

ANÁLISE EXPLORATÓRIA APLICADA A ESPECTROS DE INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIRS) DE MADEIRAS DE *Corymbia* E *Eucalyptus*

LAÍSE VERGARA NÖRNBERG¹; GABRIEL VALIM CARDOSO²; MARCO ANTÔNIO MUNIZ FERNANDES²; OSMARINO PIRES DOS SANTOS³; NATHALIA PIMENTEL³; MARIO LÚCIO MOREIRA⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – laisenornberg@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – gabriel.valim.cardoso@gmail.com;
tstmarcofernandes@gmail.com

³CMPC Celulose Riograndense – osmarino.santos@cmpcrs.com.br;
nathalia.pimentel@cmpcrs.com.br

⁴Universidade Federal de Pelotas – mlucio3001@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2020, o Brasil totalizou 9,55 milhões de hectares de área de floresta plantada para fins industriais, onde 78% corresponde ao cultivo de eucalipto, impulsionado pelo setor de produção de celulose do país (IBÁ, 2021). Devido, principalmente, ao alto volume de produção de celulose, existe uma demanda considerável por espécies com custo operacional igual ou inferior ao *Eucalyptus* spp., que estejam alinhadas também ao aumento da qualidade do produto final. Neste contexto, o gênero *Corymbia* tem sido estudado como uma possível matéria prima para este setor, visto a sua resistência a fatores bióticos e abióticos alinhada à sua alta produtividade de biomassa, alta densidade e rápido crescimento (VALENTE, 2017; COSTA et al., 2022).

Para avaliar a capacidade de aplicação industrial deste gênero, deve ser levado em consideração, além da produtividade e adaptabilidade florestal, a qualidade da madeira do mesmo. Entretanto, devido ao elevado custo operacional de uma caracterização completa da madeira de um material clonal, cria-se o apelo pelo desenvolvimento de técnicas de análise de material que sejam mais eficientes e possibilitem analisar um grande número de amostras de madeira (MILAGRES, 2009; BALDIN et al., 2020).

A técnica da espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS) tem se mostrado bastante promissora no setor florestal, caracterizando-se como um método não destrutivo, de baixo tempo de análise e com precisão eficiente. Contudo, para a aplicação desta técnica é necessária a construção de modelos de calibração com amostras específicas das quais se tem o objetivo de prever a composição, necessitando avaliar a complexidade do banco de dados espectrais a ser trabalhado (PASQUINI, 2003; WANG et al., 2021).

Neste contexto, este trabalho objetivou a análise exploratória de um banco de espectros de infravermelho próximo de madeiras de *Corymbia* e *Eucalyptus*, visando posterior construção de modelos de calibração com capacidade de predizer a qualidade da madeira de árvores do gênero *Corymbia*.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram amostradas 1059 árvores de espécie híbrida de *Corymbia torelliana* x *Corymbia citriodora* e 307 árvores de diferentes espécies de *Eucalyptus* spp., oriundas de três plantios experimentais pertencentes a empresa CMPC Celulose Riograndense, os quais estão localizados no Estado do Rio Grande do Sul e foram amostrados aos 3 anos de idade.

A amostragem foi realizada por meio de método não destrutivo, para isto a casca do tronco foi removida em dois pontos, 10 cm abaixo e 10 cm acima da altura

do peito (DAP) localizada a uma distância de 130 cm do solo. Com o auxílio de uma furadeira elétrica, o tronco foi perfurado em ambos os pontos e a serragem oriunda das perfurações foi coletada e homogeneizada.

Em seguida, as amostras de serragem de madeira foram secas em estufa com circulação forçada de ar com temperatura de $35 \pm 3^\circ\text{C}$, por um período mínimo de 72 horas, sendo posteriormente encaminhadas para moagem em moinho do tipo ciclone. Logo após, as amostras foram aclimatadas em ambiente controlado com temperatura de $22 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa do ar de $45 \pm 5\%$, por um período mínimo de 72 horas.

As amostras de madeira preparadas conforme descrito anteriormente foram analisadas em espectrofotômetro de infravermelho próximo (NIRS) Metrohm, modelo DS2500 Solid Analyzer. A análise espectral foi realizada na faixa de 1110 a 2500 nm, com resolução de 0,5 nm, consistindo em 2780 valores de absorção. Além disso, o espectro final foi determinado como sendo a média aritmética de 32 varreduras, realizadas mediante 4 varreduras em 8 pontos distintos da amostra.

