



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

**HIGO DOS SANTOS CONCEIÇÃO**

**ESPECTROSCOPIA NIR PARA DIFERENCIAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE  
TRÊS ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO**

**Gurupi, TO  
2022**

**Higo dos Santos Conceição**

**Espectroscopia NIR para diferenciação do carvão vegetal de três espécies nativas do cerrado**

Artigo apresentado à Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Universitário de Gurupi, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Dra. Livia Cássia Viana

**Gurupi, TO  
2022**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- C744e Conceição, Higo dos Santos.  
ESPECTROSCOPIA NIR PARA DIFERENCIAÇÃO DO CARVÃO  
VEGETAL DE TRÊS ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO . / Higo dos Santos  
Conceição. – Gurupi, TO, 2022.  
25 f.
- Artigo de Graduação - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus  
Universitário de Gurupi - Curso de Engenharia Florestal, 2022.  
Orientadora : Livia Cassia Viana
1. NIRS. 2. Carvão vegetal. 3. Análise de componentes principais . 4.  
Pirólise . I. Título

**CDD 577.272**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

**Higo dos Santos Conceição**

**Espectroscopia NIR para diferenciação do carvão vegetal de três espécies nativas do cerrado**

Artigo apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Campus Universitário de Gurupi, Curso de Engenharia Florestal foi avaliado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal e aprovado em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

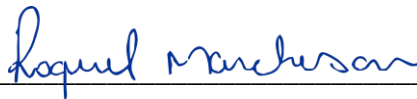
Data de aprovação: 04 / 02 / 2022

Banca Examinadora



---

Prof. Dra. Lívia Cassia Viana  
Orientadora, UFT.



---

Prof. Dra Raquel Marchesan, UFT

---

Prof Dra Vanessa Coelho Almeida, UFT

*Aos meus pais Antônio da Conceição e Maria  
dos Santos Conceição, aos meus irmãos  
Brendo dos Santos Conceição e Airton dos  
Santos Conceição, a minha querida avó Maria  
Vicente da Conceição e ao meu grande amor  
Shirlen da Silva Sousa*

*A vocês!*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Antônio da Conceição e Maria dos Santos Conceição pelo carinho, incentivo aos estudos e apoio financeiro durante o período de graduação.

Agradeço aos meus irmãos Brendo dos Santos Conceição e Airton dos Santos Conceição, ambos sempre estiveram comigo nos momentos em que mais precisei, muito obrigado pelos ensinamentos, conselhos e amparo.

Agradeço a minha doce avó paterna Maria Vicente da Conceição, que apesar das dificuldades e problemas de saúde sempre cuidou muito bem de mim.

Agradeço ao amor da minha vida Shirlen da Silva Sousa, que segue junto comigo independente das dificuldades, és a minha companheira de todas as horas, muito obrigado pelo amor, carinho e paciência durante essa jornada.

Agradeço a todos os professores do curso de Engenharia Florestal, em especial a minha orientadora Prof Dra. Lívia Cássia Viana, pela amizade e por todo conhecimento que me proporcionou durante a orientação deste trabalho e demais pesquisas que desenvolvemos. Ao Prof Dr. Marcos Giongo, pelos conselhos, ensinamentos e orientação do meu estágio obrigatório. A Prof Dra. Suzana Cristine Siebeneichler, pela grande amizade, ensinamentos, conselhos, amparo e pelas belas aulas de bioquímica.

Agradeço a todos os meus amigos da UFT: João Lucas Aires Dias, Thiago Leal, Guilherme Rocha, Thaiury Oliveira, Crislaíne Paes, Samara Melo, Jovielly Neves, Matheus Almeida, Alberto Kevin, Juliana Gomes, Iure Ferradaes, Amanda Stephany, Isabel Cristina, Rasdony Klaiver, Bruno Chaves, Antônio Marcos, Warly Santos e Vinicius Cavalcante.

Agradeço a Universidade Federal do Tocantins (UFT), por proporcionar ensino de qualidade durante toda a graduação e por me disponibilizar auxílio financeiro.

Agradeço ao Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, onde foi possível realizar estágio e desenvolver a pesquisa deste trabalho.

