

Recebido: 27-10-2015 Aceito: 17-08-2016

Uso do NIR na discriminação de árvores em diferentes adubações com base nos espectros da madeira e da casca

Silvana Nisgoski¹, Umberto Klock¹, Francielli Rodrigues Ribeiro Batista¹, Felipe Zatt Schardosin¹, Rangel Consalter², Antônio Carlos Vargas Motta²

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil.

² Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, Brasil.

RESUMO As espécies do gênero *Pinus* respondem por 23,4% das florestas plantadas no Brasil, e o padrão de adubação no plantio leva a diferentes taxas de crescimento e alterações nas características da madeira que podem determinar o seu uso mais indicado. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo verificar o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo na discriminação de árvores de *Pinus taeda* provenientes de um experimento de omissão de nutrientes. Foram coletados espectros da madeira maciça e casca de discos obtidos em cinco posições axiais de três árvores para cada tratamento. Por meio da análise de componentes principais (PCA), foi possível observar a distinção da madeira e da casca de *Pinus taeda* com relação aos nutrientes fornecidos e ao tipo de amostra analisada, verificando-se maior influência da árvore na discriminação do material. A técnica apresenta potencial de utilização em campo e estudos mais detalhados com maior amostragem e relacionados a valores quantitativos devem ser realizados.

Palavras-chave: infravermelho próximo; qualidade da madeira; macro e micronutrientes.

Use of NIR for trees discrimination in different fertilizations based on wood and bark spectra

ABSTRACT Pine species account for 23.4 % of planted forests in Brazil, and the standard of fertilization in forest plantation conduces to different growth rate and changes in wood characteristics, which can determine the more indicate application. In this context, this paper aims to verify the potential of near infrared spectroscopy in the discrimination of *Pinus taeda* trees from an experiment with nutrients omission. Spectra of wood and bark from discs in five axial positions from three trees by treatment were collected. Based on principal component analysis (PCA), it was possible to observe distinction in wood and bark of *Pinus taeda* in relation to provided nutrients and kind of sample analyzed, verifying bigger influence of tree in material discrimination. The technique presents potential to practice use and detailed studies with more samples and related to quantitative values must be done.

Keywords: near infrared; wood quality; macro and micronutrients.

Introdução

A área plantada com espécies de reflorestamento no Brasil em 2012 era de 6.664.812 ha, sendo 23,4% correspondente aos plantios de *Pinus* spp, com maior concentração na região Sul em função de condições climáticas e indústrias processadoras

desta madeira (ABRAF, 2013). As principais espécies plantadas são *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*, com diversas contribuições sociais, econômicas e ambientais para o desenvolvimento sustentável do país (VASQUES et al., 2007).

O crescimento e produtividade das florestas são variáveis em função de características de clima e solo, uma vez que as espécies diferem na absorção e utilização de nutrientes em

função de processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, e sua interação com clima, solo, fertilizantes e práticas de manejo (BALIGAR et al., 2007). Outro fator importante é a matéria orgânica do solo, a qual atua nas propriedades físicas como textura, estrutura, disponibilidade de nutrientes, mineralização de nitrogênio, além de ter um papel importante no balanço global de carbono (FAGERIA, 2012).

Diferentes respostas ao uso de adubação e calagem ressaltam a importância de estudos específicos dos teores de nutrientes a serem recomendados para espécies florestais plantadas em distintas classes de solo e clima (CROUS et al., 2007; ALBAUGH et al., 2008; GOTORE et al., 2014). A qualidade da madeira produzida também é alterada, devendo ser direcionado o aproveitamento para a indústria de papel, painéis, serrados ou energia em função de características como densidade, dimensões celulares e volume produzido (CASTELO et al., 2008).

Em função dessas variações, uma análise rápida como a espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) pode ser uma alternativa não destrutiva e de baixo custo, além de poder ser aplicada em indústrias, laboratórios e linhas de pro-

dução (TSUCHIKAWA; SCHWANNINGER, 2013). A quantificação de macro e micronutrientes em solos e folhas por NIR foi demonstrada em diferentes estudos (HUANG et al., 2009; GALVEZ-SOLA et al., 2015; ROSSA et al., 2015; VAN MAARSCHALKERWEERD; HUSTED, 2015). Porém, a aplicação da técnica para discriminar madeira procedente de um experimento com a aplicação controlada destes elementos não foi encontrada na literatura, e pode ser uma ferramenta auxiliar na escolha de árvores para corte de acordo com a utilização final na indústria.

Este trabalho tem como objetivo verificar o potencial do NIR na discriminação de árvores de *Pinus taeda* provenientes de um experimento de omissão de nutrientes, com base em material maciço.

Material e Métodos

As árvores são provenientes do município de Jaguariaíva, Paraná, com solos caracterizados pela elevada acidez e baixos teores de potássio e fósforo. O clima segundo Köppen é subtropical temperado (Cfb), com precipitações médias de 1400-1600 mm e temperaturas médias de 17 a 19°C (ALVARES et

Tabela 1. Proporção de nutrientes aplicados.

Table 1. Proportion of nutrients applied.

Nutriente	Fonte	Proporção (kg/ha)
Nitrogênio (N)	Uréia	40
Fósforo (P)	P ₂ O ₅	60
Potássio (K)	K ₂ O	80
Zinco (Zn)	ZnSO ₄	3
Boro (B)	Ulexita	2
Cobre (Cu)	CuSO ₄	1,5
Molibdênio (Mo)	Na ₂ MoO ₄	0,02

Tabela 2. Delineamento experimental.

Table 2. Experimental design.

Tratamento	Macronutrientes				Micronutrientes			Calcário
	N	P	K	Zn	Cu	B	Mo	
Testemunha	0	0	0	0	0	0	0	0
Completo	1	1	1	1	1	1	1	1
Menos Macro	0	0	0	1	1	1	1	1
Menos Micro	1	1	1	0	0	0	0	1

0 = ausência do elemento na adubação; 1 = presença do elemento na adubação.

al., 2013).

O plantio foi efetuado no ano 2000 e a adubação em 2008, considerando-se diferentes tratamentos (Tabelas 1 e 2), tendo como fonte uréia, super fosfato triplo, cloreto de potássio, sulfato de zinco, ulexita, sulfato de cobre e molibdato de sódio. As diferentes adubações foram aplicadas de forma parcelada, sendo metade em 2008 e outra metade após um ano (2009). O calcário aplicado possuía poder relativo de neutralização total (PRNT) de 75% (ano 1) e 90% (ano 2), sendo utilizado o equivalente a 1,3 t/ha em cada uma das aplicações.

