

APLICAÇÃO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO E DA ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE MADEIRAS NA INDÚSTRIA DE MÓVEIS

Lucas F. Bastos¹, Keiti O. Alessio¹, Caren M. Menezes², Adilson B. da Costa^{2*}, Luciano Marder²

¹Curso em Química Industrial – Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) – Santa Cruz do Sul, RS - Brasil

²Programa de Pós-graduação em Sistemas e Processos Industriais – Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC) – Santa Cruz do Sul, RS – Brasil

*E-mail: adilson@unisc.br

Recebido em 10 de abril de 2012
Aceito em 30 de abril de 2012

RESUMO

Este estudo teve por objetivo investigar a aplicação da espectroscopia no infravermelho e da análise exploratória de dados para distinguir os diferentes tipos de madeiras naturais, contribuindo para o controle da origem dos materiais utilizados na indústria de móveis. A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) foi utilizada para caracterização de 44 amostras de 19 diferentes tipos de madeiras e a análise por componentes principais (PCA) para sua discriminação. A metodologia proposta mostrou-se eficiente na separação de algumas amostras, mas estudos complementares devem ser realizados para a difusão desta metodologia no cotidiano da indústria de móveis.

Palavras-chave: PCA, NIR, madeira, indústria de móveis.

1 Introdução

As técnicas utilizadas para análise da madeira geralmente são caras, imprecisas e, muitas vezes, destrutivas impedindo análises em grande escala [1]. Essas técnicas são baseadas na anatomia vegetal da madeira e podem ser macroscópicas ou microscópicas exigindo um corpo técnico qualificado para desenvolver a metodologia [2]. Devido a esse fator, é comum que no ambiente industrial a identificação de madeiras seja feita através de métodos empíricos, utilizando o tato, olfato, além do aspecto visual das peças. Esses procedimentos nem sempre são eficazes, especialmente quando são adquiridos materiais de espécies vegetais semelhantes [3-4].

Além disso, cada tipo de indústria tem necessidades distintas em relação às características da madeira a ser utilizada. Logo, a indústria de processamento da madeira pode ser dividida em produção de celulose, painéis de madeira, produtos sólidos e energia [5]. A indústria de produtos sólidos (serrarias, produtora de lâminas para indústria de compensados e produtoras de lâminas decorativas), por sua vez, é separada em dois grupos: os comuns (*commodities*) e os especiais (*specialties*), no grupo dos especiais as toras utilizadas requerem mais cuidados na seleção do material. Além da identificação da madeira auxiliar nessa seleção, há a possibilidade de ajudar em processos de exportação já que alguns dos países exigem comprovação de que a extração foi processada legalmente [6].

Da mesma forma, na indústria de carvão vegetal, destaca-se a necessidade de classificar e distinguir a origem da madeira que, além de proporcionar alterações no processo relacionado à química da matéria-prima, também pode ser proveniente de origem duvidosa possibilitando a entrada no processo de espécies ameaçadas e protegidas por lei [7]. Contudo, deve-se ressaltar que no mercado há espécies muito semelhantes visualmente, como por exemplo: *Carapa guianensis* Aubl. (Andiroba), *Cedrela odorata* L. (Cedro), e *Micropholis melinoniana* Pierre (Curupixá), por isso muitas vezes os responsáveis pela classificação encontram dificuldades na seleção do material [8]. Esses argumentos confirmam a necessidade de métodos menos morosos e com maior confiabilidade para seleção e classificação de madeiras, tanto pelos geneticistas, quanto pelas indústrias de processamento [9].

Nesse contexto, o presente trabalho destaca através de uma aplicação prática, a contribuição da espectroscopia molecular, especificamente da espectroscopia na região do infravermelho próximo, na classificação de diferentes tipos de madeira na indústria de móveis.

1.1 Espectroscopia no infravermelho

A técnica da espectroscopia no infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy*, NIRS) vem sendo utilizada com sucesso como um método rápido e preciso, por isso, optou-se em

realizar a pesquisa utilizando essa técnica. Algumas pesquisas descrevem a aplicação da NIRS para caracterizar árvores que oferecem alto rendimento para a produção de polpa celulósica [10] e na discriminação entre mogno e andirobá [8]. A técnica vem se mostrando eficiente em pesquisas com vários outros produtos como nos estudos feitos em óleos vegetais e biodiesel [11-12].

Essa técnica permite medir a interação da luz com o material, que é determinada pela vibração das ligações químicas dos constituintes das amostras [13]. O NIR é uma importante ferramenta para a identificação de compostos orgânicos e inorgânicos puros, uma vez que, com exceção de algumas moléculas mononucleares (tipicamente O₂, N₂ e Cl₂), todas as espécies moleculares absorvem a radiação no infravermelho. Além disto, com exceção de alguns compostos quirais no estado cristalino, cada espécie molecular apresenta um espectro de infravermelho de absorção que é único, sendo considerada uma propriedade físico-química característica [14-15]. Comparado aos métodos convencionais para identificação de características da madeira, no qual é possível identificar aproximadamente 2000 amostras por ano, a técnica de espectroscopia no infravermelho é mais rápida, sendo possível identificar uma amostra em apenas 90 segundos [1].

1.2 Análise multivariada

A técnica NIR se potencializa quando associada à análise multivariada na classificação de materiais. O ponto chave no sucesso da aplicação da técnica NIR é o desenvolvimento de métodos para manipular e interpretar os dados da análise. Isso se deve ao grande número de variáveis geradas [13].

As ferramentas estatísticas multivariadas permitem a extração de informações presente nos espectros NIR [16]. Uma das ferramentas utilizadas para auxiliar na interpretação dos dados obtidos é a Análise de Componentes Principais (PCA), cujo foco é a correlação entre as variáveis usando combinações lineares para criar um novo conjunto de variáveis ortogonais [17].

A ferramenta PCA aliada ao NIR vem sendo utilizada como método de classificação de amostras em diversas áreas. Um exemplo é o uso dessa combinação para identificar amostras de gasolinas adulteradas com solventes [18]. Outro exemplo é a aplicação para a classificação de amostras de eucalipto relacionado ao material genético das árvores abatidas [16].

2 Materiais e métodos

Este estudo teve por objetivo o desenvolvimento de uma metodologia analítica, não destrutiva, para classificação de diferentes tipos de madeiras naturais, permitindo, desta forma, um maior controle sobre a origem dos materiais utilizados na indústria de móveis.

As amostras foram coletadas nas indústrias de móveis da região do Vale do Rio Pardo no RS, as quais foram lixadas e

polidas para remover qualquer material de superfície. Na Figura 1, estão identificados os nomes populares das amostras e suas respectivas imagens (o número junto ao nome de cada amostra representa a quantidade de amostras coletadas).



Figura 1. Identificação das amostras de madeira.

A espectroscopia no infravermelho próximo (NIR - *Near-Infrared spectroscopy*) foi utilizada para caracterização de 44 amostras de 19 diferentes tipos de madeiras, e a análise por componentes principais (PCA - *Principal Component Analysis*) para sua discriminação.

A aquisição dos espectros foi realizada diretamente nas amostras de madeira, em triplicata, utilizando um espectrômetro no infravermelho próximo com esfera de integração PERKIN ELMER modelo Spectrum 400, com detector Índio-Galio-Arsênio, na faixa de 10.000 a 4.000 cm⁻¹, com resolução de 16 cm⁻¹ e 32 varreduras. Esses espectros foram coletados em três pontos distintos de cada amostra, num raio de 10 cm, para a obtenção de um espectro médio.

Para a análise de componentes principais (PCA), foi utilizado o *software* Solo® 6.5.3 (*Eigenvector Research, Inc.*).

3 Resultados e discussões

Diferentes procedimentos de pré-tratamento dos espectros de infravermelho foram testados, sendo os melhores resultados obtidos com os dados normalizados, seguido da aplicação da primeira derivada e, posteriormente, auto-escalados. A Figura 2 apresenta os espectros de NIR, após normalização, característicos de cada tipo de amostra utilizada.