Por fim, agradeço a empresa Grupo Lago Azul, em especial a equipe de Estreito-MA onde tive a oportunidade de realizar estágios.

## RESUMO

Com o intuito de minimizar o desmatamento ilegal das florestas, a procura por tecnologias que possibilitem uma rápida identificação do carvão vegetal tem se difundido no setor florestal. Diante disso, este trabalho investigou o potencial da espectroscopia no infravermelho próximo NIRS como ferramenta para diferenciar carvões produzidos a partir de espécies nativas do Cerrado. Foram utilizadas amostras das espécies: *Handroanthus rosealba* (ipê-branco), *Piptocarpha rotundifolia* (coração-de-negro) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo). Para produção do carvão vegetal utilizou-se 12 corpos de prova para cada espécie, com dimensões aproximadas de 2,0 x 2,0 x 5,0 cm. As amostras foram carbonizadas em forno tipo mufla utilizando temperaturas finais de 500 °C e 550 °C. Para a aquisição dos espectros as amostras foram reduzidas e separadas por espécie e temperatura final de carbonização. Foi utilizado o Espectrofotômetro Portátil DLP® NIRscan™ (Texas Instruments) com uma faixa de radiação entre 900 a 1700 nm. Os espectros foram processados no *software* Unscrambler e tratados com primeira e segunda derivada de “Savitzky-Golay”. A análise de componentes principais (PCA) foi utilizada para diferenciar as espécies estudadas. A PCA possibilitou diferenciar amostras de carvão vegetal oriundo de espécies nativas do cerrado. O espectro NIR portátil juntamente com análise de componentes principais mostrou-se uma ferramenta com potencial para diferenciar carvão de espécies nativas podendo ser uma metodologia empregada para auxiliar no controle e fiscalização de espécies florestais.

**Palavras-chaves:** infravermelho próximo, análise de componentes principais, identificação de espécies, fiscalização.

## ABSTRACT

In order to minimize the illegal deforestation of forests, the search for technologies that allow a quick identification of charcoal has spread in the forestry sector. Therefore, this work investigated the potential of Near Infrared Spectroscopy NIRS as a tool to differentiate coals produced from native cerrado species. Species samples were used: *Handroanthus rosealba* (ipê-branco), *Piptocarpha rotundifolia* (coração-de-negro) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo). For charcoal production used 12 specimens were used for each species, with approximate dimensions of 2.0 x 2.0 x 5.0 cm. The samples were carbonized in a muffle furnace using end temperatures of 500 °C and 550 °C. For the acquisition of the spectra the samples were reduced and separated by species and final carbonization temperature. Was used the the Portable Spectrophotometer DLP® NIRTM (Texas Instruments) with a range of radiation between 900 and 1700 nm. The spectra were processed in the *software* Unscrambler and treated with first and second derivatives of “*Savitzky-Golay*”. The principal component analysis (PCA) was used to differentiate the species studied. The PCA made it possible differentiate charcoal samples from native species of the cerrado. The portable NIR spectrum along with principal component analysis proved to be a tool with potential to differentiate charcoal from native species may be a methodology used to assist in the control and inspection of forest species.

**Key-words:** near infrared, principal component analysis, species identification, inspection.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 01-</b> Espectros originais (A), espectros tratados pela primeira derivada (B) e segunda derivada (C).....	16
<b>Figura 02</b> – Espectros da madeira.....	17
<b>Figura 03</b> - Espectros originais do carvão vegetal.....	18
<b>Figura 04</b> – Espectros originais do carvão vegetal agrupados por temperatura de carbonização.....	19
<b>Figura 05</b> - Espectros originais do carvão vegetal por espécie.....	20
<b>Figura 06</b> - PCA Espectros originais (A), espectros tratados pela primeira derivada (B) e segunda derivada (C).....	21

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 01</b> – Valores médios e coeficiente de variação das propriedades energéticas em diferentes marchas de carbonização.....	20
---	----

## LISTA DE SIGLAS

IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores
NIR	Espectroscopia de Infravermelho Próximo
PLS-R	Regressão de Mínimos Quadrados Parciais
PCA	Análise de Componentes principais
CV	Coefficiente de Variação
UFT	Universidade Federal do Tocantins

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
2.1	Material .....	15
2.2	Pirólise da Madeira .....	15
2.3	Espectroscopia no infravermelho próximo .....	15
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>16</b>
3.1	Espectros NIR .....	16
3.2	Análise de componentes principais .....	20
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>24</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Originado da carbonização da madeira, o carvão vegetal é um importante produto que posiciona o Brasil como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal, sendo ainda um grande aliado na geração de bioenergia, onde boa parte do carvão é destinado às siderúrgicas para a produção de liga metálica (BELCHIOR et al., 2017).

