

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA MADEIRA DE *EUCALYPTUS BENTHAMII* POR MEIO DE ESPECTROSCOPIA NIR

Autores*: Estopa, Regiane Abjaud¹;
Milagres, Reis Flaviana¹;
Gomes, Fernando José Borges²;
Amaral, Carlos Augusto Soares³

¹Pesquisadores do Setor de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação – Klabin – Brasil

²Professor – Universidade Federal de Viçosa (UFV) – Brasil

³Gerente Corporativo de Pesquisa Desenvolvimento e Inovação – Klabin – Brasil

RESUMO

O objetivo deste estudo foi caracterizar quimicamente a madeira de *Eucalyptus benthamii* e avaliar a técnica da espectroscopia de infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy – NIRS*) para a predição dos teores de carboidratos totais, lignina e extrativos. Para a caracterização da madeira e construção dos modelos NIRS de *E. benthamii*, foi utilizado um teste de progênie, no qual se avaliaram 481 árvores de *E. benthamii*, com 4 anos de idade no município de Otacílio Costa (SC). As amostras foram coletadas por extração de baguetas à altura de 1,30 m e utilizadas para caracterização química em laboratório e leitura no equipamento de NIR. Para a calibração do modelo, selecionaram-se 350 amostras; para a validação externa, reservaram-se 131. A madeira do *E. benthamii* apresentou-se adequada para a produção de celulose, dentro dos padrões exigidos para o processo. As características químicas da madeira indicavam modelos de predição com boa capacidade preditiva, com baixos índices de erro associado à tecnologia NIRS em comparação às determinações realizadas em laboratório. O modelo para predição da lignina total apresentou coeficiente de determinação 0,64 e 0,68 de RMSEP (Erro Quadrático Médio de Predição). Para extrativos, o coeficiente de determinação predito foi 0,65 e de RMSEP 0,34; para carboidratos totais, o coeficiente de determinação predito foi 0,53 e de RMSEP 0,76. Dessa forma, a tecnologia NIRS revela-se potencial ferramenta para o programa de melhoramento da espécie de *E. benthamii*, tornando-se possível a avaliação precoce e não destrutiva de características físico-químicas importantes para o processo de produção de polpa celulósica.

Palavras-chave: *Eucalyptus benthamii*, NIRS, características químicas.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como referência mundial na silvicultura do eucalipto, mérito devido aos grandes avanços no melhoramento genético tradicional, bem como às melhores práticas de manejo silviculturais desenvolvidas. A grande importância da espécie do *Eucalyptus benthamii* no Sul do Brasil deve-se à sua alta resistência ao frio, além da boa adaptação e do crescimento volumétrico. O melhoramento genético dessa espécie é bem recente, e as estratégias usadas atualmente visam à seleção de híbridos intraespecíficos e híbridos multiespécies, ou seja, um indivíduo híbrido que reúna várias características importantes para aumentar a produtividade, a resistência ao frio e, principalmente, a qualidade da madeira, adequada para a produção de polpa celulósica.

Como o gênero eucalipto apresenta ampla diversidade de espécies com diferenciados potenciais produtivos, o conhecimento da qualidade da madeira é de grande importância para definir o uso de cada espécie. O *E. benthamii* possui base genética restrita e pouco estudada. Assim, faz-se necessário o maior conhecimento de características da madeira dessa espécie para a definição e estudo de sua variabilidade e aplicação nos programas de melhoramento genético.

A determinação da qualidade da madeira em populações de melhoramento ainda é um desafio, pois, em alguns casos, não se pode abater determinada árvore em razão de seu valor genético no programa de melhoramento. Assim, são necessários métodos de determinação não destrutivos que possibilitem a retirada de uma pequena amostra da madeira, sem comprometer a sobrevivência do indivíduo. Outro fator importante: a idade de avaliação da madeira, visto que, para determinar as propriedades da madeira, faz-se necessário que esteja em idade de corte, o que dificulta o tempo de seleção e o avanço de gerações. Por essa razão, convém avaliá-la em idade mínima ótima, que tenha boa correlação com a qualidade

da madeira aos sete anos, de forma que o processo viabilize um programa de melhoramento precoce (SILVA JUNIOR *et al.*, 1997).

Diante dessa necessidade de análises precoces e não destrutivas, a técnica da espectroscopia de infravermelho próximo (Near Infrared Spectroscopy – NIRS) tem se mostrado promissora, sendo também utilizada nas áreas de pesquisa do setor florestal, e adotada para avaliar amostras que contenham em sua estrutura química as ligações C-H, O-H, N-H, S-H ou C=O (PASQUINI, 2003). A partir da interação da luz com a amostra, analisam-se as vibrações das ligações químicas de seus constituintes, ou seja, a técnica baseia-se na espectroscopia vibracional, que monitora as mudanças nas vibrações moleculares intimamente associadas a diferentes estruturas moleculares. Para que essa tecnologia seja usada para quantificar determinada característica da amostra, obtêm-se dados de análises laboratoriais da respectiva característica para gerar as referências, que serão utilizadas para a construção de um modelo de predição. O objetivo deste trabalho, contudo, foi caracterizar a madeira de *E. benthamii* de forma não destrutiva e avaliar a técnica de espectroscopia NIR na determinação dos teores de carboidratos, lignina e extrativos.

MÉTODOS

Material genético

Para a caracterização da madeira e a construção dos modelos NIRS de *E. benthamii*, foi utilizado um teste de progênie de 81 matrizes de *E. benthamii* num total de 1.620 indivíduos com 4 anos de idade localizado no município de Otacilio Costa (SC). Para essa seleção, inicialmente houve a mensuração da altura e do Diâmetro à Altura do Peito (DAP) de cada árvore. Foi, então, realizada a seleção genética de 780 indivíduos para a característica do volume de madeira. A coleta não destrutiva das 780 amostras foi feita com um trado de incremento de 12 mm de diâmetro para a retirada de uma bagueta à altura do DAP. As baguetas foram secas ao ar para facilitar a operação de produção de serragem e, em seguida, armazenadas em sacos de papel. Posteriormente foram processadas em serragem, utilizando-se moinho de facas tipo Wiley, passaram por moinho ciclone, para uniformização da granulometria e leituras NIRS, e encaminhadas para as análises químicas no laboratório de Celulose e Papel, da Universidade Federal de Viçosa (UFV). As amostras foram armazenadas por no mínimo 48 horas, em local com umidade e temperatura controladas, para coleta dos espectros NIR. Para obtenção dos espectros, a serragem foi colocada manualmente na unidade de leitura do espectrofotômetro, calibrado com os padrões internos de referência. Após a seleção dos espectros NIRS, determinou-se a coleta de 481 amostras.

Leituras dos espectros

Os espectros na região do NIRS foram obtidos com o equipamento Bruker – modelo Tango. Os espectros foram coletados com resolução de 16 cm⁻¹ entre os números de onda de 4.000 a 10.000 cm⁻¹, com varredura de 32 *scans* no modo de refletância difusa. Foram efetuadas duas leituras por amostra, obtendo-se um total de 962 espectros.

Análises químicas da madeira

As amostras foram analisadas quimicamente com a finalidade de estabelecer características tecnológicas para a produção de polpa celulósica, com base no teor de lignina, extrativos e carboidratos. As serragens já processadas foram classificadas em peneiras de malhas 40 e 60 mesh, acondicionadas em sala com umidade relativa e temperatura constantes (50 % e 23 °C, respectivamente) e, posteriormente, armazenadas em frascos hermeticamente fechados. As análises químicas foram realizadas de acordo com as normas apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Análises químicas da madeira e normas utilizadas para determinação

Características analisadas	Norma
Extrativos – solubilidade em acetona	Tappi T280 pm-99 (2000)
Lignina solúvel	Goldschmid (1971)
Lignina insolúvel	Gomide e Demuner (1986)
Análise de carboidratos	Wallis et al. (1996)

Calibração do modelo

Por meio do algoritmo de Kennard e Stone (1969), as amostras foram separadas em dois conjuntos: 350 para calibração e 131 para validação externa. Os valores de refletância, coletados nos diversos números de onda pelo espectrofotômetro NIR, foram associados às concentrações dos constituintes químicos das amostras.

Para calibração do modelo, foi usado o programa The Unscrambler (CAMO AS, NORWAY), na versão 10.2. Foi realizada a análise de regressão por Mínimos Quadrados Parciais (*Partial Least Squares – PLS*) para estabelecer a relação entre as informações contidas nos espectros e as características da madeira.

Para o desenvolvimento dos modelos de calibração para predição, adotaram-se os seguintes critérios de seleção: coeficiente de determinação (R²), obtido pelo coeficiente de correlação cruzada do modelo (R); erros quadráticos médios da validação cruzada (RMSECV) e da predição (RMSEP), com valores próximos de zero, e número de fatores PLS com o menor valor possível, porém adequado a cada modelo. Como exemplo, o RMSECV foi calculado de acordo com a equação a seguir:

$$RMSECV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$$

Onde: y_i é o valor conhecido do constituinte de interesse da amostra i ; \hat{y}_i é o valor estimado do constituinte de interesse da amostra i , estimado usando a calibração;

n é o número de amostras usadas para o desenvolvimento da calibração.

Para as calibrações, foram utilizados os espectros originais das

amostras e também tratamentos matemáticos espectrais de primeira derivada, pelo método Savitzky-Golay (SAVITZKY; GOLAY, 1964). Amostras visivelmente diferentes do restante das amostras, com alto *leverage* e alta variância residual, foram detectadas em análises gráficas como *outliers* e excluídas dos modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização silvicultural

O teste de progênie deste estudo foi mensurado aos 4 anos de idade para características silviculturais, apresentando volume médio individual de 0.1 m³, que está de acordo com a produtividade média para a idade em áreas com ocorrência de geada. Nessa mesma região, plantios clonais em escala operacional têm produzido 42 m³/ha/ano aos 7 anos de idade, acima da média nacional, atualmente de 39 m³/ha/ano (IBÁ, 2015).

Caracterização química

Foram determinadas as propriedades químicas da madeira conforme apresentado na Tabela 2. Os valores encontrados para lignina e extrativos são superiores em relação a *Eucalyptus urophylla* versus *E. grandis* aos 3 anos de idade, conforme o estudo realizado por Sousa (2008), apresentado na Tabela 3. Essas diferenças, porém, são esperadas por tratar-se de espécies diferentes no gênero eucalipto.

A porcentagem de carboidratos totais da madeira foi em média de 61,7 % (Tabela 2). Os teores dos açúcares que somaram os carboidratos totais estão próximos aos encontrados em *E. benthamii* por Alves (2010) e inferiores aos valores de *E. nitens*, *E. globulus*, *E. grandis* e *E. urophylla* (MOKFIENSKI, 2004). Tais comparações, contudo, são meramente qualitativas, visto que os estudos não foram feitos em mesma idade e ambiente.

Estudos com árvores de *Eucalyptus* spp. de até 7 anos mostram que o teor da lignina é propenso a diminuir com a idade, pois espécies mais jovens geralmente apresentam maior proporção de madeira juvenil, mais rica em lignina que a madeira madura. A mesma tendência ocorre com o teor de extrativos, que diminuem até certa idade, estabilizam e, depois, aumentam com o avanço do tempo. Os teores de glicanas e, conseqüentemente, de celulose tenderam a aumentar com o passar do tempo. O teor de xilanas, bem como dos demais componentes da hemicelulose, tende a diminuir com o avanço da idade da madeira. (VITAL et al., 1984; TRUGILHO et al., 1996; MORAIS, 2008).

O teor de extrativos da madeira foi em média de 2,46 % (Tabela 2), resultado semelhante ao encontrado por Alves (2010), de 2,45 %, e inferior aos 3,2 % apontados por Pereira (2001), ambos para *E. benthamii*. Esses valores são mais altos que os de *E. urophylla* x *E. grandis* e *E. grandis* encontrados no estudo de Gouvêa et al. (2009), com variação de 0,70 % a 1,71 % no teor de extrativos das madeiras. Para Gomide et al. (2010), porém, trabalhando com 75

Tabela 2: Caracterização química da madeira de uma população de 4 anos de *Eucalyptus benthamii*

Características	Média	LI	LS	Desvio padrão	CV (%)
*Carboidratos totais (%)	61,7	57,7	66,4	1,1	1,9
Extrativos – solubilidade em acetona (%)	2,4	0,6	5,3	0,7	31,5
Lignina Klason insolúvel (%)	27,0	21,5	31,2	1,2	4,3
Lignina solúvel (%)	4,4	2,7	5,8	0,4	8,9
Lignina total (%)	31,5	26,8	35,5	1,2	3,6