A análise de componentes principais (PCA) resultou em uma explicabilidade de 73,91% da variância total do sistema para as quatro primeiras componentes principais. A Tabela 1 apresenta a variância em cada uma das quatro componentes principais (PC), bem como os autovetores das amostras. Observa-se que as amostras mais correlacionadas com a primeira componente foram as de Cedro e Platana, com valores superiores a 21,5 no lado positivo e Louro Feijó, no negativo, e no segundo eixo, a amostra mais negativamente correlacionada foi o Pinus (-

48,3), enquanto o Ipê Roxo destacou-se no lado positivo (73,4). No terceiro eixo, a amostra de Timbaúva se destaca na extremidade positiva e a de Louro Feijó no lado negativo. Já a quarta componente principal apresenta o Ipê Roxo na extremidade positiva e a Garapeira na extremidade negativa do eixo.

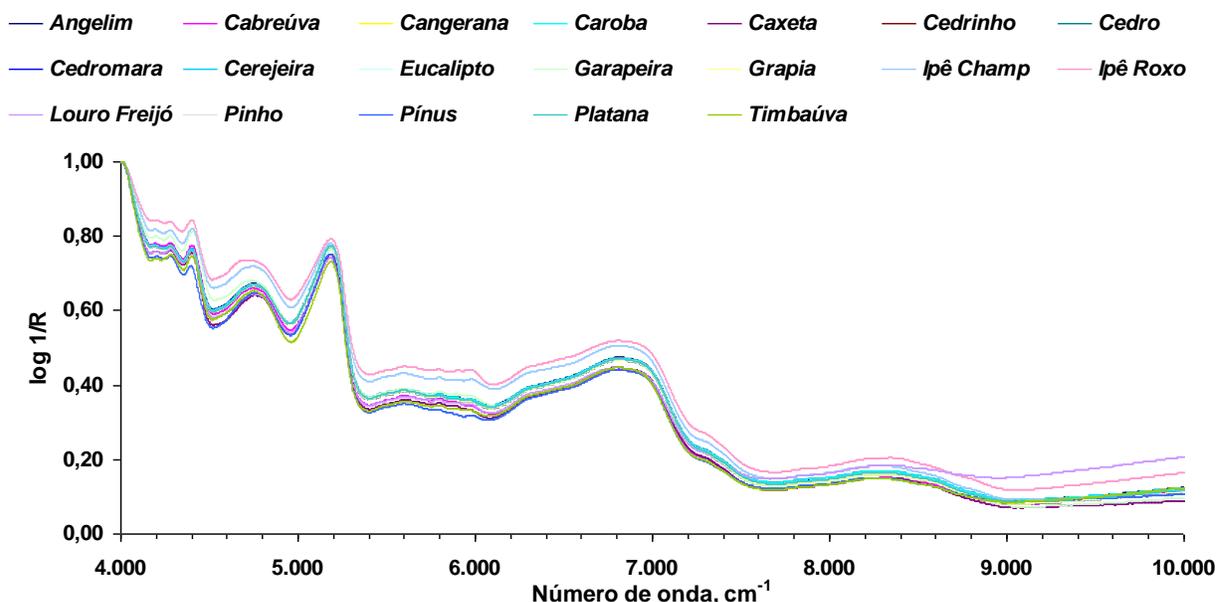


Figura 2. Espectro de NIR, normalizado, característico das amostras investigadas.

Tabela 1. Autovetores das amostras nos quatro primeiros componentes principais.

