CONTEXTO DA APLICAÇÃO DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA A ANÁLISE DE PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA MADEIRA

NATHALIA FARIAS GOMES[1]; LAÍSE VERGARA NÖRNBERG[2]; OSMARINO PIRES DOS SANTOS[3]; NATHALIA PIMENTEL[3]; MARCO ANTÔNIO MUNIZ FERNANDES[4]; GABRIEL VALIM CARDOSO[5]

[1]Universidade Federal de Pelotas – nathalia.univ@gmail.com
[2]Universidade Federal de Pelotas – laisenornberg@gmail.com
[3]CMPC Celulose Riograndense – osmarino.santos@cmpcrs.com.br
[3]CMPC Celulose Riograndense – nathalia.pimentel@cmpcrs.com.br
[4]Universidade Federal de Pelotas – tstmarcofernandes@gmail.com
[5]Universidade Federal de Pelotas – gabriel.valim.cardoso@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a busca por tecnologias que facilitam a análise de amostras de forma rápida, eficiente e com a possibilidade de ser não destrutiva tem crescido. Fundamentado nisso, a espectroscopia na região do infravermelho tem sido estudada e aplicada para fins de análises industriais. De acordo com MARCELO (2013), a radiação infravermelha, que tem como comprimento de onda uma faixa entre 780 a 100.000 nm, inclui o espectro infravermelho que pode ser dividido em três regiões: infravermelho distante, infravermelho médio e infravermelho próximo da região do visível (780 a 2500 nm).

Devido ao estudo da espectroscopia no infravermelho próximo *(Near Infrared Spectroscopy*, NIRS) ser recente, ele só foi difundido ao ser associado com a estatística aplicada para dados químicos (quimiometria), possibilitando que a geração dos espectros se tornasse uma ferramenta de informação precisa e confiável para tomada de decisões (LOURES et. al, 2013).

A tecnologia NIRS, além de analisar a amostra de forma qualitativa e quantitativa, ainda pode ser aplicada em diferentes áreas, sendo capaz de incluir-se em indústrias farmacêuticas, agrárias e florestais, como por exemplo nas indústrias do setor madeireiro, principalmente de celulose e papel. O motivo pelo qual isto ocorre está relacionado com o fato desta ferramenta ser baseada principalmente na análise de moléculas que contenham ligações carbono-hidrogênio, enxofre-hidrogênio, nitrogênio-hidrogênio e oxigênio-hidrogênio (MUÑIZ et al., 2012; SCAFI, 2005).

No caso da indústria de celulose e papel, é de extrema relevância o conhecimento referente às propriedades físico-químicas da madeira, como teor de lignina, extrativos, cinzas, assim como o rendimento de celulose, o número *kappa*, densidade básica e teor de umidade, entre outros parâmetros; com o intuito de definir as possíveis formas de utilização e a qualidade da madeira utilizada na indústria. Para aplicar a tecnologia NIRS na análise dessas propriedades da madeira, é necessário caracterizar a amostra a partir de métodos convencionais, para então construir modelos de predição da qualidade da madeira por meio da relação entre estes resultados de laboratório e os espectros obtidos via espectrofotômetro (BALDIN, 2018).

A vista disso, o objetivo da presente pesquisa é buscar maior esclarecimento sobre aplicações dessa ferramenta. Especificamente na área industrial madeireira, apresentando brevemente resultados já discutidos por outros autores e incorporando uma revisão sobre esta tecnologia.

2. METODOLOGIA

Para embasar o presente trabalho, foi realizada uma extensa pesquisa na literatura disponível no meio digital, na qual foram utilizadas as seguintes palavras-chaves: infravermelho próximo, infravermelho, NIR+celulose. Os artigos, trabalhos, teses foram lidos e analisados, principalmente em seus resultados, para que assim fosse possível a revisão bibliográfica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o uso do NIRS na análise de propriedades físico-químicas da madeira, primeiramente é necessário realizar amostragens das madeiras. Estas são coletadas usando métodos não destrutivos em diferentes pontos dos troncos das árvores, geralmente localizados na altura do diâmetro a altura do peito (DAP). Após, as amostras na forma de serragem são acondicionadas em embalagens e climatizadas, ficando prontas para serem analisadas no equipamento. Além disso, são recolhidas amostras representativas do mesmo material para a realização de análise físico-química da madeira de acordo com os métodos convencionais (BALDIN, 2018; SOUSA, 2008).

BALDIN (2018) analisou serragem de 1.219 árvores, sendo 1.190 de *Eucalyptus benthamii*, 14 de *Eucalyptus dunnii*, 6 de *Eucalyptus grandis* e 9 de *Eucalyptus saligna*, para que, a partir de modelos de calibração já desenvolvidos anteriormente, selecionar 87 destas árvores para executar a análise através dos métodos convencionais. A coleta para a análise no equipamento NIR foi realizada de modo não destrutivo através de uma furadeira em quatro pontos diferentes na altura do diâmetro a altura do peito (DAP), e em seguida foram colocadas em sacos de papel e foram climatizadas. Em relação a amostragem para a análise química da madeira de forma convencional, foram coletados toretes de aproximadamente 70 cm de comprimento, o mais próximo da altura em que havia coletado a serragem no DAP. A análise química consistiu em teor de cinzas, extrativos, lignina Klason, lignina total e holocelulose. Para a análise física foram determinadas a densidade básica da madeira e o rendimento total em celulose.