Em dezembro de 2014, foram abatidas três árvores (Tabela 3) por tratamento (Tabela 2), sendo obtidos discos a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco de cada árvore para as análises de NIR. O material cortado permaneceu secando ao ar por 6 meses. Os discos foram descascados, cortados ao meio em dois semicírculos e lixados no topo (seção transversal) e na lateral (seção radial) com lixa de granulometria 60 grãos/cm², sendo obtidos espectros diretamente da superfície da madeira e da casca (Figura 1).

Tabela 3. DAP e altura das árvores estudadas.

Table 3. DBH and height of studied trees.

Tratamento	Árvore	DAP (cm)	H fuste (m)
Testemunha	1	17,9	8,1
	2	16,1	6,4
	3	18,5	7,9
Completo	1	17,9	8,1
	2	18,5	9,4
	3	23,0	8,5
Menos Macro	1	16,1	7,7
	2	17,6	7,2
	3	16,0	6,5
Menos Micro	1	24,2	9,1
	2	18,2	7,7
	3	16,6	8,0

A obtenção dos espectros foi em sala climatizada, com temperatura de 23 ± 2 °C e umidade relativa de 60%, em um espectrofotômetro FTIR Tensor 37 da Bruker, equipado com esfera de integração e operando em modo de reflectância,

numa faixa de 4000-10000 cm⁻¹, com resolução de 4 cm⁻¹ e 64 scans. Foram obtidos 10 espectros no topo (superfície transversal) e 10 na lateral cortada de cada disco (superfície radial), num total de 100 espectros por árvore. Também foram obtidos 10 espectros da região interna da casca de cada disco (0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial), ou seja, 50 espectros por árvore (Figura 1).

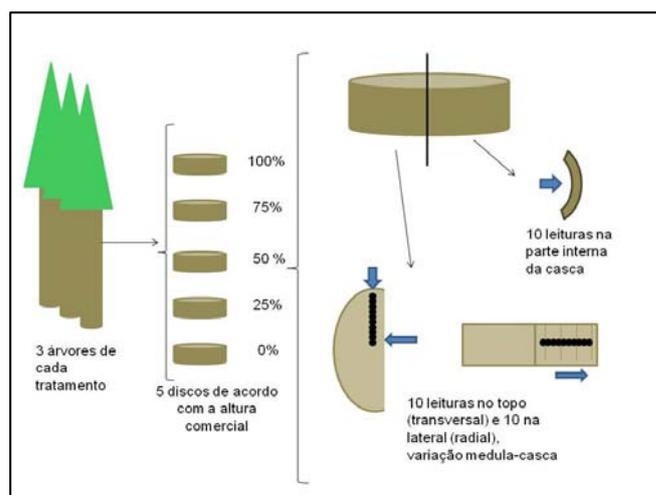


Figura 1. Preparação das amostras e obtenção dos espectros
Figure 1. Samples' preparation and spectra acquisition.

O programa Unscrambler X (versão 10.1) foi usado para a análise dos dados. Modelos exploratórios foram feitos pela análise dos gráficos de *scores* e *loadings* obtidos por PCA para verificar possíveis diferenças. A análise espectral e coleta de dados foram efetuadas com base nas normas da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) E1655-05 (ASTM, 2012). Foram efetuadas separadamente análises avaliando a média dos espectros de cada disco, somente os espectros transversais, somente os espectros radiais, e os espectros da casca, para verificar o potencial do NIR na discriminação de amostras em material maciço. Além disso, aplicaram-se pré-tratamentos de correção da linha base, primeira e segunda derivada para remover a influência da linha base, ruídos e interferências externas relativas ao equipamento (RINNAN et al., 2009).

Resultados e Discussão

Os espectros médios da madeira e da casca em cada tratamento (Figura 2) apresentaram o mesmo perfil de materiais lignocelulósicos, com diferenças na linha base mais evidentes observadas na casca, provavelmente resultado da variação da umidade, contaminação por fungos e/ou irregularidades da superfície, a qual não foi lixada. Os números de onda são correlacionados com a presença de substâncias componentes da estrutura celular do material. Neste trabalho, algumas em destaque são: a região próxima a 8370 cm^{-1} (1) associada na literatura aos grupos CH e CH_3 ; bandas próximas a 7000 cm^{-1} e 6287 cm^{-1} (2) são relacionadas, respectivamente, à região amorfa e cristalina da celulose; a região entre $6900\text{--}6850\text{ cm}^{-1}$ (3) é associada com a combinação dos grupos CH dos anéis aromáticos e os grupos OH fenólicos da lignina e extrativos; bandas em $5200\text{--}5050\text{ cm}^{-1}$ (4) estão relacionadas com a água e bandas em 4700 cm^{-1} (5) correspondem às deformações dos grupos CH relacionadas com a água (SCHWANNINGER et al., 2011).

A segunda derivada (Figura 3) elimina a influência da linha base e mostra as regiões com maiores diferenças entre os espectros, as quais são responsáveis pela distinção das árvores. Este pré-processamento mostrou-se adequado em outros trabalhos relacionados com a discriminação de espécies ou origem geográfica/biológica do material (SANDAK et al., 2011; MEDER et al., 2014; ZHANG et al., 2014; NISGOSKI et al., 2016).

A literatura destaca a utilização do NIR para a caracterização química, determinação de propriedades físicas e mecânicas da madeira e derivados (TSUCHIKAWA; SCHWANNINGER, 2013), com variação nos valores de absorvância entre as espécies. Algumas regiões podem ter maior importância para a discriminação das amostras, de acordo com características anatômicas e químicas do material. A região entre 4249--

6100 cm^{-1} foi eficiente na discriminação da madeira de espécies semelhantes ao mogno (PASTORE et al., 2011); a faixa entre $4000\text{--}6000\text{ cm}^{-1}$ mostrou potencial de separação de 12 espécies da Amazônia com base na análise das folhas (DURGANTE et al., 2013); e as regiões entre $4000\text{--}5076\text{ cm}^{-1}$ e $5570\text{--}6200\text{ cm}^{-1}$ indicaram diferenças entre variedades de pinheiro japonês (*Cryptomeria japonica*) com base nos espectros de folhas e madeira (NISGOSKI et al., 2016).

Em função do exposto anteriormente, com todos os espectros médios em segunda derivada juntos, observaram-se as regiões que tiveram maior contraste entre as amostras. Em alguns casos, o tratamento destacou-se (Figura 4) e em outros o tipo de amostra apresentou maior influência na intensidade dos picos (Figura 5).

Na Figura 4, a região 1, entre $7400\text{--}7300\text{ cm}^{-1}$, apresentou picos com maior intensidade para o tratamento com menos macronutrientes (em vermelho), seguido pelo completo e testemunha, praticamente sem distinção. O tratamento com menos micronutrientes (verde) apresentou picos com menores intensidades. Já na região 2, pode-se observar a separação entre a madeira (todas as amostras) e a casca. Também se verificou que entre $4970\text{--}4966\text{ cm}^{-1}$ o tratamento completo apresentou picos com maior intensidade, e entre $4951\text{--}4949\text{ cm}^{-1}$ e 4941 cm^{-1} , o tratamento com menos macronutrientes apresentou picos mais elevados.

A distinção dos tratamentos varia em função do tipo de nutriente e da forma como foi aplicado. Como neste trabalho não existem valores quantitativos, em muitos casos pode ou não haver a interação do elemento químico. De maneira geral, o fósforo apresenta picos em $7502\text{--}6098\text{ cm}^{-1}$ e $4602\text{--}4424\text{ cm}^{-1}$ com maior absorção em $\sim 6500\text{ cm}^{-1}$; o potássio se destaca na região de $7502\text{--}4598\text{ cm}^{-1}$ com maior absorção em $\sim 6760\text{ cm}^{-1}$ e menor em 5100 cm^{-1} ; o cobre apresenta picos entre $7502\text{--}6098\text{ cm}^{-1}$ e $5450\text{--}4247\text{ cm}^{-1}$ com menor absorção em 7300 cm^{-1} ; já o zinco predomina na região de $7502\text{--}4247\text{ cm}^{-1}$

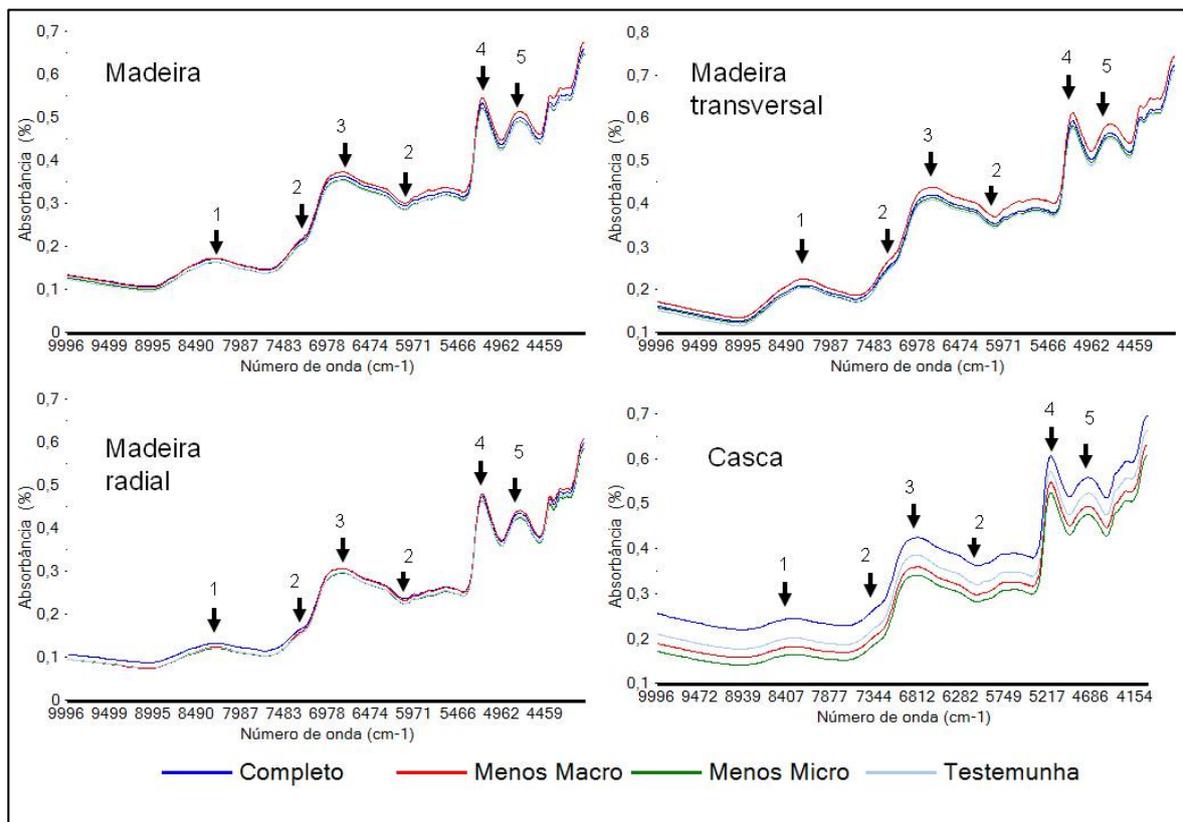


Figura 2. Espectros médios com dados originais em cada tratamento.

Figure 2. Mean spectra with raw data for each treatment.

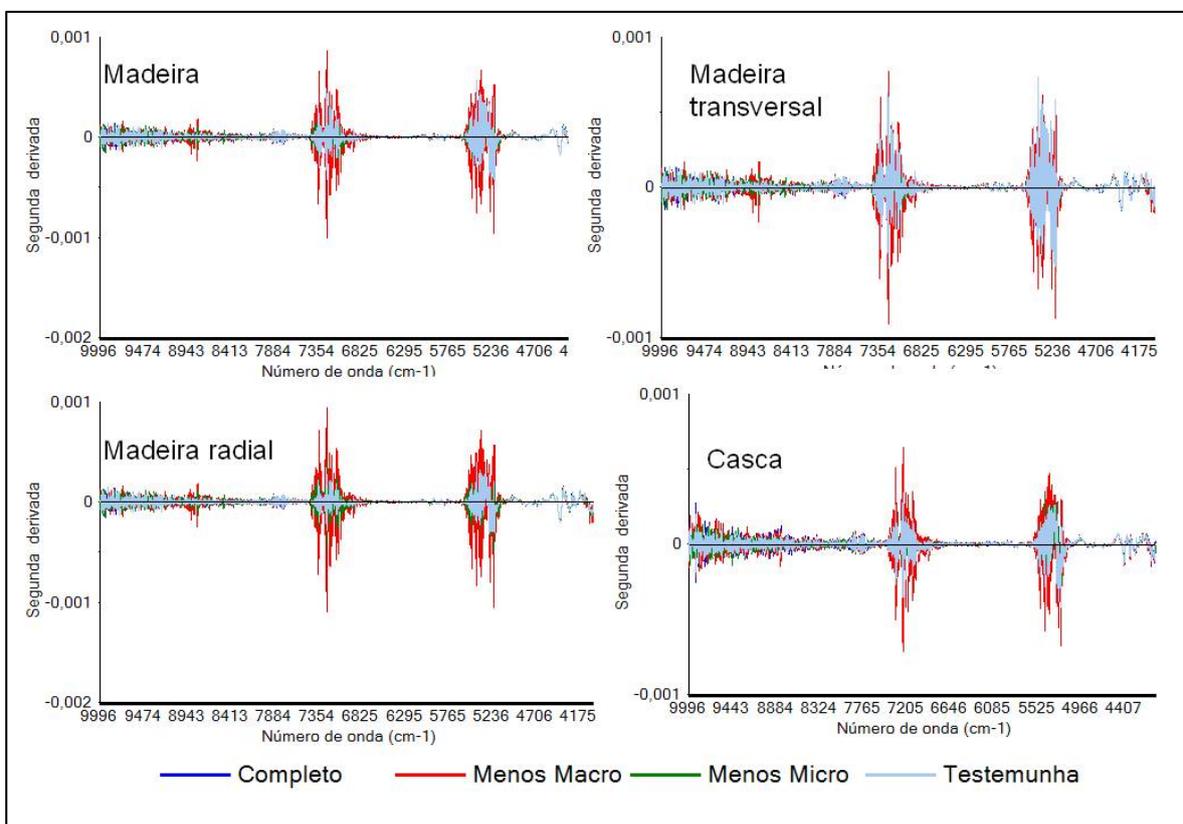


Figura 3. Espectros médios em segunda derivada em cada tratamento.

Figure 3. Mean spectra in second derivative for each treatment.

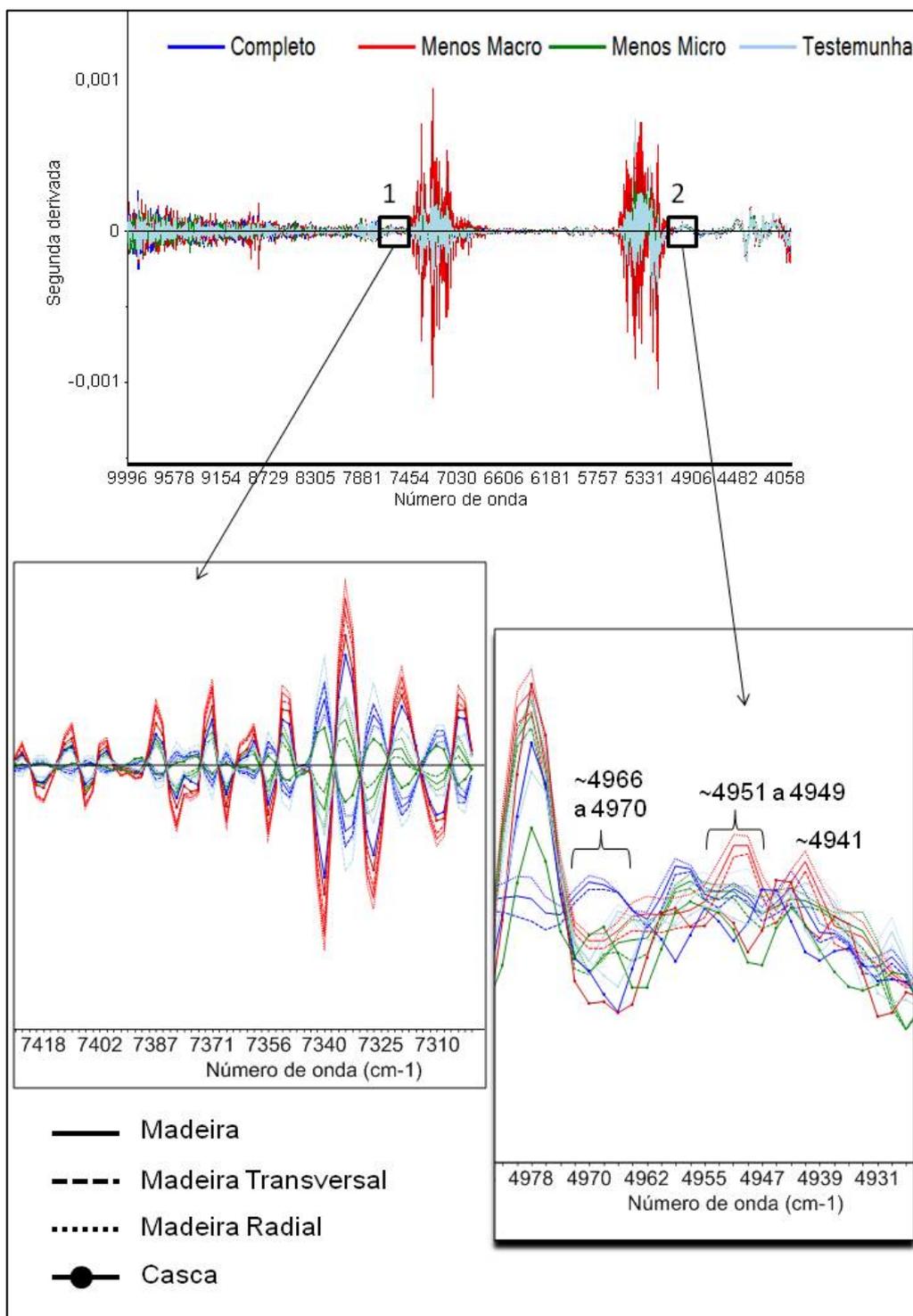


Figura 4. Espectros médios em segunda derivada de todos os tratamentos e amostras.

Figure 4. Mean spectra in second derivative for all treatments and samples.

com maior absorção em 5500 cm^{-1} e menor em 5000 cm^{-1} , regiões que sofrem influência da umidade na madeira (GALVEZ-SOLA et al., 2010; GONZÁLEZ-MARTÍN et al., 2015).