*Carboidratos totais (%): soma dos polímeros glicanas, xilanas, arabinanas, galactanas e mananas

LI – Limite Inferior

LS – Limite Superior

CV – Coeficiente de Variação

Tabela 3: Caracterização química da madeira de 100 árvores de *Eucalyptus urophylla* versus *E. grandis* aos 3 anos

Parâmetros	Lignina total (%)	Extrativos (%)
Média	27,9	1,5
Máximo	30,9	2,4
Mínimo	24,8	0,8
*CV (%)	4,7	22,6

*CV: Coeficiente de Variação

Fonte: SOUSA, 2008.

clones comerciais aos sete anos dessas mesmas espécies, os valores de extrativos variaram entre 1,24 % e 7,29 %.

O teor de lignina insolúvel da madeira foi em média 27,0 %, e de lignina solúvel 4,4 %, somando o teor de lignina total – 31,5 % (Tabela 2). Tais valores estão próximos aos encontrados na literatura, entre 27,5 % e 30,9 %, para 75 clones de *Eucalyptus spp.* de diferentes regiões do Brasil, aos sete anos (GOMIDE *et. al.*, 2010). Para Gouvêa *et al.* (2009), o teor de lignina variou de 27,9 % a 32,2 % para seis clones avaliados de *E. grandis* e *E. urophylla versus E. grandis*.

Os resultados apresentados anteriormente para *E. benthamii* mostram que existe variabilidade para as características de lignina, extrativos e carboidratos, e que os valores encontrados para essas características estão adequados à seleção de clones para a produção de polpa celulósica, de acordo com trabalho publicado sobre clones nacionais de eucalipto das indústrias de celulose e papel (GOMIDE *et al.*, 2010).

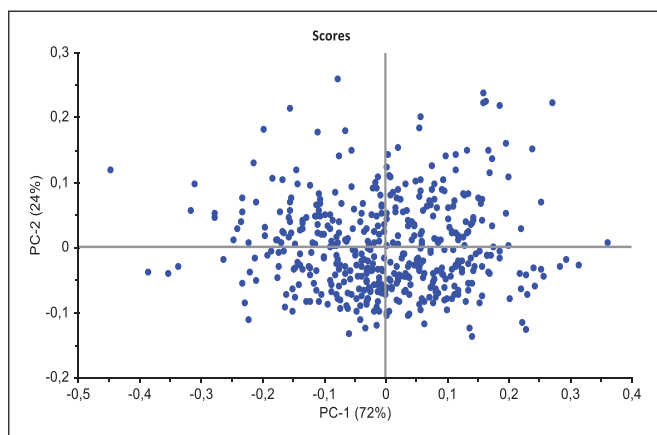


Figura 1: Análise de componentes principais de todas as amostras usadas para calibração e validação externa

Calibração dos modelos NIRS

Dos 481 espectros coletados nas amostras de serragens oriundas de baguetas de DAP, 350 amostras foram selecionadas por meio do algoritmo de Kennard e Stone (1969) para a calibração do modelo de regressão multivariada, e 131 amostras foram reservadas para a validação externa. O gráfico de *scores* na Figura 1 mostra a variabilidade espectral do experimento por meio da análise de componentes principais (PCA). Pode-se constatar que a primeira componente principal (PC1) explica 72% da variabilidade das amostras, e a segunda (PC2) 24% da variação dos dados. As duas componentes principais justificam 96% de variação dos dados espectrais das amostras.

Análises dos espectros da madeira

A Figura 2 ilustra a primeira derivada dos espectros tratados matematicamente, obtidos durante as leituras no equipamento NIRS, entre os comprimentos de onda na faixa de 4.000 a 10.000 cm^{-1} , sendo apresentados os 350 espectros das 481 amostras. Cada espectro foi analisado para correlacionar com as variáveis de qualidade da madeira, obtidas a partir de baguetas de DAP.

Lignina total

O modelo para o teor de lignina total foi calibrado utilizando-se seis fatores pelo método PLS (Figura 3), no qual se obteve o coeficiente de determinação 0,68 e de RMSEC 0,64. A validação cruzada resultou em 20 grupos e coeficiente de determinação (R^2) 0,64 e de RMSECV 0,68 (Tabela 4). Para a validação externa, foram empregadas 131 amostras que não participaram da calibração do modelo, com coeficiente de determinação 0,53 e de RMSEP 0,73%. A correlação entre os dados preditos e de referência foi 0,74, sendo utilizadas 131 amostras para a predição do teor de lignina via NIRS e sem *outliers* nesse caso.

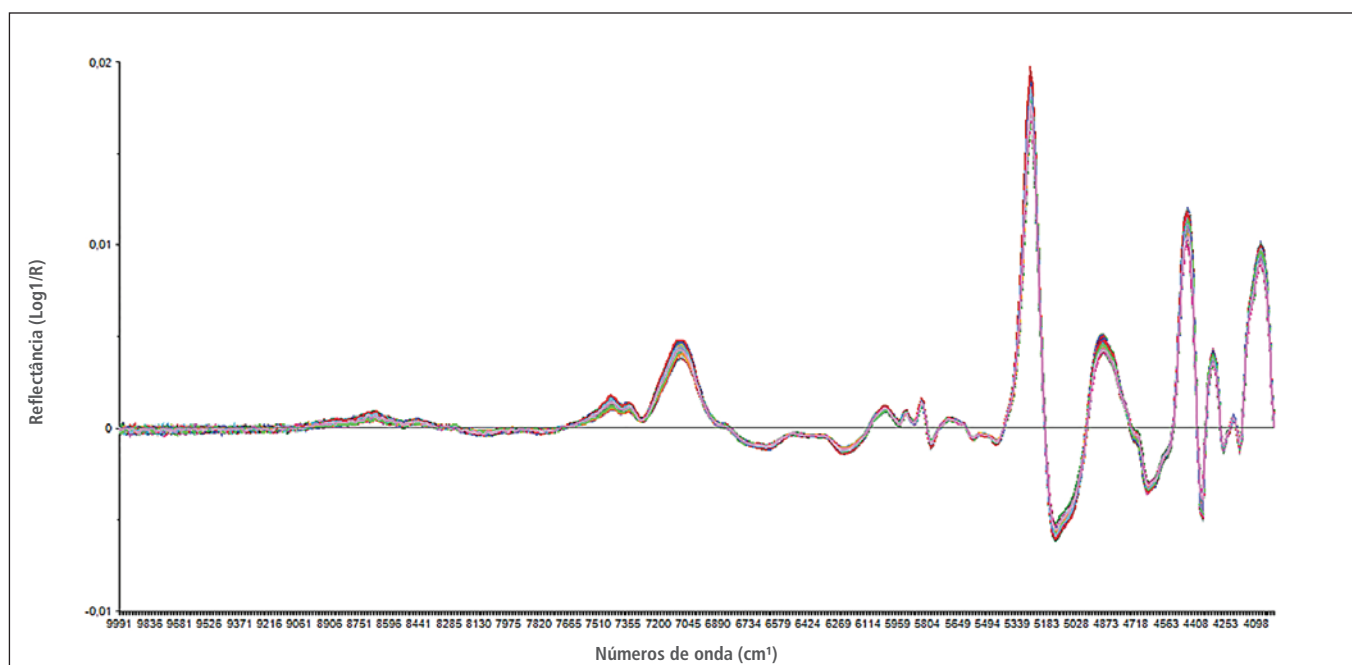


Figura 2: Derivada de primeira ordem dos 350 espectros de infravermelho próximo – NIRS

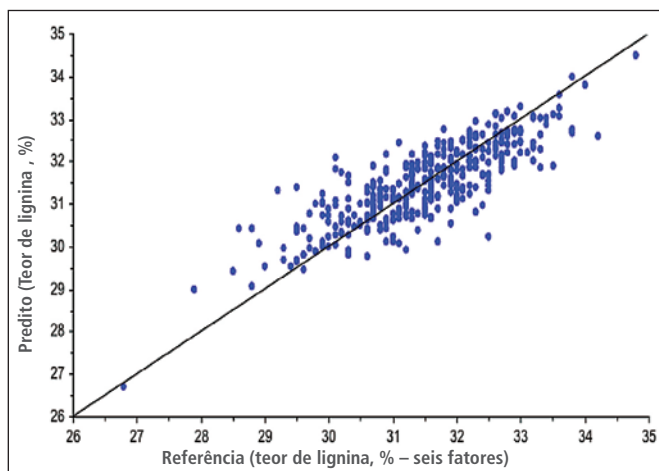


Figura 3: Resultado do modelo de predição para teor de lignina total de *E. benthamii*