Já SOUSA (2008), diferenciando-se de BALDIN (2018), utilizou o método destrutivo para o recolhimento de 3.369 amostras, entretanto o autor destaca que a vantagem do seu estudo seria a grande precisão na obtenção dos espectros, sendo necessárias poucas amostras a serem analisadas de forma convencional para tal precisão. As propriedades analisadas por SOUSA (2008) foram as seguintes: teor de lignina Klason (solúvel e insolúvel), densidade básica e extrativos solúveis em álcool.

Em relação a calibração do NIRS, após realizar a leitura dos espectros, obtida por meio da exposição das serragens à radiação eletromagnética na região do infravermelho próximo à luz visível, bem como realizar análises de laboratório

referentes às mesmas amostras, deve-se efetuar a calibração do equipamento mediante a construção de modelos preditivos que associam a variabilidade do espectro com as informações sobre as características da madeira. Para isto, são utilizadas diferentes análises estatísticas, onde a mais usual para o material madeira é a análise de regressão através dos Mínimos Quadrados Parciais (PLS) que consiste em cruzar os espectros, reduzindo significativamente as variáveis. Outra análise concomitantemente utilizada à PLS é a validação cruzada, que consiste em testar um grupo de amostras em relação ao outro, buscando validar o modelo que está sendo criado (BALDIN, 2018; SOUSA, 2008).

Após a criação do modelo base, pode-se realizar a predição das características do material, recolhendo-se amostras de árvores, preferencialmente de modo não destrutivo, nas quais se pretende analisar a qualidade da madeira. O material coletado deve ser analisado por meio do equipamento NIRS e a leitura é correlacionada com o modelo base, sendo possível assim predizer as características físico-químicas (BALDIN, 2018; GALLO, 2018).

SOUSA (2008) que buscava desenvolver modelos base para uma predição assertiva das propriedades da madeira de *Eucalyptus*, citou que obteve sucesso ao usar diferentes espécies para a calibração da tecnologia NIRS.

BALDIN (2018), por sua vez, que também visava construir modelos voltados para análise da madeira de *Eucalyptus*, obteve resultados satisfatórios com a predição das amostras utilizando o modelo desenvolvido. A autora cita que os resultados obtidos através das análises das amostras utilizando NIRS serão de grande utilidade para as decisões do melhoramento genético florestal, podendo predizer os valores de rendimento em polpa, teor de lignina e entre outros parâmetros que interferem diretamente na produção de polpa celulósica, influenciando a qualidade final do produto.

4. CONCLUSÕES

Considerando os fatos apontados, reconhece-se que a utilização de NIRS no setor madeireiro, especificamente na indústria de celulose e papel, proporciona diversas vantagens sobre os métodos convencionais, visto que esta tecnologia, após o desenvolvimento do modelo de calibração, proporciona menor tempo e custo financeiro para caracterização da qualidade da madeira.

Além disso, destaca-se ainda que o método em estudo é de grande versatilidade, pois possui a opção de ser empregado sem necessitar da derrubada da árvore (análise por meio de amostragem não destrutiva), assim como da possibilidade de aplicação em qualquer outra etapa do processo produtivo, como por exemplo na colheita, transporte e processos industriais.

Desta forma, fica esclarecido que apesar da tecnologia necessitar de um modelo de calibração, que depende de análises laboratoriais convencionais iniciais, o baixo custo e a versatilidade do uso desta ferramenta aumenta o interesse de adotá-la no setor madeireiro, a exemplo da indústria de celulose e papel.

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. 77f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria.

GALLO, R. **Espectroscopia NIR na seleção de clones de *Eucalyptus dunnii* para produção de celulose**. 2018. 115f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) - Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa.

LOURES, M.D.A.; MORENZ; M.J.F. **Espectroscopia no infravermelho próximo.** Projeto Física e Cidadania - UFJF, Juiz de Fora, 2 abr. 2013. Acesso em: 14 jul. 2021. Online. Disponível em: <https://www.ufjf.br/fisicaecidadania/ciencia-uma-construcao-humana/a-ciencia-nas-profissoes/espectroscopia_infravermelho/>

MARCELO, C.A.M. **Identificação da procedência geográfica da erva mate (*Ilex paraguariensis*) mediante análise elementar, reflexão no infravermelho próximo e quimiometria**. 2013. 103f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MUÑIZ, G.I.B.; MAGALHÃES W.L.E.; CARNEIRO, M.E.; VIANA L.C. Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.22, n.4, p.865-875, 2012.

SCAFI, S.H.F. **Sistema de Monitoramento em Tempo Real de Destilações De Petróleo e Derivados Empregando a Espectroscopia no Infravermelho Próximo**. 2005. 214f. Tese (Doutorado em Química) - Programa de Pós-graduação em Química, Universidade Estadual de Campinas.

SOUSA, L.C. **Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição de características da madeira para produção de celulose**. 2008. 109f. Tese (Doutorado em Manejo Florestal) - Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa.