais usados para espécimes de herbário, sem a utilizando álcool (Figura 6) e levadas até a ESALQ para que fossem administradas análises no laboratório Centro de Métodos Quantitativos (CMQ).

Tabela 2. Lista de espécies nativas de domínio fitogeográfico da Amazônia.

Nome Científico	Família Botânica	Nome Vernacular
<i>Andira inermis</i> (W.Wright) DC.	Fabaceae	Angelim branco
<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.	Lecythidaceae	Castanha do Pará
<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae	Andiroba
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Caryocaraceae	Pequia
<i>Cedrela odorata</i> L.	Meliaceae	Cedro
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Malvaceae	Sumaúma
<i>Chrysophyllum cuneifolium</i> (Rudge) A.DC.	Sapotaceae	Abiu sessilis/ gulosa
<i>Copaifera multijuga</i> Hayne	Fabaceae	Copaíba
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f.	Fabaceae	Cumaru
<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.Grose	Bignoniaceae	Ipê-amarelo
<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby	Moraceae	Muiratinga-fl-áspera
<i>Hevea brasiliensis</i> (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg.	Euphorbiaceae	Seringueira
<i>Hymenobium petraeum</i> Ducke	Fabaceae	Angelim-pedra
<i>Khaya ivorensis</i> A.Chev.	Meliaceae	Mogno africano
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori	Lecythidaceae	Jarana
<i>Manilkara elata</i> (Allemão ex Miq.) Monach.	Sapotaceae	Maçaranduba
<i>Nectandra cuspidata</i> Nees	Lauraceae	Louro-preto
<i>Ocotea guianensis</i> Aubl.	Lauraceae	Louro-prata
<i>Pogonophora schomburgkiana</i> Miers ex Benth.	Peraceae	Aracapuri
<i>Simarouba amara</i> Aubl.	Simaroubaceae	Marupá
<i>Swietenia macrophylla</i> King	Meliaceae	Mogno brasileiro
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	Clusiaceae	Anani
<i>Tachigali vulgaris</i> L.G.Silva & H.C.Lima	Fabaceae	Tachi-branco
<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Rottb.) Warb.	Myristicaceae	Ucuúba-da-várzea
<i>Vouacapoua americana</i> Aubl.	Fabaceae	Acapu

Fonte: REFLORA. Adaptado.

Figura 5. Representação da coleta de material botânico no fragmento florestal urbano da Embrapa Amazônia Oriental, Belém - Pará.



Figura 6. Representação de preparo de exsicatas de vinte e cinco espécies coletadas na Amazônia Oriental, Belém, Pará.



Após obtenção e organização das amostras identificadas taxonômica de todas as espécies de interesse, à área da superfície foliar foi previamente limpa com intuito de minimizar presença de resíduos proveniente de campo para que pudessem ser obtidas medidas de refletância.

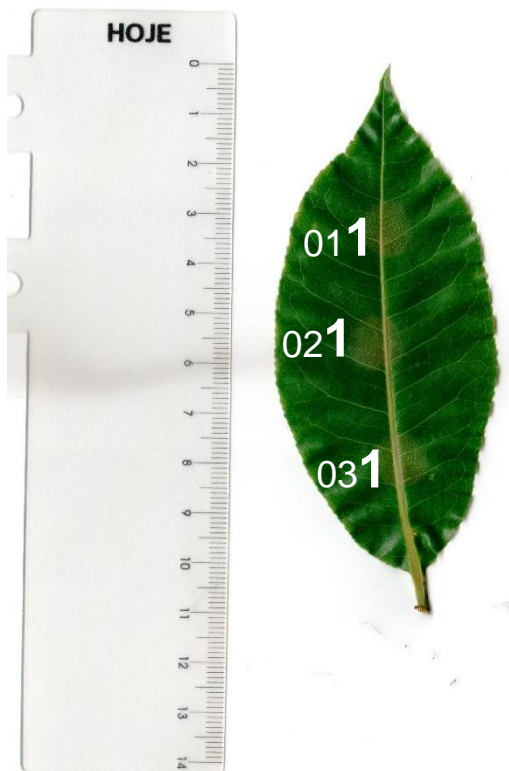
A execução do procedimento ocorreu a partir da aferição in loco (Figura 7) com lâminas foliares de 6 (seis) amostras espectrais: 3 (três) na superfície superior da folha (adaxial) e 3 (três) na base inferior da folha (abaxial) (LANG et al., 2015).