Milagres (2009) encontrou coeficiente de determinação 0,67 e de RMSEP 0,64 para o ajuste do modelo do teor de lignina total, sendo que foram utilizadas 62 árvores de híbridos *E. globulus*, e 0,89 de correlação entre os dados preditos por meio de espectroscopia NIR e os valores de referência determinados em laboratório. Para *E. urophylla*, trabalhando com 60 amostras para calibração do modelo, Hein (2008) obteve coeficiente de determinação de 0,89 e erro padrão de calibração de 0,42 % para o ajuste do modelo do teor de lignina total, sendo coeficiente de determinação 0,84 e erro de 0,5 % para validação cruzada.

Por sua vez, Fantuzzi Neto (2012), trabalhando com *Eucalyptus spp.*, obteve resultados melhores para do teor de lignina com coeficiente de determinação para calibração de 0,95 e erro 0,4 %, para a predição foram encontrados coeficiente de determinação predito de 0,71 e erro padrão de predição 1,0 %. Nesse trabalho, foram usadas 50 amostras para calibração e 24 para validação externa. A caracterização química da madeira foi realizada por métodos destrutivos aos sete anos de idade. Os resultados encontrados para predição da lignina são próximos aos encontrados na literatura para o gênero *Eucalyptus*, o que demonstra potencial para uso do modelo de predição de lignina aqui desenvolvido.

Tabela 4: Resultado dos parâmetros da calibração de modelos de predição NIRS para teor de lignina total (%)

Lignina	Número de amostras	R ²	RMSE
Calibração	350	0,68	0,64
Validação cruzada	20 grupos	0,64	0,68
Validação externa	131 (0 outliers)	0,53	0,73

R²: coeficiente de determinação; RMSE: erro quadrático médio

Extrativos

O modelo para o teor de extrativos foi calibrado utilizando-se sete fatores pelo método de regressão PLS (Figura 4), atingindo-se o coeficiente de determinação 0,82 e de RMSEC 0,33 %. Para a validação cruzada, empregaram-se 20 grupos, resultando em coeficiente de determinação 0,80 e de RMSECV 0,35 % (Tabela 5). Para a validação externa foram utilizadas 131 amostras que não participaram da calibração do modelo, com coeficiente de determinação predito 0,65 e de RMSEP 0,34 %. A correlação entre os dados preditos e de referência foi 0,81, sendo usadas 131 amostras para a predição NIRS.

O resultado do modelo de espectroscopia NIR para extrativos apresentado na Figura 4, foi o que apresentou os melhores parâmetros para predição nesse trabalho, sendo que os coeficientes estão em conformidade com a maioria dos obtidos na literatura. Fantuzzi Neto (2012) encontrou coeficiente de determinação 0,90 e erro padrão de calibração 0,4 %, coeficiente de determinação de predição 0,84 e erro padrão de predição 0,5 %. Hein (2008), trabalhando com *E. urophylla*, obteve para serragem fina valor de coeficiente de determinação 0,94 e erro padrão de calibração 0,52 %; para validação cruzada, apontou coeficiente de determinação 0,90 e erro 1,1 %. Por outro lado, Sousa (2008) encontrou baixa correlação (0,45) e RMSECV de 0,33 % para *Eucalyptus spp.*

Todos os trabalhos de calibração via espectroscopia NIR sustentam que o presente modelo desenvolvido para extrativos está adequado à predição desse componente químico da madeira, pois o RMSEP (0,34 %) está abaixo do encontrado em outros trabalhos, além de apresentar boa correlação entre o valor predito e os dados de referência (0,81).