Na Figura 5 pode-se observar a variação dos espectros médios em função das amostras. As regiões entre $5780\text{--}5750\text{ cm}^{-1}$

1 (3), $4850\text{--}4500\text{ cm}^{-1}$ (4), $4335\text{--}4100\text{ cm}^{-1}$ (5d), destacadas em vermelho, separam a casca das amostras provenientes da madeira, independente da superfície analisada. As regiões entre $4411\text{--}4392\text{ cm}^{-1}$ (5a), próxima a 4365 cm^{-1} (5b) e 4162 cm^{-1}

(5c), destacadas em azul, separam todas as amostras analisadas, com as amostras provenientes da madeira radial com picos/vales de maior intensidade de absorção, seguido pelas amostras de madeira, madeira transversal e casca com picos/vales de menor intensidade.

As regiões de maior contraste entre casca e madeira são referentes aos componentes da parede celular. A região entre 5780-5750 cm^{-1} é atribuída às ligações CH da celulose; a região entre 4850-4500 cm^{-1} corresponde a todos os componentes da madeira, com picos de celulose em 4808 cm^{-1} e 4609 cm^{-1} ; a faixa entre 4335-4100 cm^{-1} está relacionada com celulose, hemiceluloses e lignina, sendo 4411 cm^{-1} (a) atribuído às ligações OH da lignina, 4401 cm^{-1} relacionado com as ligações CH de hemiceluloses (SCHWANNINGER et al., 2011) e os picos em 4392 cm^{-1} (a) e 4365 cm^{-1} (b) e 4162 cm^{-1} (c) corres-

pondem aos componentes da celulose e os elementos minerais Zn e Cu, também calcário (GALVEZ-SOLA et al., 2010; GONZÁLEZ-MARTÍN et al., 2015).

A detecção de minerais por NIR depende da existência desses componentes integrados às moléculas orgânicas ou em sais hidratados (CLARK et al., 1987; VASQUES DE ALDANA et al., 1995). Gamsworthy et al. (2000) afirmaram que é possível detectar distorções no espectro de infravermelho que podem ser aplicadas para a quantificação de macro e micronutrientes ligados à matéria orgânica. As maiores dificuldades para a detecção desses elementos surgem em amostras com baixa concentração de minerais (HUANG et al., 2009) e também de qual parte da planta está sendo analisada, além da granulometria do material (VAN MAARSCHALKER-WEERD; HUSTED, 2015).

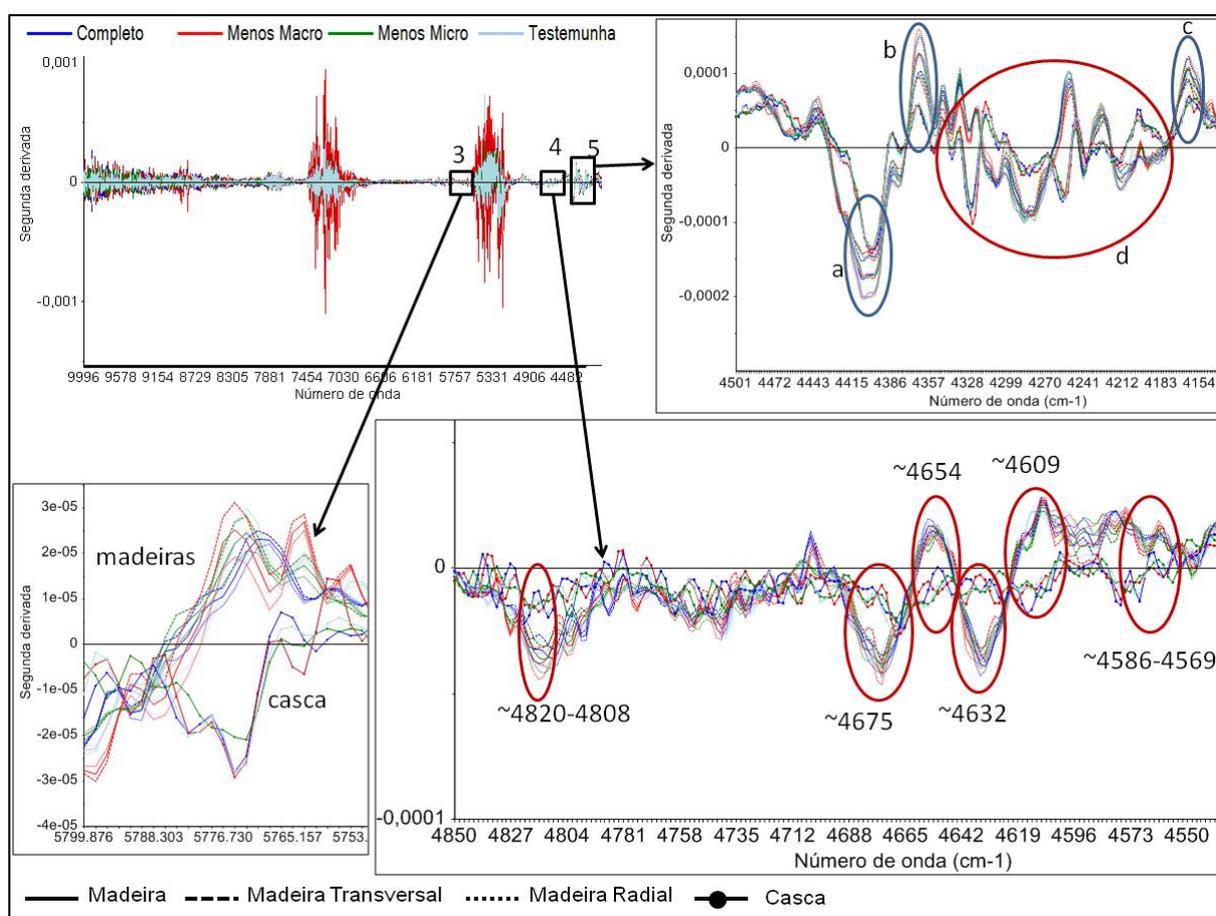


Figura 5. Espectros médios em segunda derivada de todos os tratamentos e amostras.

Figure 5. Mean spectra in second derivative for all treatments and samples.

A quantificação de microelementos como Magnésio ou Cálcio está relacionada aos componentes orgânicos como, por exemplo, a clorofila e os pectatos de cálcio, respectivamente. A grande diversidade de componentes orgânicos produtos do metabolismo secundário dos vegetais dificulta a delimitação de faixas espectrais precisas para a identificação de um mineral específico, e normalmente as calibrações não podem ser extrapoladas além de uma população muito bem caracterizada (FOLEY et al., 1998).

Schmitt et al. (2014) apresentaram uma revisão sobre o uso do NIR para a determinação de elementos minerais em amostras de alimentos. Os autores ressaltaram que é uma alternativa, mas que, em muitos casos, permanece em meio acadêmico e esforços devem ser feitos para encontrar o melhor pré-tratamento dos dados e modelo quimiométrico de análise. Galvez-Sola et al. (2015) estimando teores de minerais

em folhas de *Citrus* spp. encontraram excelente calibração para N e Ca, moderado sucesso para K, Mg, Zn, moderado uso para Fe, e inadequado para B, Cu e Mn. Rossa et al. (2015), em estudo com folhas de erva mate, verificaram o potencial do NIR na quantificação de P, Fe e Cu, mas não foi adequado para C, K, Na, Mn e Zn.

O objetivo deste trabalho não era quantificar os minerais na madeira e na casca, e sim verificar o potencial do NIR na separação das amostras maciças provenientes do experimento com diferentes adubações. Assim foi efetuada a análise de PCA com os dados em segunda derivada (Figura 6), a qual mostra a influência da árvore na distinção dos tratamentos. Cada árvore é representada por 5 pontos referentes ao espectro médio nas posições 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial. Para a madeira, o primeiro componente principal res-

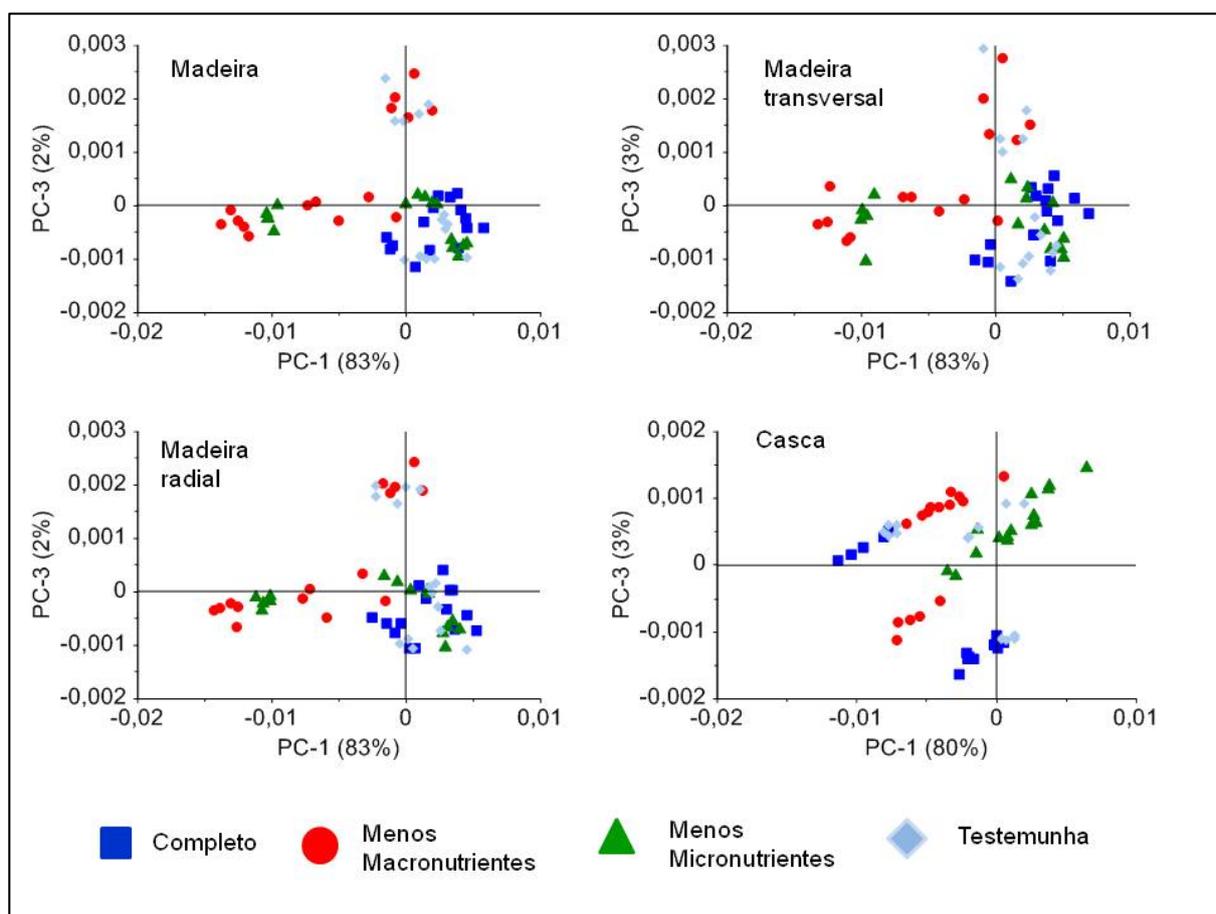


Figura 6. Análise de componentes principais para os diferentes tratamentos.

Figure 6. Principal component analysis for different treatments.

ponde por 83% da variação entre o material, e para a casca representou 80%.

Pode-se observar uma tendência de separação dos tratamentos, mais destacada nas amostras da casca. Com o objetivo de analisar melhor a influência da amostra, optou-se por analisar cada tratamento em separado em relação ao material em que foi coletado o espectro (Figura 7) e confirmou-se a influência da árvore nos tratamentos. A casca apresentou comportamento distinto em relação às outras amostras, com menor influência da árvore em que foi retirada. Como todas as árvores provêm de um experimento controlado de omissão de nutrientes, a posição da árvore no povoamento pode ter interferido na absorção e translocação dos macro e micronutrientes aplicados, influenciando na distribuição das amostras com base no espectro de infravermelho. Estudos mais apro-

fundados, com maior número de árvores e dados quantitativos da composição mineral do material devem ser efetuados para investigar o potencial de uso da técnica como alternativa de avaliação da madeira antes do corte das árvores, ou seja, com a árvore em pé.

Estudos mostram a sensibilidade do infravermelho em relação à granulometria das amostras para processos de discriminação de espécies (BRAGA et al., 2011; NISGOSKI et al., 2015) e análises em geral, além da comparação entre análise laboratorial e a campo (MEDER et al., 2011). A diferença nas medições do infravermelho entre madeira maciça e partículas pode ser o resultado da interação da amostra com a luz infravermelha, resultando em diferentes informações que sofrem influência da estrutura do lugar da leitura que podem contribuir para a presença de ruído nos espectros. Em geral, em ma-

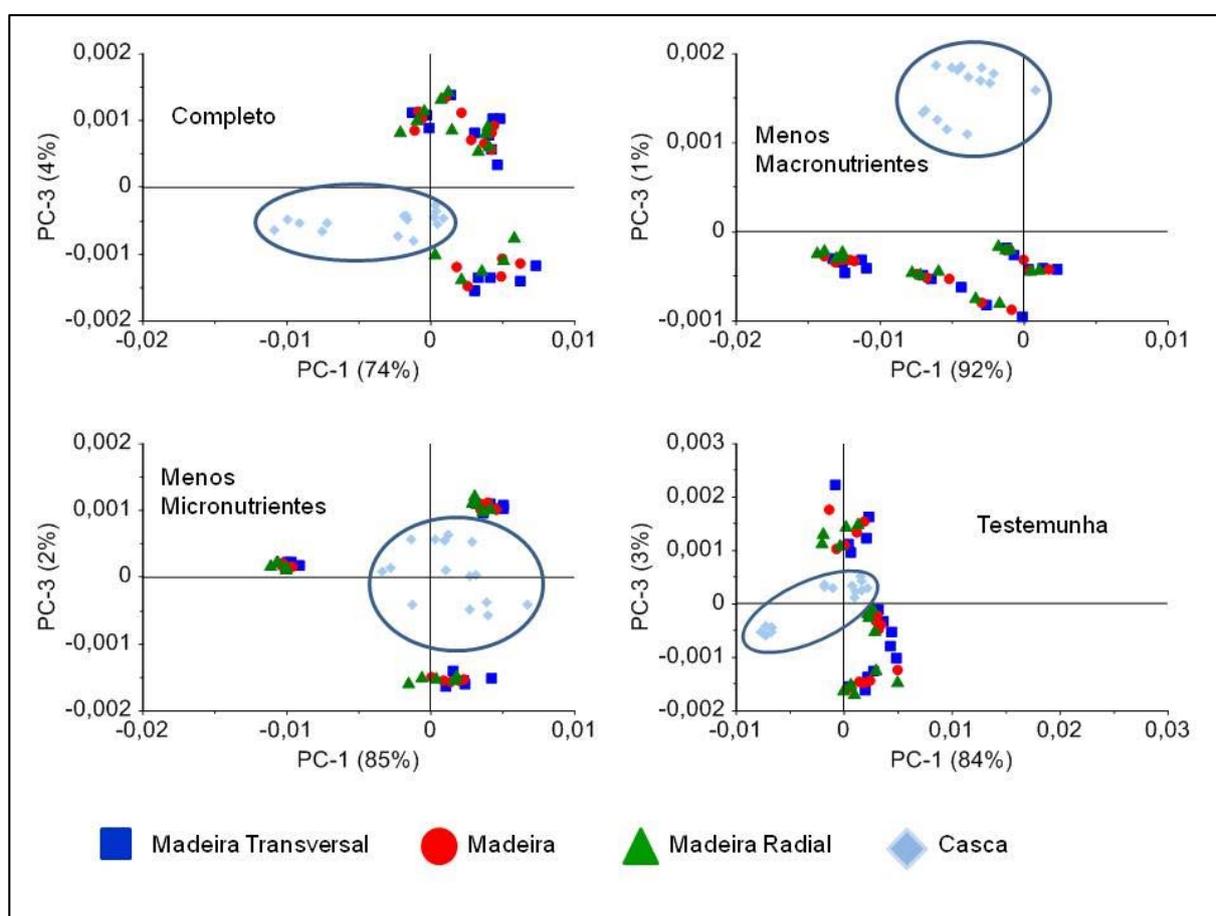


Figura 7. Análise de componentes principais para as diferentes amostras.

Figure 7. Principal component analysis for different samples.

teriais sólidos, a luz penetra em menor profundidade, a absorção é menor e as informações são mais superficiais (HEIN et al., 2010).

Conclusão

A espectroscopia no infravermelho próximo detectou diferenças relacionadas à aplicação de nutrientes na madeira de *Pinus taeda*. A distinção entre os diferentes tratamentos é possível, embora a discriminação do material tenha tido influência interindividual, ou seja, das características de cada árvore. O potencial da técnica existe e novos estudos com outros tratamentos e maior amostragem, além de material particulado em diferentes granulometrias, devem ser desenvolvidos para uma análise mais completa e possibilidade de aplicação da técnica a campo, ou seja, diretamente no povoamento florestal.

Referências

- ALBAUGH, T.J.; LEE ALLEN, H.; FOR, T.R. Nutrient use and uptake in *Pinus taeda*. **Tree Physiology** v.28, n.7, p. 1083–1098, 2008.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2012**. Brasília, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **E1655 – Standard practices for infrared multivariate, quantitative analysis**. ASTM, 2012. 29p.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.32, n.7-8, p. 921-950, 2007.
- BRAGA, J.W.B.; PASTORE, T.C.M.; CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J.A.A.; SILVA, A.R.D. The use of near infrared spectroscopy to identify solid wood specimens of *Swietenia macrophylla* (cites appendix II). **Iawa Journal**, v. 32, n. 2, p. 285-296, 2011.
- CASTELO, P.A.R.; MATOS, J.L.M.; DEDECEK, R.A.; LAVORANTI, O.J. Influência de diferentes sítios de crescimento sobre a qualidade da madeira de *Pinus taeda*. **Floresta**, v. 38, n.3, p. 495-506, 2008.
- CLARK, D. H.; MAYLAND, H. F.; LAMB, R. C. Mineral analysis of forages by near infrared reflectance spectroscopy. **Agronomy Journal**, v.79, p.485-490, 1987.
- CROUS, J.W.; MORRIS, A.R.; SCHOLE, M.C. Effects of residual phosphorus and potassium fertiliser on organic matter and soil nutrients in a *Pinus patula* plantation. **Australian Forestry**, v. 70, n. 3, p. 200–208, 2007.
- DURGANTE, F.M.; HIGUCHI, N.; ALMEIDA, A.; VICENTINI, A. Species spectral signature: discriminating closely related plant species in the Amazon with near-infrared leaf spectroscopy. **Forest Ecology and Management**, v.291, p. 240-248. 2013.
- FAGERIA, N.K. Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.43, n.16, p. 2063-2113, 2012.
- FOLEY, W. J.; MCLLWEE, A.; LAWLER, I.; ARAGONES, L.; WOOLNOUGH, A. P.; BERDING, N. Ecological applications of near infrared reflectance spectroscopy – a tool for rapid, cost-effective prediction of the composition of plant and animal tissues and aspects of animal performance. **Oecologia**, v.116, p. 293-305, 1998.
- GALVEZ-SOLA, L.; MORAL, R.; PEREZ-MURCIA, M.D.; PEREZ-ESPINOSA, A.; BUSTAMANTE, M.A.; MARTINEZ-SABATER, E.; PAREDES, C. The potential of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) for the estimation of agroindustrial compost quality. **Science of the Total Environment**, v.408, p.1414–1421, 2010.
- GALVEZ-SOLA, L.; GARCÍA-SÁNCHEZ, F.; PÉREZ-PÉREZ, J.G.; GIMENO, V.; NAVARRO, J.M.; MORAL, R.; MARTÍNEZ-NICOLÁS, J.J.; NIEVES, M. Rapid estimation of nutritional elements on citrus leaves by near infrared reflectance spectroscopy. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.571, 2015.
- GARNSWORTHY, P.C.; WISEMAN, J.; FEGEROS, K. Prediction of chemical, nutritive, and agronomic characteristics of wheat by near infrared spectroscopy. **Journal of Agricultural Science**, v.135, p. 409–417, 2000.