Os pontos de medição foram padronizados no centro da no limite superior (01), intermediário (02) e inferior (03) (Figura 8) para se obter uma impressão digital, bem como o perfil espectral de cada espécie florestal analisada.

Figura 7. Representação de coleta de dados espectrais utilizando espectrômetro ASD Inc. Fieldspec 4.



Figura 8. Representação da padronização dos pontos de medição *Lecythis pisonis* Cambess.



As amostras de procedência na ESALQ foram feitas análises em folhas úmidas (verdes) após a coleta e secas em ambiente (ao toque), já as amostras de procedência da Amazônia só foram feitas em folhas secas.

4.3 Dados espectrais

Os espectros das folhas foram coletados com auxílio do espectrômetro *ASD Inc. Fieldspec 4 WIDE – RES* com adaptação *Unit 18153 Plant Probe* (Figura 9). A faixa espectral do equipamento é de alta resolução e seu comprimento de onda corresponde a 350 - 24000 (nm) no infravermelho próximo e a taxa de amostragem é de 0,2 segundos por espectro (DANNER et al., 2015).

Este instrumento registra informações espectros de 2151 bandas, sua resolução espectral varia de 3 (nm) nos comprimentos de onda curtos e 10 (nm) nos comprimentos de ondas distantes. Além disso, possui diferentes detectores de gravação dos espectros como um conjunto de fotodiodos de silício composto por 512 elementos para o VNIR 350 – 1000 (nm) e fotodiodos InGaAs resfriados termoelectricamente (Índio, Gálio, Arsenídeo) para cada SWIR1 1000 – 1800 (nm) e o SWIR2 1800 – 2500 (nm) (DANNER et al., 2015).

Figura 9. Representação esquemática do espectrômetro *ASD Inc. Fieldspec 4 WIDE – RES/ Unit 18153 Plant Probe*.



Para elaboração dos dados foi utilizado *Software RS³*, e nele foi utilizado a função de calibração dos detectores dos comprimentos de onda com corpo branco, até o momento que foi obtido um espectro de referência branco no painel com reflexão de 1,0.

Além da calibração foram feitos ajuste nas configurações como diretório, nome e número base dos arquivos salvos de leitura dos espectros para cada ponto de medição. Em cada ponto de mensuração o equipamento realizou 30 leituras de alta resolução.

Para visualização e exportação de dados foi utilizado o *Software ViewSpecPro*, nele foram importados os 30 arquivos gerados no *Software RS³* para aplicar a função estatística de média, e visualização gráfica e exportação em arquivo de dados.

4.4 Análises

As Análises Discriminantes Lineares (LDA) (Fisher 1936) foram utilizadas para distinguir as espécies a partir da separação de espectros das folhas verdes e secas em classes. Essa análise consiste em buscar características capazes de serem usadas para alocar objetos em diferentes grupos, para distinguir a capacidade dos espectros para o reconhecimento das espécies (HADLICH et al., 2018).

Desta forma, foram geradas funções discriminantes com variáveis dependentes e independentes, as quais foram conduzidas para ambos tecidos das folhas representado por espectros médios; para elaborar previsões a respeito de uma nova observação identificando o grupo mais adequado a ela, em função de suas características.

Os modelos foram validados através de duas técnicas de validação cruzada de análises discriminantes lineares, (1) chamada *leave-one-out*, (cada árvore individual será identificada por um modelo construído com os espectros de os demais indivíduos) e (2) chamada *holdout*, consiste em dividir o conjunto total de dados em dois subconjuntos: um para gerar o modelo e outro para testá-lo (Kohavi, 1995), conforme (HADLICH et al., 2018).

Em sequência foram realizadas seleções das variáveis que caracterizaram a os grupos e criação de uma nova função discriminantes com os caracteres selecionados, as quais foram testados pelas técnicas de validação cruzada em software estatístico SAS/STAT®13.2 (SAS INSTITUTE INC, 2014).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado preliminares é apresentado informações de três espécies procedentes da ESALQ: *Lecythis pisonis* Cambess. (Sapucaia), *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos (Ipê roxo) e *Swietenia macrophylla* King (Mogno brasileiro) representados neste momento por uma única matriz.

Nestas primeiras análises não está disposto discussão aprofunda, no entanto apresenta uma breve descrição resultados parciais simples para futura discussão com informações completas. Na Figura 10 e 11 é apresentada análise gráfica de reflectância das três espécies estudadas.

Figura 10. Representação análise gráfica dos dados de reflectância de identificação de espécies em função de diferentes preparos e posições das amostras de folhas da face adaxial.

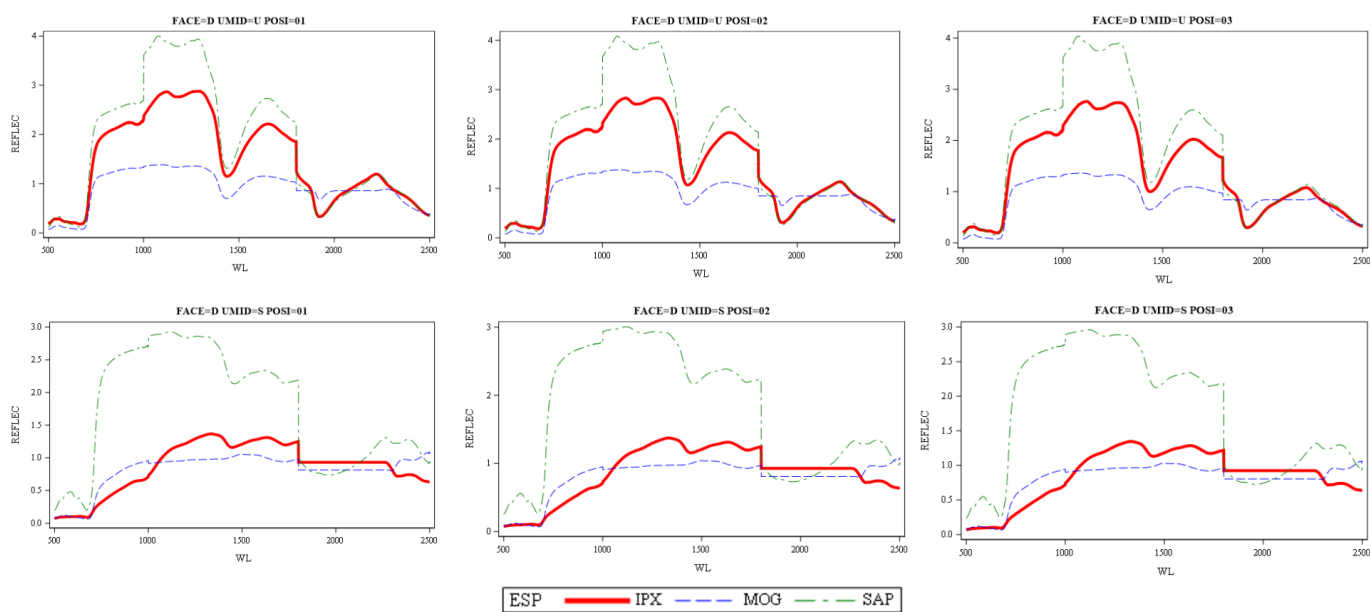
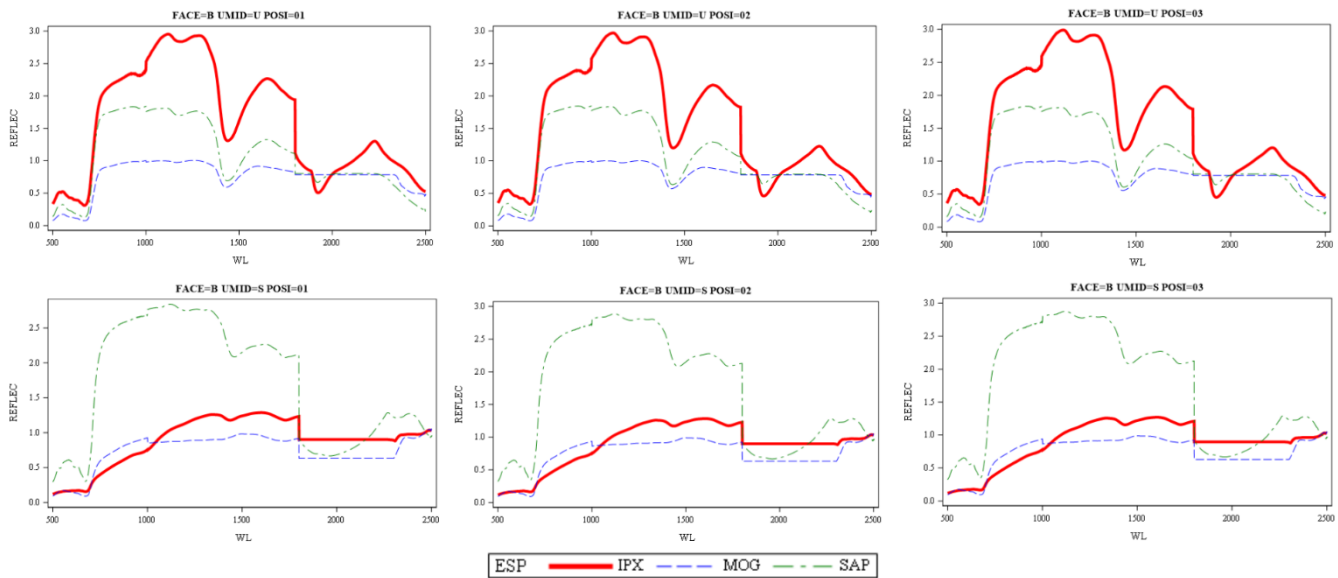


Figura 11. Representação da análise gráfica dos dados de reflectância de identificação de espécies em função de diferentes preparos e posições das amostras de folhas face abaxial.



Para a maioria das amostras foram compiladas 1101 variáveis em 3 classes, frequência de 25 observações proporção e probabilidade de 0.333333 para cada espécie.

Na face adaxial, úmida no ponto de medição 01 (superior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 73 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -19140. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 3.

Tabela 3. Representação da Distância Quadrada Generalizada *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 01.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	185543	25120380
MOG	185543	2.19722	23556950
SAP	25120380	23556950	2.19722

Na Tabela 4 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face adaxial, úmido no ponto de medição 01.

Tabela 4. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP	Total
IPX	25 100.00	0 0.00	0 0.00	25 100.00
MOG	0 0.00	25 100.00	0 0.00	25 100.00
SAP	0 0.00	0 0.00	25 100.00	25 100.00
Total	25 33.33	25 33.33	25 33.33	75 100.00
Priors	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 5 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear. A estimativas de contagem de erros correspondeu a taxa 0.2000 (IPX), 0.0400 (MOG) e 0.0000 (SAP) da face adaxial, úmido no ponto de medição 01.

Tabela 5. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM				
ESPÉCIE				
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	20	2	3	25
	80.00	8.00	12.00	100.00
MOG	1	24	0	25
	4.00	96.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	21	26	28	75
	28.00	34.67	37.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face adaxial, úmida no ponto de medição 02 (intermediário da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 72 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -19214. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 6.

Tabela 6. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 02.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	677733	950308
MOG	677733	2.19722	2897186
SAP	950308	2897186	2.19722

Na Tabela 7 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face adaxial, úmido no ponto de medição 02.

Tabela 7. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP	Total
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
Total	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
Priors	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 8 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear e as estimativas de contagem de erros que correspondeu a taxa 0.0800 (IPX), 0.0000 (MOG) e 0.1600 (SAP) da face adaxial, úmido no ponto de medição 02.

Tabela 8. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP	Total
IPX	23	1	1	25
	92.00	4.00	4.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	2	2	21	25
	8.00	8.00	84.00	100.00
Total	25	28	22	75
	33.33	37.33	29.33	100.00
Priors	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face adaxial, úmida no ponto de medição 03 (inferior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 74 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -19262. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 9.

Tabela 9. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 03.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	39954574	212050222
MOG	39954574	2.19722	68743889
SAP	212050222	68743889	2.19722

Na Tabela 10 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face adaxial, úmido no ponto de medição 03.

Tabela 10. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 11 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear e as estimativas de contagem de erros que correspondeu a taxa 0.0400 (IPX), 0.0000 (MOG) e 0.0000 (SAP) da face adaxial, úmido no ponto de medição 03.

Tabela 11. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, úmido no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM				
ESPÉCIE				
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	24	1	0	25
	96.00	4.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	24	26	25	75
	32.00	34.67	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face adaxial, seca no ponto de medição 01 (superior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 69 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -20603. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 12.

Tabela 12. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 01.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIES	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	32823	457651
MOG	32823	2.19722	498087
SAP	457651	498087	2.19722

Na Tabela 13 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face adaxial, seco no ponto de medição 01.

Tabela 13. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 14 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear da face adaxial, seco no ponto de medição 01.

Tabela 14. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face adaxial, seca no ponto de medição 02 (intermediário da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 74 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -20512. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 15.

Tabela 15. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 02.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	64641272	719264411
MOG	64641272	2.19722	366561909
SAP	719264411	366561909	2.19722

Na Tabela 16 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face adaxial, seco no ponto de medição 02.

Tabela 16. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 17 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear e as estimativas de contagem de erros que correspondeu a taxa 0.0400 (IPX), 0.0800 (MOG) e 0.0000 (SAP) da face adaxial, seco no ponto de medição 02.

Tabela 17. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	24	1	0	25
	96.00	4.00	0.00	100.00
MOG	2	23	0	25
	8.00	92.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	26	24	25	75
	34.67	32.00	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face adaxial, seca no ponto de medição 03 (inferior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 73 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -20633. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 18.

Tabela 18. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 03.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	136848	1729315
MOG	136848	2.19722	2491872
SAP	1729315	2491872	2.19722

Na Tabela 19 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face adaxial, seco no ponto de medição 03.

Tabela 19. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 20 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear e as estimativas de contagem de erros que correspondeu a taxa 0.0800 (IPX), 0.0000 (MOG) e 0.0400 (SAP) da face adaxial, seco no ponto de medição 03.

Tabela 20. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face adaxial, seco no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	23	2	0	25
	92.00	8.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	1	24	25
	0.00	4.00	96.00	100.00
TOTAL	23	28	24	75
	30.67	37.33	32.00	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face abaxial, úmida no ponto de medição 01 (superior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 72 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -21470. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 21.

Tabela 21. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 01.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	1613319	563208
MOG	1613319	2.19722	756114
SAP	563208	756114	2.19722

Na Tabela 22 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face abaxial, úmida no ponto de medição 01.

Tabela 22. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 23 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear e as estimativas de contagem de erros que correspondeu a taxa 0.0800 (IPX), 0.0000 (MOG) e 0.0400 (SAP) da face abaxial, úmida no ponto de medição 01.

Tabela 23. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	23	0	2	25
	92.00	0.00	8.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	1	0	24	25
	4.00	0.00	96.00	100.00
TOTAL	24	25	26	75
	32.00	33.33	34.67	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face abaxial, úmida no ponto de medição 02 (intermediária da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 73 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -21300. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 24.

Tabela 24. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 02.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA PARA ESPÉCIE			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	106819626	78521389
MOG	106819626	2.19722	2688360
SAP	78521389	2688360	2.19722

Na Tabela 25 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face abaxial, úmida no ponto de medição 02.

Tabela 25. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 26 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear da face abaxial, úmida no ponto de medição 02.

Tabela 26. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face abaxial, úmida no ponto de medição 03 (inferior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada correspondente a 72 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -21345. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 27.

Tabela 27. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 03.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	504055	309942
MOG	504055	2.19722	318293
SAP	309942	318293	2.19722

Na Tabela 28 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face abaxial, úmida no ponto de medição 03.

Tabela 28. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 29 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear e as estimativas de contagem de erros que correspondeu a taxa 0.0800 (IPX), 0.0400 (MOG) e 0.0400 (SAP) da face abaxial, úmida no ponto de medição 03.

Tabela 29. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, úmida no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	23	0	2	25
	92.00	0.00	8.00	100.00
MOG	0	24	1	25
	0.00	96.00	4.00	100.00
SAP	0	1	24	25
	0.00	4.00	96.00	100.00
TOTAL	23	25	27	75
	30.67	33.33	36.00	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face abaxial, seca no ponto de medição 01 (superior da folha) foram observadas informações da matriz de covariância agrupada corresponde a 51 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -21519. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 30.

Tabela 30. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 01.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.19722	124240	2237542
MOG	124240	2.19722	2124495
SAP	2237542	2124495	2.19722

Na Tabela 31 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) da face abaxial, seca no ponto de medição 01.

Tabela 28. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na Tabela 32 está descrito o resumo de classificação para dados de calibração e validação cruzada usando função discriminante linear da face abaxial, seca no ponto de medição 01.

Tabela 32. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 01.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	25	0	25
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	25	25	75
	33.33	33.33	33.33	100.00
PRIORS	0.33333	0.33333	0.33333	

Na face abaxial, seca no ponto de medição 02 (intermediária da folha) foram compiladas 1101 variáveis em 3 classes com 72 observações, frequência de 25 e uma proporção e probabilidade de 0.347222 (IPX), 0.333333 (MOG) e 0.319444 (SAP) para cada espécie.

Informações da matriz de covariância agrupada corresponde a 64 e o log natural de determinante da matriz de covariância em -21421. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 33.

Tabela 33. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 02.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.11558	71640	930320
MOG	71640	2.19722	809960
SAP	930320	809960	2.28234

Na Tabela 34 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear) e a validação cruzada usando função discriminante linear da face abaxial, seca no ponto de medição 02.

Tabela 34. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 02.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	24	0	24
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	23	23
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	24	23	72
	34.72	33.33	31.94	100.00
PRIORS	0.34722	0.33333	0.31944	

Na face abaxial, seca no ponto de medição 03 (inferior da folha) foram compiladas 1101 variáveis em 3 classes com 74 observações, frequência de 25 e uma proporção e probabilidade de 0.337838 (IPX), 0.324324 (MOG) e 0.337838 (SAP) para cada espécie.

Informações da Matriz de Covariância Agrupada corresponde a 64 e o Log Natural de determinante da matriz de covariância em -21948. A distância quadrada generalizada é exposta na Tabela 35.

Tabela 35. Representação da Distância Quadrada Generalizada para *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 03.

DISTÂNCIA QUADRADA GENERALIZADA			
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP
IPX	2.17038	189290	2385743
MOG	189290	2.25202	2262744
SAP	2385743	2262744	2.17038

Na Tabela 36 estão descritos o resumo de classificação para dados de calibração (resumo de substituição usando função discriminante linear), validação cruzada usando função discriminante linear e a estimativas de contagem de erros da face abaxial, seca no ponto de medição 03.

Tabela 36. Representação do número de observações e porcentagem classificada por espécies: *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (IPX), *Swietenia macrophylla* King (MOG) e *Lecythis pisonis* Cambess. (SAP) - face abaxial, seca no ponto de medição 03.

NÚMERO DE OBSERVAÇÕES E PORCENTAGEM CLASSIFICADA EM ESPÉCIE				
ESPÉCIE	IPX	MOG	SAP	TOTAL
IPX	25	0	0	25
	100.00	0.00	0.00	100.00
MOG	0	24	0	24
	0.00	100.00	0.00	100.00
SAP	0	0	25	25
	0.00	0.00	100.00	100.00
TOTAL	25	24	25	74
	33.78	32.43	33.78	100.00
PRIORS	0.33784	0.32432	0.33784	

6. CONCLUSÃO

A análise discriminante linear é uma técnica estatística amplamente utilizada para distinguir entre diferentes grupos ou categorias com base em variáveis independentes. Em muitas áreas, incluindo botânica, a análise discriminante linear é usada para identificar e diferentes espécies de plantas. No reconhecimento de espécies arbóreas, por exemplo, as folhas das árvores são usadas como variáveis independentes, e a análise discriminante linear é usada para encontrar uma combinação linear dessas variáveis que podem distinguir entre diferentes espécies de árvores. O objetivo deste estudo é, portanto, usar a análise discriminante linear para encontrar padrões e características únicas nas folhas de diferentes espécies arbóreas que podem ser usadas para identificar e classificar essas espécies de maneira precisa e eficiente.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M. C. J. L. *et al.* Descrição morfológica para identificação das plântulas de nove espécies lenhosas de uma floresta de restinga. **Biota Neotropica**, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 374–383, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032013000300036>
- BAPTISTA MARIA, V. R. **Caracterização das florestas ribeirinhas do rio Formoso e Parque Nacional da Serra da Bodoquena/MS, quanto as espécies ocorrentes e histórico de perturbação, para fins de restauração.** 2007. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) - Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, Brasil. 2007.
- BRAGA, J. W. B. *et al.* The Use of Near Infrared Spectroscopy to Assess Infant Pain. **Journal of Pediatric Nursing**, [S. l.], v. 39, n. 2, p. 85–88, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pedn.2017.12.009>
- BREMANANTH, R.; NITHYA, B.; SAIPRIYA, R. Wood Species Recognition System. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, [S. l.], v. 52, n. 4, p. 873–879, 2009.
- 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. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5635885/>.
- CROWTHER, T. W.; GLICK, H. B.; COVEY, K. R.; BETTIGOLE, C.; MAYNARD, D. S.; THOMAS, S. M.; TUANMU, M. N. (2015). Mapping tree density at a global scale. **Nature**, v. 525, n. 7568, p. 201-205, 2015. Disponível em: https://www.academia.edu/22033879/Mapping_tree_density_at_a_global_scale.
- DANNER, M. *et al.* EnMAP Field Guides Technical Report Sampling Strategies. **EnMAP Hyperspectral Imager**, [S. l.], v. 2200, 2015. Disponível em: <http://doi.org/10.2312/enmap.2015.012>
- DENHAM, S. S. *et al.* Using integrative taxonomy and multispecies coalescent models for phylogeny reconstruction and species delimitation within the “Nastanthus–Gamocarpha” clade (Calyceraceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [S. l.], v. 130, p. 211–226, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2018.10.015>
- DRAPER, F. C. *et al.* **Quantifying Tropical Plant Diversity Requires an Integrated Technological Approach.** [S. l.]: Elsevier Current Trends, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tree.2020.08.003>
- DUFOUR, E. Princípios de espectroscopia no infravermelho. **Espectroscopia de infravermelho para análise e controle da qualidade de alimentos**, p. 1-27, 2009.

DURGANTE, F. M. *et al.* Species Spectral Signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with Near-Infrared Leaf-Spectroscopy. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 291, p. 240–248, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.10.045>

Flora do Brasil 2020 em construção. **Jardim Botânico do Rio de Janeiro**. Disponível em: < <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/> >. Acesso em: 25 out. 2020

GAEM, P. H. *et al.* Tree species delimitation in tropical forest inventories: Perspectives from a taxonomically challenging case study. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 505, p. 119900, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119900>

GELADI, P. 2003. Chemometrics in spectroscopy. Part 1. Classical chemometrics. **Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy**, 58(5):767-782.

GOMES, V. H. F. *et al.* Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. **Nature Climate Change**, [S. l.], v. 9, n. 7, p. 547–553, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0500-2>

HADLICH, H. L. *et al.* Recognizing Amazonian tree species in the field using bark tissues spectra. **Forest Ecology and Management**, [S. l.], v. 427, p. 296–304, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.002>

Kohavi, R. 1995. A study of cross-validation and bootstrap for accuracy estimation and model selection. In: **International joint Conference on artificial intelligence**, v. 14, p. 1137–1145.

LANG, C. *et al.* Near infrared spectroscopy facilitates rapid identification of both young and mature Amazonian tree species. **PLoS ONE**, [S. l.], v. 10, n. 8, p. 1–15, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134521>

CARDOSO, D. *et al.* Amazon plant diversity revealed by a taxonomically verified species list. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [S. l.], v. 114, n. 40, p. 10695–10700, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.1706756114>

HOOGSTRA-KLEIN, M. A.; MEIJBOOM, K. A qualitative exploration of the wood product supply chain – investigating the possibilities and desirability of an increased demand orientation. **Forest Policy and Economics**, [S. l.], v. 133, p. 102606, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2021.102606>

LIMA, A.; BAKKER, J. Espectroscopia no infravermelho próximo para a monitorização da perfusão tecidual. **Rev Bras Ter Intensiva**, [S. l.], v. 23, n. Tabela 1, p. 341–351, 2011.