Por fim, os espectros de cada uma das amostras foram armazenados em um único banco de dados, o qual foi analisado por meio do software The Unscrambler 10.5.1. Para isto, foi aplicado o pré-tratamento de 2^a derivada de Savitzky-Golay nos espectros, afim de reduzir o espalhamento não informativo, e em seguida foi realizada a análise de componentes principais (PCA).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A assinatura espectral das 1366 amostras analisadas via equipamento NIRS, compreendendo a faixa de 1110 a 2500 nm, demonstrou configuração típica do material madeira (Figura 1).

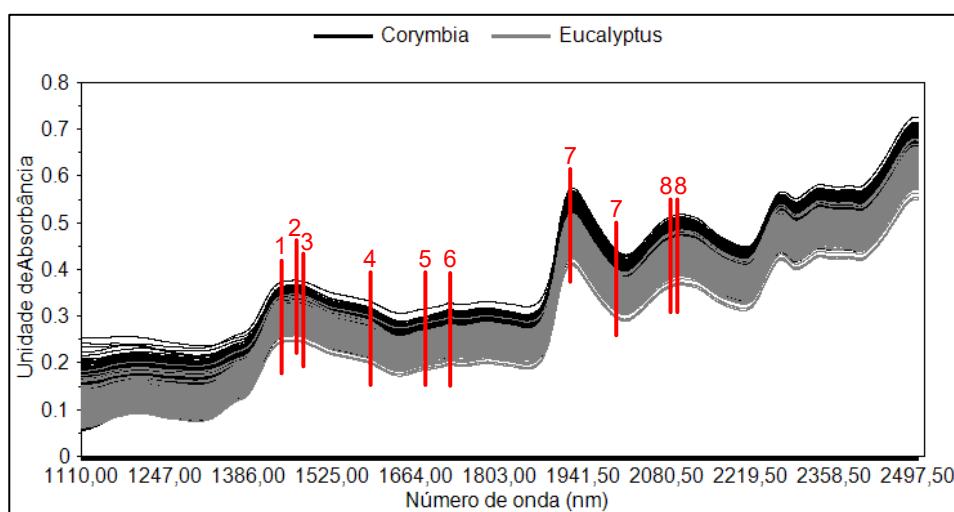


Figura 1 – Espectros obtidos de todas as amostras pertencentes ao estudo, em que os picos de absorção sinalizados estão especificados na Tabela 1.

Embora os gêneros *Corymbia* e *Eucalyptus* apresentem picos de absorbância localizados nas mesmas regiões do espectro, pode ser visualizado uma diferença na intensidade destes picos. BALDIN (2018) especificou as estruturas químicas responsáveis pelas bandas de absorbância destacadas anteriormente, conforme pode ser observado na Tabela 1. Levando em consideração tais especificações, percebe-se que as principais diferenças de intensidade de pico entre os gêneros em estudo são visualizadas nas regiões referentes a água, celulose e xilanas, o que indica que as madeiras de *Corymbia* e *Eucalyptus* podem apresentar

diferenças significativas em suas respectivas composições químicas, ainda que tenham sido cultivadas nos mesmos sítios e amostradas com a mesma idade.

Tabela 1 – Picos de absorção NIRS associados a componentes presentes em amostras de madeiras.

Número	Nº de onda (nm)	Estrutura responsável pela absorbância
1	1447	Grupos fenólicos OH
2	1471	Glucomananas
3	1476	Região semi-cristalina da celulose
4	1592	Região cristalina da celulose
5	1685	Esqueleto aromático da lignina
6	1724	Furanose ou piranose em hemiceluloses
7	1916 e 1980	Água
8	2092 e 2100	Celulose e xilanias

Fonte: BALDIN (2018).

Conforme pode ser observado na Figura 2, a análise de componentes principais (PCA) reforça a divisão de dois grupos de amostras, separando os gêneros em estudo.

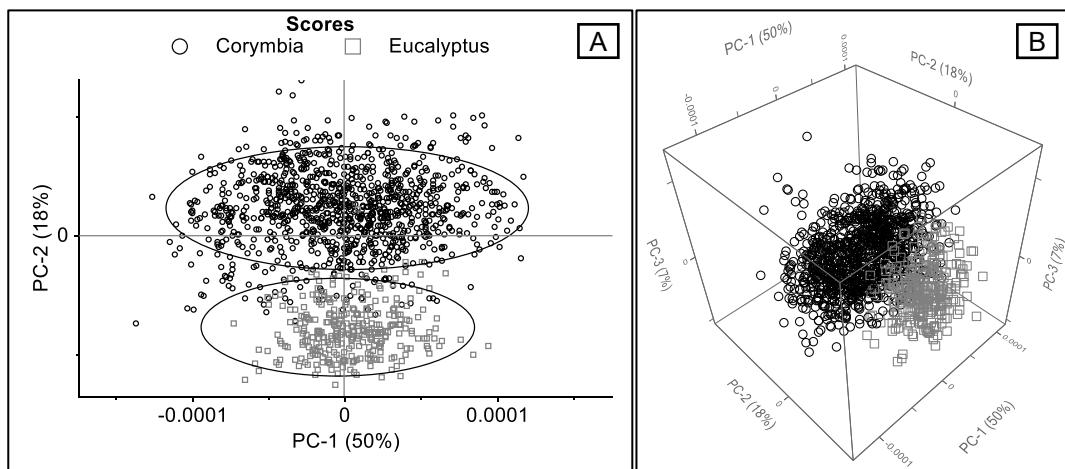


Figura 2 – PCA: (A) Gráfico de Scores das duas primeiras componentes principais; (B) Gráfico de Scores das três primeiras componentes principais.

De acordo com MILAGRES et al. (2013), modelos baseados em NIR proporcionam boas previsões apenas para amostras de madeira cuja variabilidade tenha sido contemplada no desenvolvimento da calibração deste modelo. Portanto, uma vez que a análise exploratória desenvolvida até aqui demonstra que as madeiras de *Corymbia* e de *Eucalyptus* apresentam assinaturas espectrais consideravelmente distintas, pode-se inferir que aplicar modelos calibrados com amostras de *Eucalyptus* para predizer características de amostras de *Corymbia*, como fora realizado por TRAN (2014), faz-se inviável no estudo em questão.

Para a construção de modelos generalistas, ou seja, que demonstrem capacidade preditiva para ambas as amostras distintas, torna-se necessário a incorporação de amostras que apresentem diversas características, conforme visualizado por MILAGRES et al. (2013). Entretanto, de acordo com PASQUINI (2003), o número recomendado para a calibração de modelos quantitativos para amostras naturais se encontra na faixa de 50 a 100 amostras, podendo aumentar no caso da complexidade e variabilidade que acompanham as amostras de

referência, o que pode tornar a construção de modelos generalistas inviável devido ao elevado investimento por trás do aumento de amostras na composição da calibração do modelo.

4. CONCLUSÕES

A análise exploratória aplicada aos espectros de infravermelho próximo das madeiras de *Corymbia* e *Eucalyptus* demonstra que tais gêneros apresentam assinaturas espectrais distintas e, consequentemente, características químicas diferentes. Diante disso, constata-se que, para se aplicar a tecnologia NIRS no controle de qualidade de tais madeiras, se faz necessário a construção de modelos de calibração específicos para cada gênero ou, ainda, o desenvolvimento de um único modelo que seja robusto o suficiente para abranger a variabilidade de ambos os gêneros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDIN, T. Avaliação da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage por espectroscopia no infravermelho próximo, com vistas à produção de celulose. 2018. 78 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria.

COSTA, M. M.; NOGUEIRA, T. A. P. C.; BITTENCOURT, R. C.; DA SILVA, W. H. M.; SILVA, L. S.; ALMEIDA, R. F.; SANTOS, G. A.; PENA, C. A. A. Assessment of industrial performance for market pulp production between eucalypt and *Corymbia* hybrids clones. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 46, n. 1, 2022.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual de 2021. IBÁ, São Paulo, 2021. Acessado em 10 jul. 2022. Online. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>

MILAGRES, F. R.; GOMIDE, J. L.; MAGATON, A.; NETO, H. F. Influência da idade na geração de modelos de espectroscopia NIR, para predição de propriedades da madeira de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1165-1173, 2013.

PASQUINI, C. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, Brasil, v. 14, n. 2, p. 198-219, 2003.

TRAN, D. H. NIR for Combined Selection in Hardwoods for Both Growth and Wood Properties. 2014. 155 p. Tese (Doutorado), Escola de Agricultura e Ciências Alimentares, The University of Queensland.

VALENTE, B. M. D. R. T. Avaliação de clones híbridos de *Corymbia* para crescimento, qualidade da madeira e carvão vegetal na região do Rio Doce. 2017. 95 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa.

WANG, Y.; XIANG, J.; TANG, Y.; CHEN, W.; XU, Y. A review of the application of near-infrared spectroscopy (NIRS) in forestry. **Applied Spectroscopy Reviews**, Londres, v. 57, n. 4, p. 300-317, 2021.