- GONZÁLEZ-MARTÍN, M.I.; ESCUREDO, O.; REVILLA, I.; VIVAR-QUINTANA, A.M.; COELHO, M.C.; RIOCEREZO, C.P.; MONCADA, G.; W. Determination of the mineral composition and toxic element contents of propolis by Near Infrared Spectroscopy. **Sensors**, v15, p. 27854-27868, 2015.
- GOTORE, T.; MUREPA, R.; GAPARE, W.J. Effects of nitrogen, phosphorus and potassium on the early growth of *Pinus patula* and *Eucalyptus grandis*. **Journal of Tropical Forest Science**, v.26, n.1, p. 22-31, 2014.
- HEIN, P.R.G.; LIMA, J.T.; CHAIX, G. Effects of sample preparation on NIR spectroscopic estimation of chemical properties of *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake wood. **Holzforchung**, v. 64, n. 1, p. 45-54, 2010.
- HUANG, C.; HAN, L.; YANG, Z.; LIU, X. Exploring the use of near infrared reflectance spectroscopy to predict minerals in straw. **Fuel**, v.88, p.163-168, 2009.
- MEDER, R.; BRAUNER, J.T.; DOWNES, G.M.; EBDON, N. Towards the in-forest assessment of Kraft pulp yield: comparing the performance of laboratory and hand-held instruments and their value in screening breeding trials. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 19, n. 5, p. 421-429, 2011.
- MEDER, R.; KAIN, D.; EBDON, N.; MACDONELL, P.; BRAUNER, J.T. Identifying hybridization in *Pinus* species using near infrared spectroscopy of foliage. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 22, p. 337-345, 2014.
- NISGOSKI, S.; CARNEIRO, M.E.; MUÑIZ, G.I.B. Influencia de la granulometría de la muestra en la discriminación de especies de *Salix* por infrarrojo cercano. **Maderas. Ciencia y Tecnología** v. 17, n. 1, p. 195-204, 2015.
- NISGOSKI, S.; SCHARDOSIN, F.Z.; BATISTA, F.R.R.; MUÑIZ, G.I.B.; CARNEIRO, M.E. Potential use of NIR spectroscopy to identify *Criptomera japonica* varieties from southern Brazil. **Wood Science and Technology**, v.50, n.1, p.71-80, 2016.
- 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, G.I.B.; BRESSAN, O.; DAVRIEUX, F. Near infrared spectroscopy (NIRS) as a potential tool for monitoring trade of similar woods: Discrimination of true mahogany, cedar, andiroba and curupixá. **Holzforshung**, v.65, p. 73-80, 2011.
- RINNAN, A.; VAN DEN BERG, F.; ENGELSEN, B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. **Trend in Analytical Chemistry**, v.28, n.10, p.1201-1222, 2009.
- ROSSA, U.B.; ANGELO, A.C.; NISGOSKI, S.; WESTPHALLEN, D.J.; FRIZON, C.N.T.; HOFFMANN-RIBANI, R. Application of the NIR method to determine nutrients in yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill) leaves. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.46, n.18, p. 2323-2331, 2015.
- SANDAK, A.; SANDAK, J.; NEGRI, M. Relationship between near-infrared (NIR) spectra and geographic provenance of timber. **Wood Science and Technology**, v.45, n.1, p. 35-48, 2011.
- SCHMITT, S.; GARRIGUES, S.; de la GUARDIA, M. Determination of the mineral composition of foods by infrared spectroscopy: a review of a green alternative. **Critical Reviews in Analytical Chemistry**, v.44, n.2, p.186-197, 2014.
- SCHWANNINGER M; RODRIGUES JC; FACKLER K. A review of band assignments in near infrared spectra of wood and wood components. **Journal of Near Infrared Spectroscopy**, v. 19, n. 5, p. 287-308, 2011.
- TSUCHIKAWA, S.; SCHWANNINGER, M. A review of recent near-infrared research for wood and paper (Part 2). **Applied Spectroscopy Reviews**, v.48, n. 7, p. 560-587, 2013.
- VAN MAARSCHALKERWEERD, M.; HUSTED, S. Recent developments in fast spectroscopy for plant mineral analysis. **Frontiers in Plant Science**, v.6, p.169, 2015.
- VASQUES, A.G.; NOGUEIRA, A.S.; KIRCHNER, F.F.; BERGER, R. Uma síntese da contribuição do gênero *Pinus* para o desenvolvimento sustentável no sul do Brasil. **Floresta**, v. 37, n.3, p. 445-450, 2007.
- VASQUEZ DE ALDANA, B. R.; GARCIA-CRIADO, B.; GARCIA-CRIADO, A.; PEREZ-CORONA, M. E. Estimation of mineral content in natural grasslands by near infrared reflectance spectroscopy. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v.26, n.9-10, p.1383-1396, 1995.
- ZHANG, X.; YU, H.; LI, B.; LI, W.J.; LI, X.; BAO, C. Discrimination of *Pinus yunnanensis*, *P. kesiya* and *P. densata* by FT-NIR. **Journal of Chemical Pharmaceutical Resource**, v.6, n.4, p. 142-149, 2014.