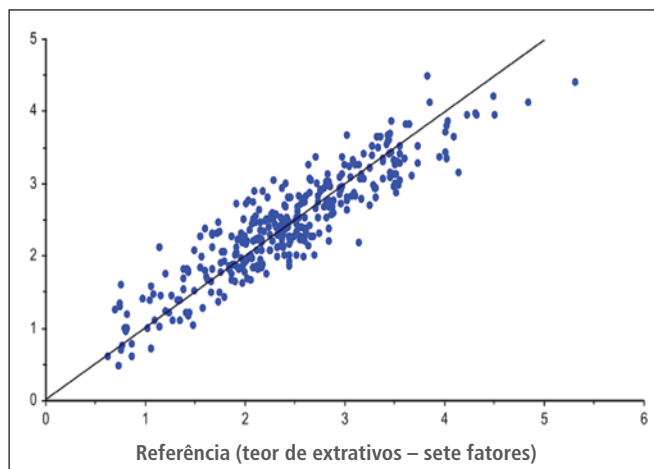


Figura 4: Resultados do modelo de predição para o teor de extrativos da madeira de *E. benthamii*

Tabela 5: Resultados dos parâmetros da calibração de modelos de predição NIRS para teor de extrativos (%)

Extrativos	Número de amostras	R ²	RMSE
Calibração	350 (344)	0,82	0,33
Validação cruzada	20 grupos	0,80	0,35
Validação externa	131 (0 outlier)	0,65	0,34

R²: coeficiente de determinação; RMSE: erro quadrático médio

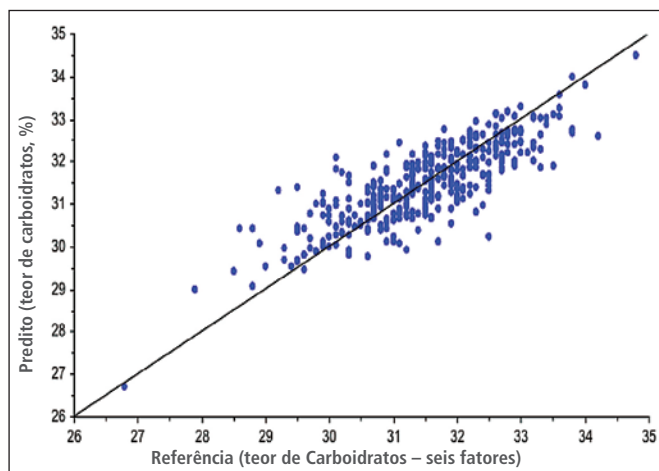


Figura 5: Resultados do modelo de predição do teor de carboidratos totais da madeira de *E. benthamii*

Carboidratos totais

O modelo de carboidratos totais foi calibrado utilizando-se 6 fatores pelo método de regressão PLS (Figura 5), atingindo coeficiente de determinação 0,65 e de RMSEC 0,66 %; a validação cruzada resultou em coeficiente de determinação 0,69 e de RMSECV 0,61 % (Tabela 6). Para a validação externa do modelo foram empregadas 131 amostras que não participaram da calibração do modelo, sendo o coeficiente de determinação de predição 0,53 e de RMSEP 0,76 %. A correlação entre os dados preditos e de referência foi 0,73, sendo utilizadas 131 amostras para a predição NIR.

Os valores encontrados nesse estudo são estatisticamente aceitáveis, porém não há na literatura modelo com o somatório dos carboidratos, mas somente valores isolados de cada açúcar, o que mostra que os valores estão dentro da normalidade. Viana (2008), trabalhando com *Eucalyptus spp.*, construiu um modelo para a calibração de teor

de xilanas e encontrou coeficiente de correlação da validação cruzada de 0,72 a 0,95 e erro padrão da validação cruzada variando de 0,12 a 0,37 %. Milagres (2013) encontrou valores de coeficientes de determinação de calibração de 0,59 e 0,64 e erro padrão de calibração de 0,58 e 0,92 para xilanas e glicanas, respectivamente. Nesse estudo, porém, o modelo de predição para carboidratos totais apresentou baixos erros quadráticos médios e boa correlação entre os valores preditos e os de referência, indicando a viabilidade de sua utilização.