LOPATIN, J. *et al.* Comparing Generalized Linear Models and random forest to model vascular plant species richness using LiDAR data in a natural forest in central Chile. **Remote Sensing of Environment**, [S. l.], v. 173, p. 200–210, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2015.11.029>

MARTINS, T. G. V. *et al.* Potential planting areas for native tree species in minas gerais state, Brazil, based on environmental variables and wood demand. **Ecological Modelling**, [S. l.], v. 432, p. 109211, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109211>

MELLO, K. de *et al.* Integrating ecological equivalence for native vegetation compensation: A methodological approach. **Land Use Policy**, [S. l.], v. 108, p. 105568, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2021.105568>

MELO, M. D. F. F.; VARELA, V. P. Morphological aspects of fruits, seeds, germination and seedlings of two Amazonian timber species. I. *Dinizia excelsa* Ducke (angelim-pedra). II. *Cedrelinga catenaeformis* Ducke (cedrorana) - Leguminosae: Mimosoideae. **Revista Brasileira de Sementes**, [S. l.], v. 28, n. 1, p. 54–62, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000100008>

MOHAN, S.; VENKATACHALAPATHY, K.; SUDHAKAR, P. An intelligent recognition system for identification of wood species. **Journal of Computer Science**, [S. l.], v. 10, n. 7, p. 1231–1237, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3844/jcssp.2014.1231.1237>

OLIVEIRA, A. A. *et al.* Identificação de Madeiras utilizando a Espectrometria no Infravermelho Próximo e Redes Neurais Artificiais. **TEMA (São Carlos)**, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 81, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5540/tema.2015.016.02.0081>

OLIVEIRA, R. A. de; SILVA, A. P. B. da. William Herschel, os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [S. l.], v. 36, n. 4, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1806-11172014000400022>. Acesso em: 28 jul. 2022.

Oxford Languages. Copyright © 2022 Oxford University Press. All rights reserved. Disponível em: <https://languages.oup.com/google-dictionary-pt/>

PASQUINI, C. **Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications**. [S. l.]: Sociedade Brasileira de Química, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532003000200006>

PIVA, L. R. d. O. *et al.* Volatile monoterpene ‘fingerprints’ of resinous Protium tree species in the Amazon rainforest. **Phytochemistry**, [S. l.], v. 160, n. July 2018, p. 61–70, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2019.01.014>

PU, Y. Y. *et al.* Review of near-infrared spectroscopy as a process analytical technology for real-time product monitoring in dairy processing. **International Dairy Journal**, [S. l.], v. 103, p. 104623, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2019.104623>

SANTOS, J. X. *et al.* Near infrared spectroscopy for separation of tauari wood in brazilian amazon native forest. **Journal of Tropical Forest Science**, [S. l.], v. 32, n. 3, p. 227–236, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.26525/JTFS2020.32.3.227>
SAS INSTITUTE INC. The Discrim Procedure. **SAS/STAT 13.2 User’s Guide**, [S. l.], p. 677–772, 2014.

SAS Institute Inc. 2014. SAS/STAT® 13.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

SILVA, K. E.; MATOS, F. D. A.; FERREIRA, M. M. Composição florística e fitossociologia de espécies arbóreas do Parque Fenológico da Embrapa Amazônia Ocidental. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 38, n. 2, p. 213-222, mar., 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0044-59672008000200004&script=sci_arttext.

SILVERSTEIN, R.M., FRANCIS, X.W., DAVID, J.K. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 6th Ed. Ltc. 136-148p, 2007.

TER STEEGE, H. *et al.* The discovery of the Amazonian tree flora with an updated checklist of all known tree taxa. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 6, p. 1–15, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/srep29549>

TORKE, B. M. *et al.* A dated molecular phylogeny and biogeographical analysis reveals the evolutionary history of the trans-pacifically disjunct tropical tree genus *Ormosia* (Fabaceae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, [S. l.], v. 166, p. 107329, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ympev.2021.107329>

TYRVÄINEN, L. *et al.* Benefits and uses of urban forests and trees. *In*: **Urban Forests and Trees: A Reference Book**. [S. l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2005. p. 81–114. *E-book*. Disponível em: https://doi.org/10.1007/3-540-27684-X_5