Amostras	PC1 (29,18%)	PC2 (22,34%)	PC3 (14,85%)	PC4 (7,54%)	Amostras	PC1 (29,18%)	PC2 (22,34%)	PC3 (14,85%)	PC4 (7,54%)
Angelim A	15,32	-7,25	-16,01	-4,21	Platana B	15,40	-7,39	-15,48	-4,55
Angelim B	18,43	-9,99	-7,70	-0,37	Platana A	21,53	-14,18	-5,48	0,40
Eucalipto Sal, A	1,78	-11,33	-12,67	-3,71	Timbaúva A	-41,95	-19,20	41,53	4,06
Eucalipto Sal, B	18,43	-9,99	-7,70	-0,37	Timbaúva B	-51,21	-14,65	22,83	13,18
Garapeira B	10,73	15,24	35,99	-40,26	Cabreúva B	-1,59	15,61	8,28	-12,83
Garapeira1 A	13,67	5,52	29,52	-29,82	Cabreúva A	-24,10	11,85	20,36	-7,70
Garapeira1 B	2,64	44,71	35,71	-21,91	Cangerana B	16,34	-8,23	-10,84	-2,03
Garapeira A	10,63	3,30	31,05	-11,56	Cangerana A	19,81	-12,95	-9,31	-1,38
Grápia B	17,81	-11,33	-12,67	-3,71	Caroba B	15,40	-7,39	-15,48	-4,55
Grápia A	19,89	-11,02	-4,57	2,10	Caroba A	19,81	-12,95	-9,31	-1,38
Ipê Champ B	11,49	52,75	20,44	13,10	Caxeta A	-20,38	-1,98	23,32	7,61
Ipê Champ A	9,46	45,41	21,18	16,21	Caxeta B	-14,81	-24,38	37,90	12,73
Ipê Roxo A	0,88	68,35	-26,98	34,88	Cedrinho B	1,78	-11,33	-12,67	-3,71
Ipê Roxo B	5,43	73,44	-18,43	40,53	Cedrinho A	19,89	-11,02	-4,57	2,10
Louro Freijó1 B	-98,70	11,89	-49,87	-19,51	Cedro1 A	17,28	-8,82	-11,39	-2,64
Louro Freijó A	-59,02	-3,34	-13,62	-11,19	Cedro A	16,65	-8,64	-11,54	-2,14
Louro Freijó1 A	-74,83	9,72	-34,88	-7,06	Cedro1 B	22,34	-17,05	-5,92	-0,84
Louro Freijó B	-50,75	-0,88	-5,08	-4,98	Cedro B	19,89	-11,02	-4,57	2,10
Pinho B	16,34	-8,23	-10,84	-2,03	Cedromara B	17,89	-11,46	-12,14	-4,05
Pinho A	19,81	-12,95	-9,31	-1,38	Cedromara A	19,89	-11,02	-4,57	2,10
Pínus B1	-37,08	-48,34	25,71	26,37	Cerejeira A	15,40	-7,39	-15,48	-4,55
Pínus A	-15,30	-40,76	29,84	34,85	Cerejeira B	19,89	-11,02	-4,57	2,10

A Figura 3 apresenta o diagrama de dispersão de PC1 versus PC2, contendo os *scores* referentes às amostras estudadas, permitindo distinguir as amostras de Cabreúva, Caxeta, Pinus, Timbaúva, Garapeira e Louro Freijó das demais amostras de madeira. A área marcada em vermelho destaca a dificuldade na separação de algumas amostras de Garapeira e Ipê Champagne.

Já a área em verde destaca os problemas na separação entre as amostras de Angelin, Cedro, Cedrinho, Grápia, Platana e Pinho.

No entanto, o diagrama de dispersão utilizando a quarta componente principal (PC1 versus PC4) permitiu uma melhor distinção das amostras de Ipê Roxo, Ipê Champagne e Garapeira, como pode ser observado na Figura 4.

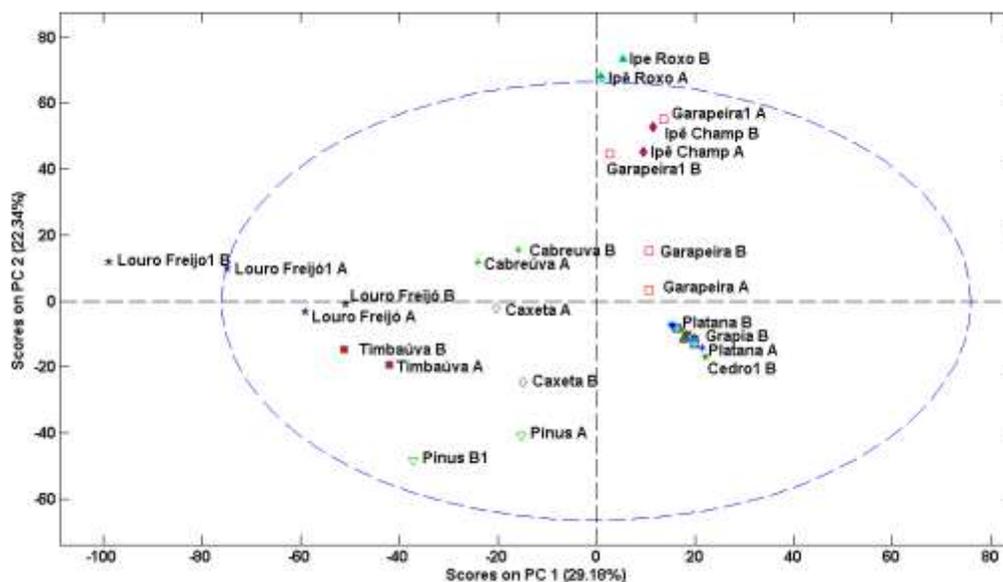


Figura 3. Diagrama de dispersão da análise em componentes principais (PC1 versus PC2).

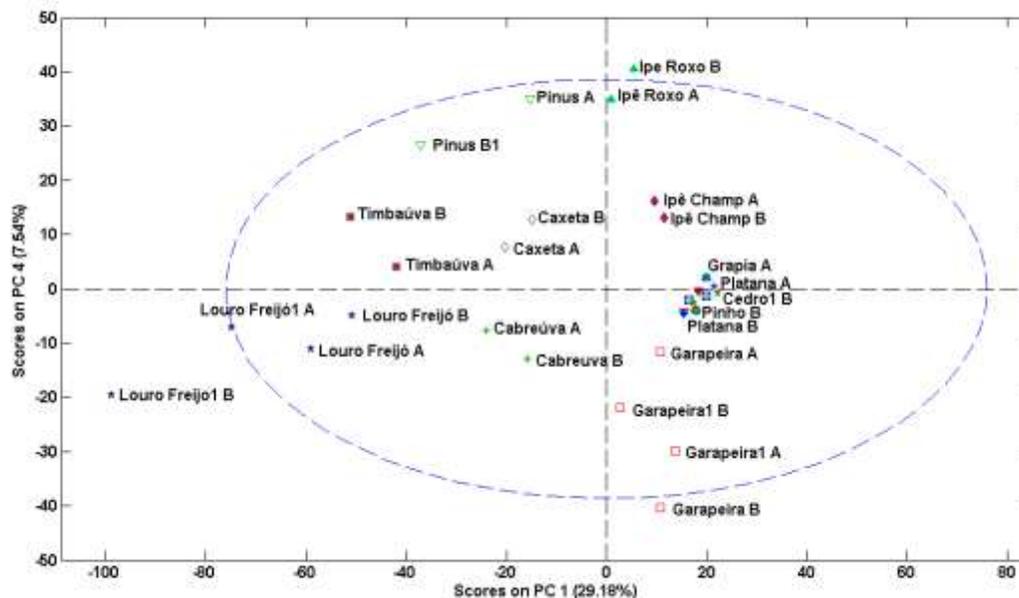


Figura 4. Diagrama de dispersão da análise em componentes principais (PC1 versus PC4).

4 Considerações finais

Os resultados obtidos corroboram o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo quando associada à análise por componentes principais no desenvolvimento de novas metodologias de análise qualitativa.

Apesar disso, para sua efetiva aplicação prática, a indústria deve construir um banco de dados de espectros de infravermelho com os diferentes tipos de madeiras utilizados, identificados, também, quanto a sua origem e fornecedores. Esse banco de dados servirá de base para a análise exploratória de dados, por PCA (por exemplo), ou no desenvolvimento de um modelo de classificação qualitativa, como o SIMCA (*Soft Independent Modeling of Class Analogy*).

Neste caso específico, essa técnica contribui para a identificação de diferentes tipos de madeira utilizadas na indústria de móveis através de um modelo de identificação, que permita de forma simples, rápida e não destrutiva auxiliar a indústria, no controle de qualidade de matérias-primas e produtos manufaturados.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, FAPERGS e FAP/UNISC (Fundo de Apoio à Pesquisa).