Nesse contexto, a implementação de plantios florestais para o abastecimento de madeira nas carvoarias tem se tornado uma alternativa sustentável nas mais diversas regiões do país gerando energia limpa e renovável. No entanto, ainda é preocupante a pressão sobre as florestas nativas e o avanço do desmatamento ilegal de florestas que causam grandes impactos ambientais (GONÇALVES et al., 2012). O bioma cerrado por exemplo, é um dos mais afetados pelo extrativismo madeireiro, onde aproximadamente 55% dos seus mananciais já foram transformados pela ação do homem (MACHADO et al., 2004).

A identificação das espécies florestais que originam o carvão vegetal é fundamental para o controle da extração ilegal de madeira, porém é um dos grandes problemas enfrentados no controle e fiscalização. Comumente, a classificação do carvão tem sido realizada baseando-se nas características anatômicas das espécies, contudo o método exige conhecimento aprofundado da anatomia da madeira, elevado tempo e custo. Também é relevante destacar que muitas das características da madeira são perdidas durante o processo de carbonização (RAMALHO et al., 2018).

Por esse motivo a implementação de novas tecnologias e ferramentas que possibilitem a caracterização de carvão de forma rápida e confiável tem se tornado comum no mercado, dentre estes, a técnica da espectroscopia no infravermelho próximo NIRS (do inglês Near Infrared Spectroscopy) demonstra ser eficiente no levantamento destes dados, inclusive alguns autores na literatura obtiveram bons resultados com a utilização deste método.

Alguns trabalhos tem relatado a eficácia da técnica para diferenciação e identificação do carvão vegetal de diferentes origens. Davrieux; Rousset (2010) utilizaram espectroscopia NIR e MIR aliada análise de componentes principais e análise fatorial para discriminar carvão nativo (ipê) de carvão vegetal de plantio (eucalipto). Nisgoski et al.(2015) aplicaram a radiação no infravermelho próximo para separação da madeira e carvão vegetal de algumas espécies de Euphorbiaceae e Moraceae. Ramalho et al. (2017) através de Análise de componentes principais (PCA) e regressão de mínimos quadrados parciais (PLS-R) conseguiram diferenciar os carvões produzidos a partir de madeiras nativas e plantadas quando as amostras foram analisadas separadamente pela temperatura final de pirólise.

Contudo, grande parte dos trabalhos citados foram realizados com espectrômetros NIR de bancada para aquisição de dados necessitando, desta forma, que as análises sejam realizadas em laboratório. Por outro lado, equipamentos portáteis apresentam algumas vantagens como a praticidade e a economia quando comparado aos atuais instrumentos de bancada.

Diante disso, este trabalho propõe avaliar o potencial da espectroscopia na região do infravermelho próximo para diferenciar o carvão vegetal oriundo de espécies nativas do cerrado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material

As amostras utilizadas foram obtidas a partir do carvão vegetal da madeira das espécies: *Handroanthus rosealba* (ipê-branco), *Piptocarpha rotundifolia* (coração-de-negro) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo). Foram produzidos doze corpos de prova de cada espécie, com dimensões aproximadas de 2,0 x 2,0 x 5,0 cm.

### 2.2 Pirólise da madeira

Para produção do carvão vegetal as amostras foram carbonizadas em forno tipo mufla, com aquecimento elétrico, controle da temperatura final programada e adaptação de um condensador tubular para recuperar os gases condensáveis. Foram utilizadas duas diferentes temperaturas finais de carbonização: 500 °C e 550 °C.

