

# DISCRIMINAÇÃO DE ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS POR MEIO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Valdiek da Silva MENEZES<sup>1</sup>  
Flávia Machado DURGANTE<sup>2</sup>  
Joaquim dos SANTOS<sup>3</sup>  
Tatiane GAUÍ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Bolsista PAIC/FAPEAM; <sup>2</sup>Co-orientadora INPA/INCT; <sup>3</sup>Orientador INPA/INCT; <sup>4</sup>Colaboradora INPA

## INTRODUÇÃO

A principal característica da Floresta Amazônica é a sua elevada diversidade florística (Higuchi *et al.* 2012), entretanto muito permanece desconhecido sobre essa “piscina de carbono tropical na Terra”. Steege *et al.* (2013) sugerem que existem aproximadamente 16 mil espécies nas terras amazônicas, onde 227 espécies, juntas, correspondem a metade das árvores da Amazônia.

A identificação de espécies florestais amazônicas é uma árdua tarefa devido ao elevado número de espécies e a alta similaridade morfológica entre algumas delas, porém, é uma atividade primordial para diversas áreas do conhecimento. As amostras botânicas coletadas em campo, geralmente, são secas em estufas e preparadas exsicatas para posterior reconhecimento em herbário. Normalmente, essas exsicatas são de material vegetativo, o que dificulta o reconhecimento da espécie com precisão (Mori e Cunha 1995).

Reconhecer a identidade de um indivíduo arbóreo é um processo subjetivo que varia até mesmo entre os especialistas (Gomes 2012) e está em constante aprimoramento, como a descrição de novas espécies. Erros de identificação acabam agrupando diferentes espécies com o mesmo nome popular até mesmo de diferentes gêneros ou famílias (Procópio e Seco 2008). Nesse contexto, buscaram-se alternativas para reconhecer espécies florestais com maior precisão e rapidez. Sendo assim, novas técnicas têm sido testadas para aprimorar a atividade de reconhecimento das espécies florestais, de modo a proporcionar uma identificação rápida e de qualidade, como a espectroscopia no infravermelho próximo (Lu *et al.* 2004; Kim 2004; Durgante *et al.* 2013).

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) tem se destacado por identificar espécies de moscas representando semelhança filogenética (Fernandez 2008), identificação de espécies por meio do espectro da madeira e identificação de espécies por meio do espectro da folha (Lu *et al.* 2004; Kim 2004; Durgante *et al.* 2013). Os espectros NIR captam informações relacionadas com a diferença entre as forças de ligações químicas, espécies químicas presentes, eletronegatividade e a ligação de hidrogênio (Barbosa 2007). No entanto, a informação captada está relacionada com as características morfológica, química e física do material (Ponzoni 2002). A espectroscopia no infravermelho com a transformada de Fourier (FT-NIR) basicamente é uma técnica de análise para colher o espectro infravermelho mais rapidamente. A luz pode interagir com a amostra por meio de reflexão, refração, absorção, espalhamento, difração e transmissão.

Essa técnica foi testada em espécies florestais da Amazônia por Durgante *et al.* (2013) e permitiu distinguir 10 espécies entre 2 gêneros dentro de apenas uma família. Porém, agora é importante explorar essa ferramenta ampliando o número de espécies e o número de famílias e, assim, observar o comportamento dessa ferramenta em um novo contexto. Deste modo, o presente trabalho objetivou testar a capacidade da espectroscopia no infravermelho próximo em distinguir 18 espécies de diferentes famílias e avaliar o potencial da técnica em auxiliar no reconhecimento de espécies florestais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em exsicatas provenientes da Estação Experimental de Silvicultura Tropical- ZF-2 (EEST-ZF2). Essa estação localiza-se a noroeste da cidade de Manaus. A altitude no local varia de 50 – 110 m acima do nível do mar. O clima da região segundo a classificação de Koppen é do tipo Am, com temperatura média de 26°C (mínima de 19°C e máxima de 39°C) segundo Radambrasil (1978).

O experimento utilizou exsicatas coletadas em uma área manejada experimentalmente monitorada há 25 anos (projeto Bionte). Foram selecionadas 18 espécies coletadas e identificadas por Tatiane Gauí no ano de 2013 onde, sempre que possível, o número de amostras foi superior a 10 indivíduos conforme mostra a tabela 1.

As leituras espectrais foram coletadas no espectrômetro da Thermo Nicolet, sistema FT-NIR Anataris II Method Development System (DMS). Os espectros foram expressos em valores de absorbância entre os números de onda de 4.000 a 10.000 (cm<sup>-1</sup>) com resolução de 8 cm<sup>-1</sup>, 16 scans e Gain 1x como sugerido por Durgante *et al.* (2013). Confirmando uma calibração (branco) do equipamento a cada 4 horas de uso. Cada leitura demorou em torno de 30

segundos para 16 varreduras por espectro. Para controle, foi utilizado um corpo negro em cima do ponto onde o espectro foi coletado, para evitar a dispersão da luz.

Tabela 1. Relação de 18 espécies, distribuídas em 14 famílias, e o número de indivíduos por espécie, na ordem em que foram coletados os espectros.

	Família	Espécie	Indivíduos
1	Chrysobalanaceae	<i>Licania sandwithii</i> Prance	16
2	Urticaceae	<i>Pourouma tomentosa</i> Mart. ex Miq.	13
3	Euphorbiaceae	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	13
4	Elaeocarpaceae	<i>Sloanea floribunda</i> Spruce ex Benth.	13
5	Lauraceae	<i>Licaria crassifolia</i> (Poir.) P.L.R.Moraes	14
6	Lauraceae	<i>Ocotea cujumary</i> Mart.	10
7	Lauraceae	<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	10
8	Apocynaceae	<i>Ambelania acida</i> Aubl.	10
9	Rubiaceae	<i>Amaioua corymbosa</i> Kunth	11
10	Fabaceae	<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	11
11	Fabaceae	<i>Swartzia reticulata</i> Ducke	18
12	Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub. Forma 1	10
	Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub. Forma 2	11
	Moraceae	<i>Brosimum rubescens</i> Taub. Forma 3	2
13	Humiriaceae	<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	11
14	Humiriaceae	<i>Vantanea parviflora</i> Lam.	9
15	Burseraceae	<i>Protium hebetatum</i> Daly	10
16	Myristicaceae	<i>Virola calophylla</i> Warb.	11
17	Sapotaceae	<i>Pouteria anomala</i> (Pires) T.D.Penn.	14
18	Lecythidaceae	<i>Eschweilera grandiflora</i> (Aubl.) Sandwith	12

Foram coletados 12 espectros por exsicata, sendo 2 na face adaxial e 2 na face abaxial em 3 folhas.

A representação do espécime foi realizada através de um espectro médio retirado dos 12 espectros, no qual foram construídos os modelos de análise discriminante. Além de usar uma análise dos componentes principais (PCA), também foi realizada, para avaliar as funções discriminantes dois tipos de validação: deixe-um-de-fora, *leave one out*, (reserva uma amostra para validação, gera-se a função com n-1 indivíduos e depois testa o indivíduo reservado, faz-se isso com todos os indivíduos) e validação cruzada (30% da amostragem serão utilizadas para validar o modelo gerado com 70% das amostras), a randomização do grupo 30 e 70% foi realizada 1000 vezes. A média das probabilidades de acerto nos testes de validação comprovou o potencial da técnica em discriminar espécies de diferentes famílias.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados 2724 espectros (Figura 1) para os 227 espécimes, distribuídas em 18 espécies e 14 famílias.

A análise dos componentes principais dos dados coletados é exibida em um gráfico bidimensional com os dois primeiros componentes principais (PCA1 e PCA2), que representam 95% de variação dos dados os espectros (Figura 2). Os indivíduos da mesma espécie tendem a se aproximarem no espaço. A maioria das espécies se aglomeraram no centro do gráfico, mas algumas permaneceram afastadas como de *Ocotea cujumary* Mart., *Pourouma tomentosa* Mart. ex Miq, *Vantanea parviflora* Lam.e *Licaria crassifolia* (Poir.) P.L.R.Moraes.

Sendo assim, é possível utilizar a PCA, como uma análise exploratória, sem necessidade de conhecimento prévio da estrutura de classes dentro do conjunto de dados para apresentar a relação natural entre plantas em um gráfico bidimensional (Kim *et al.* 2004).Vale destacar que o universo dos dados é multivariado e está sendo representado em um plano cartesiano.

Neste grupo filogeneticamente amplo, os resultados dos métodos de validação "*leave one out*" e "validação cruzada" que testaram a eficiência da técnica, apresentaram uma média de probabilidade de distinguir as espécies corretamente de 100%. Tal resultado corrobora com Durgante *et al.* (2013) que alcançou uma média de identificação de 99,4%,

variando de 90 a 100% em grupo de espécies proximamente relacionadas. Castillo *et al.* (2008) distinguiu duas espécies do gênero *Eucalyptus* (*E. globulus* Labill e de *E. nitens* Maiden) com 100% de correta identificação. Em estudo com espécies de *Ephedra*, Fan *et al.* (2010) encontrou o resultado da análise discriminante variando de 84,2 a 91.9%. Utilizando exsicatas de herbário Krajsek *et al.* (2008) atingiu 90% da correta classificação de *Epilobium* spp. Este resultado comprova o potencial da técnica em auxiliar na discriminação de espécies utilizando material estéril, ou seja, apenas partes da folha, contrapondo com a botânica clássica e as chaves de identificação botânicas que utilizam, principalmente, a anatomia de flores e frutos (Mori e Cunha 1995).

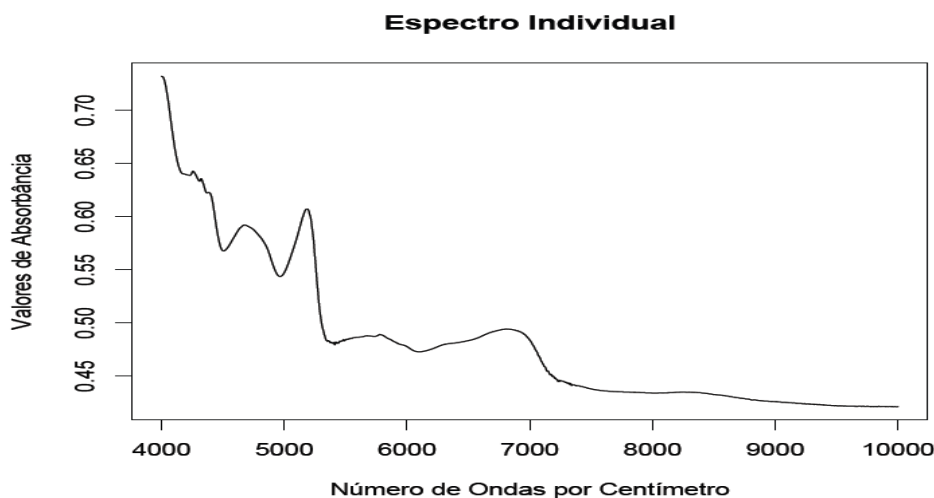


Figura 1. Gráfico do espectro individual da absorvância em função do número de onda.

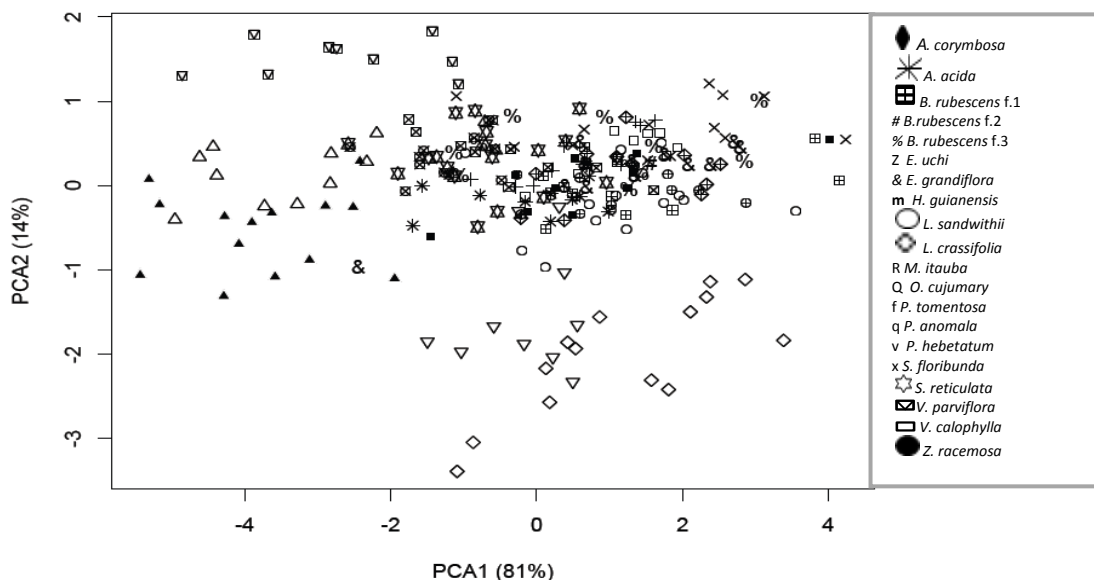


Figura 2. Análise de componentes principais (PCA) dos espectros explicando 95% da variação dos dados por espécie.

As características anatômicas, morfológicas e químicas usadas na discriminação de espécies são captadas pelo infravermelho próximo, uma vez que, geralmente, esses fatores são geneticamente controlados e existirão diferenças no comportamento espectral entre grupos geneticamente distintos e, pode-se dizer que os padrões informados pelos espectros de cada espécie são descritos pela base genética que a técnica consegue captar (Ponzoni 2002).

## CONCLUSÃO

A técnica FT-NIRs demonstrou ser excelente para distinguir espécies florestais na Amazônia em um grupo filogeneticamente amplo. É possível observar as relações naturais entre as espécies utilizando uma análise de componentes principais. Visualiza-se com aplicação da técnica um avanço no campo da botânica e dendrologia ao distinguir corretamente espécies apenas com a análise espectral de material vegetativo, ou seja, sem flor. Porém, para a eficiência dessa técnica é de suma importância uma correta identificação prévia dos indivíduos que geram o modelo.

## REFERÊNCIAS

- Barbosa, L.C.A. 2007. *Espectroscopia no infravermelho na caracterização de compostos orgânicos*. Viçosa. Ed. UFV.
- Castillo, R.; Contreras, D.; Freer, J.; Ruiz, J.; Valenzuela, S. 2008. Supervised pattern recognition techniques for classification of Eucalyptus species from leaves NIR spectra. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 53(4): 1709- 1713.
- Durgante, F.M.; Higuichi, N.; Almeida, A.; Vicentini, A. 2013. Species Spectral Signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with Near-Infrared Leaf-Spectroscopy. *Forest Ecology and Management*, 291:240-248.
- Fan, Q.; Wang, Y. Sun, P.; Liu, S.; Li, Y. 2010. Discrimination of *Ephedra* plants with diffuse reflectance FT- IRS and multivariate analysis. *Talanta*, 80: 1245- 1250.
- Fernández, J.I. R.2008. Coenosiini neotropicais (Muscidae: Díptera): taxonomia, filogenia e contribuição da espectroscopia no infravermelho próximo. Tese de Doutorado, Universidade Federal Paraná. Curitiba, 159p.
- Gomes, A.C.S.; Andrade, A.; Barreto-Silva, J.S.; Bresnes-Arguedas, T.; López, D.C., Freitas; C.C.de, Lang, C.; Oliveira, A.A.de, Perez, A.J.; Perez, R., Silva, J.B.da; Silveira, A.M.F.; Vaz, M.C.; Vendrami, J.; Vicentini, A. 2012. Local plant species delimitation in a highly diverse Amazonian forest: do we all see the same species? *Journal of Vegetation Science*, 1654-1703.
- Higuichi, N. Higuichi; M. I. G. (Eds) 2012. *A floresta amazônica e suas múltiplas dimensões: uma proposta de educação ambiental*. Manaus. AM
- Kim, S.W.; Ban, S.H.; Chung, H.; Cho, S.; Chung, H.J.; Choi, P.S.; Yoo, O.J. Liu, J.R. 2004. Taxonomic discrimination of flowering plants by multivariate analysis of Fourier transform infrared spectroscopy data. *Plant Cell Reports*, 23: 246-250.
- Krajsenk, S.S.; Buh, P.; Zega, A.; Kreft, S. 2008. Identification of herbarium Whole-leaf Samples of *Epilobium* Species by ATR-IR Spectroscopy. *Chemistry & Biodiversity*, 5: 310-317.
- Lu, H.F.; Cheng, C.G.; Tang, X.; Hu, Z.H. 2004. FTIR Spectrum of *Hypericum* and *Triadenum* with reference to their identification. *Acta Botanica Sinica*, 46(4): 401-406.
- (Manaus): Site 1. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia, 17p.
- Mori, S.A.; Cunha, N.L. 1995. *The Lecythidaceae of a Central Amazonian Moist Forest*. The New York Botanical Garden, Bronx, New York, 60 p.
- Ponzoni, F.J. 2002. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: diagnosticando a mata atlântica. *INPE*, 62, 8:1-28.
- Procópio, L.C.; Secco, R.S. 2008. A importância da identificação botânica nos inventários florestais: o exemplo de "tauari" (*Couratari* spp. e *Cariniana* spp. – Lecythidaceae) em duas áreas manejadas no estado do Pará. *Acta Amazonica*, 38: 31-44.
- Radambrasil, 1978. Programa de  
Brasil, 626pp.
- Steege, H.; Pitman, N.C.A; Sabatier, D.; Baraloto, D.; Salomão, R.P.; Guevara, J.E. et al. 2013. Hyperdominance in the Amazonian Tree Flora. *Science*, 342.