Tabela 6: Resultados dos parâmetros da calibração do modelo de predição NIRS para o teor de carboidratos totais

Carboidratos totais	Número de amostras	R ²	RMSE
Calibração	350 (344)	0,65	0,66
Validação	20 grupos	0,69	0,61
Validação externa	131 (0 outliers)	0,53	0,76

R²: coeficiente de determinação

RMSE: erro quadrático médio

CONCLUSÕES

As características químicas da madeira para os teores de lignina, extrativos e carboidratos totais apresentaram modelos de predição com boa capacidade preditiva e baixo erro, indicando sua utilização para o programa de melhoramento de *E. benthamii*.

A tecnologia NIRS apresenta-se como potencial ferramenta para o programa de melhoramento genético de *E. benthamii*, tornando-se possível a avaliação precoce e não destrutiva de características químicas importantes para o processo de produção de polpa celulósica, além da redução de custos com análises químicas, que poderão ser otimizadas. ■

REFERENCES

- ALVES, I.C.N. **Potencial da madeira do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage visando à produção de celulose Kraft**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, MG.
- FANTUZZI NETO, H. **Qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose Kraft**. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa - MG.
- GOLDSCHMID, O. **Ultraviolet spectra**. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Ed. Lignins. New York: Wiley-Interscience, 1971. p. 241-266.
- GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.
- GOMIDE, J. L.; Fantuzzi Neto, H.; Regazzi, A. J. Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose kraft. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 34, n. 2, p. 339-344, 2010.
- GOUVÊA A. F. G.; TRUGILO, P. F.; COLODETTE, J. L.; LIMA, J. T.; SILVA, J.R.M.; GOMIDE, J. L. Avaliação da madeira e da polpação kraft em clones de eucaliptos. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 33, n. 6, p. 1175-1185, 2009.

7. HEIN, P. R. G. **Avaliação das propriedades da madeira de *Eucalyptus urophylla* por meio da espectroscopia no infravermelho próximo**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.
8. IBÁ. **Indústria Brasileira de Árvores**, ano base 2014. Brasília (DF): IBÁ, 2015.
9. KENNARD, R. W.; STONE, L. A. Computer aided design of experiments. **Technometrics**, v. 11, n. 1, p.137-148, 1969.
10. MILAGRES, F. R. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG.
11. MILAGRES, F. R. **Espectroscopia de infravermelho próximo para predição de propriedade da madeira e híbridos de *Eucalyptus spp.*** 2013. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa(UFV), MG.
12. MOKFIENSKI, A. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus spp.* no rendimento, branqueabilidade e qualidade da polpa Kraft**. 2004. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG.
13. MORAES, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade e, branqueabilidade e propriedades físicas da polpa**. 2008. Dissertação (Mestre em Agroquímica) Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa (MG).
14. PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p.198-219, 2003.
15. PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; SHIMIZU, J. Y. **Características físicas, químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2001. 4 p. (Embrapa Florestas – Circular Técnica, 50).
16. SAVITZKY, A.; GOLAY, M. J. E. Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures. **Analytical Chemistry**, v. 36, n. 8, p.1627-1639, 1964.
17. SILVA JÚNIOR, F. G.; BRAGA, E. P. **Potencialidade da seleção precoce de *Eucalyptus urophylla* em função da qualidade da madeira destinada à produção de celulose**. São Paulo (SP): ABTCP, Out. 1997.
18. SOUSA, L. C. **Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição de caracteres da madeira para produção de celulose**. 2008. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa (UFV), MG.
19. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY-TAPPI. **Tappi T280 pm-99 standard – Acetone extractives of wood and pulp**. USA: TAPPI Press, 2000.
20. TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.
21. VIANA, L. C; TRUGILHO, P. F.; HEIN, P. R. G; SILVA, J. M.; LIMA, J. T. Modelos de calibração e a espectroscopia no infravermelho próximo para predição de propriedades químicas e da densidade da madeira de *Eucalyptus*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20. n. 2, p. 367-376, abr.-jun., 2010.
22. VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado na região de serrado de Minas Gerais. Brasília (DF), **IBDF**, p. 41-52, ago. 1984.
23. WALLIS, A. F. A.; WEARNE, R. H.; WRIGHT, P. J. Analytical characteristics of plantation eucalypt woods relating to Kraft pulp yields. **Appita Journal**, v. 49, n. 6, p.427-432, 1996.