APPLICATION OF NEAR INFRARED SPECTROSCOPY AND EXPLORATORY DATA ANALYSIS FOR THE IDENTIFICATION OF WOODS IN THE FURNITURE INDUSTRY

ABSTRACT: The paper aimed to investigate the application of infrared spectroscopy and exploratory data analysis to distinguish the different types of natural woods, contributing to the control of the origin of the materials used in the furniture industry. The near infrared spectroscopy (NIR) was used for the characterization of 44 samples of 19 different types of wood, and the principal component analysis (PCA) to discriminate. The proposed methodology was efficient in the separation of some samples, but further studies should be performed for the diffusion of this methodology in the routine of the furniture industry.

Keywords: PCA, NIR, wood, furniture industry.

Referências

- [1] MAGALHÃES, W. L. E.; PEREIRA, J. C. D.; MUÑIZ, G. I. B.; KLOCK, U.; SILVA, J. R. M.; Bol. Pesq. FI., Colombo, n. 50, p. 25-26, 2005.
- [2] ZENID G. J., CECCANTINI G. C. T. Identificação Macroscópica de Madeiras, SP 2007.

- [3] LORENZI, H, Árvores Brasileiras – Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, Instituto Plantarum de Estudos da Flora Ltda, 4. ed., 2002.
- [4] BACKES, P, IRGANG, B. Árvores do Sul – Guia de identificação & Interesse ecológico: as principais espécies nativas sul - brasileiras, Instituto Souza Cruz, Porto Alegre, 326p, 2002.
- [5] PONCE, R. H.; FRANÇA, F. S.; Artigos Técnicos/ Articles.; Vol. 6, 2003.
- [6] GARRIDO, V.; GUÉRON, A. L.; Ponto Focal de Barreiras Técnicas às Exportações, 2004.
- [7] MONTEIRO, T. C.; SILVA, R. V.; LIMA, J. T.; HEIN, P. R. G.; NAPOLI, A; CERME, Lavras, Vol.16, p. 381-390, 2010.
- [8] PASTORE, T. C. M.; BRAGA, J. W. B.; CORADIN, V. T. R.; MAGALHÃES, W. L. E.; OKINO, E. Y. A.; CAMARGOS, J. A. A.; MUÑIZ, I. B.; BRESSAN, O. A.; DAVRIEUX, F.; Holzforschung, Vol.65, p. 73-80, 2011.
- [9] YANG, J.L.; EVANS, R.; Holz als Roh- und Werkstoff, Berlin, v.61, p.449-452, 2003.
- [10] SANTOS, A.; ALVES, A.; SIMÕES, R.; ANJOS, O.; TAVARES, L. N.; KNAPIC, S.; PEREIRA, H.; RODRIGUES, J.; p. 619-622, 2009.
- [11] Silva A. G. B.; Pontes, M. J. C.; X JEPEX, 2010.
- [12] FERRÃO, M.F.; VIERA, M.S.; PAZOS, R.E.P.; FACHINI, D.; GERBASE, A. E.; MARDER, L.; Fuel (Guildford), Vol. 90, p. 701-706, 2011.
- [13] HEIN, P. R. G. Avaliação das propriedades da madeira de Eucalyptus urophylla por meio da espectroscopia no infravermelho próximo. 2008. 88 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em ciências e Tecnologia da Madeira)- Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- [14] PASQUINI, C.; BUENO, A. F.; Vol. 86, p. 1927-1934, 2007.
- [15] PAVIA, D.L., KRIZ, G.S., LAMPMAN, G.M. Introdução a espectroscopia. 4ª ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- [16] PASQUINI C.; CARNEIRO, C. J. G.; BOMFIM, P. M.; O Papel. Vol. 68, p. 71-83, 2007.
- [17] RODRIGUES L. A. A. de C. Índices de avaliação de processos: Abordagem Univariada e Multivariada. 2001. 166 f. Dissertação (Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.
- [18] SANTOS H. C. E TEIXEIRA L. S. G. Classificação de amostras de gasolina em relação a adulterações por solventes baseada na Análise de Componente Principal (PCA) usando espectrometria FT-IR. 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS.; Rio de Janeiro, Brasil 2003.