### 2.3 Espectroscopia no infravermelho próximo

Para aquisição espectral na faixa do infravermelho próximo as amostras de carvão foram reduzidas e separadas de acordo com a espécie e o tratamento. Foi utilizado o Espectrofotômetro Portátil DLP® NIRscan™ (Texas Instruments). A aquisição espectral foi realizada na faixa de radiação do micro NIR, situada entre 11.110 a 5.880  $\text{cm}^{-1}$  (900 a 1700 nm), com resolução espectral de 4  $\text{cm}^{-1}$  e média de 32 scans de varredura.

Os dados espectrais foram tratados matematicamente pela primeira e segunda derivada de “Savitzky-Golay” (1964). A análise de componentes principais - PCA (do inglês Principal Component Analysis) foi utilizada para diferenciar os processos de carbonização e as espécies de madeiras usadas na produção do carvão vegetal. Foram utilizados o máximo de sete componentes principais usando o software Unscrambler versão 10.1

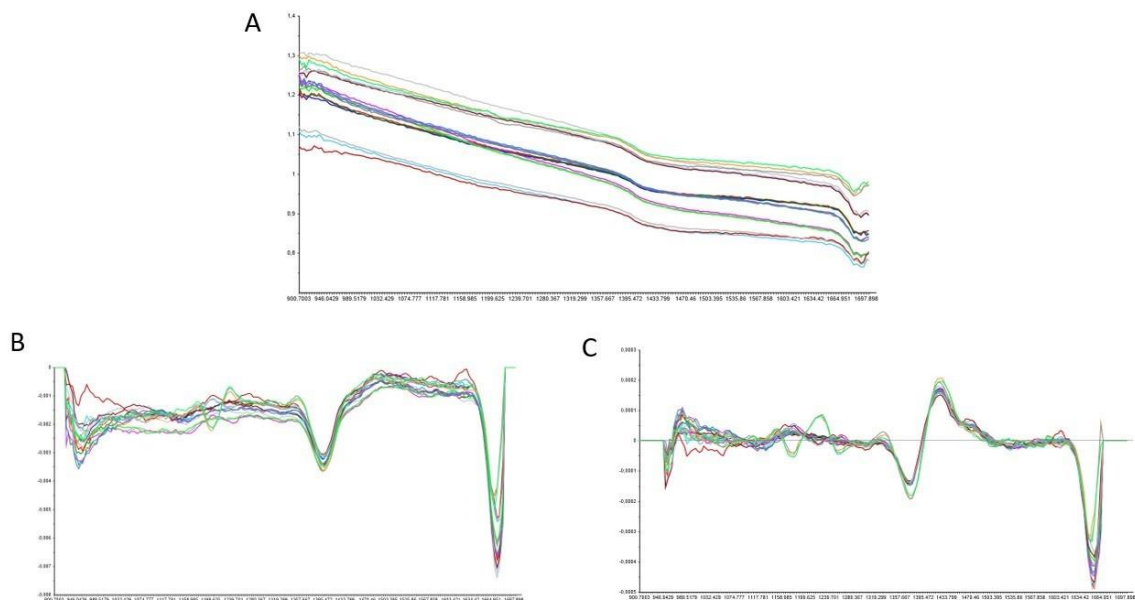
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Espectros NIR

A Figura 1(A, B e C) apresenta os espectros das amostras do carvão vegetal obtidos a partir das madeiras das espécies de *Handroanthus rosealba* (ipê-branco), *Piptocarpha rotundifolia* (coração-de-negro) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo) para as duas marchas de carbonização: 500 °C e 550 °C. Na Figura 1 (A, B e C) os espectros foram apresentados na forma original e tratados matematicamente com a primeira e segunda derivada, respectivamente.

Os pré-tratamentos melhoraram a qualidade das informações contidas nos espectros. Mais especificamente, a aplicação de primeira derivada é utilizada para eliminar variações da linha de base, enquanto a segunda derivada elimina variações na inclinação (ROSSO, 2010). Conforme discutido por Macedo (2017) quando aplicamos primeira e segunda derivada nos espectros originais, as informações contidas são acentuadas ao longo dos comprimentos de onda, de forma que se melhore a resolução espectral.

**Figura 01** – Espectros originais do carvão vegetal (A), espectros tratados pela primeira derivada (B) e segunda derivada (C).

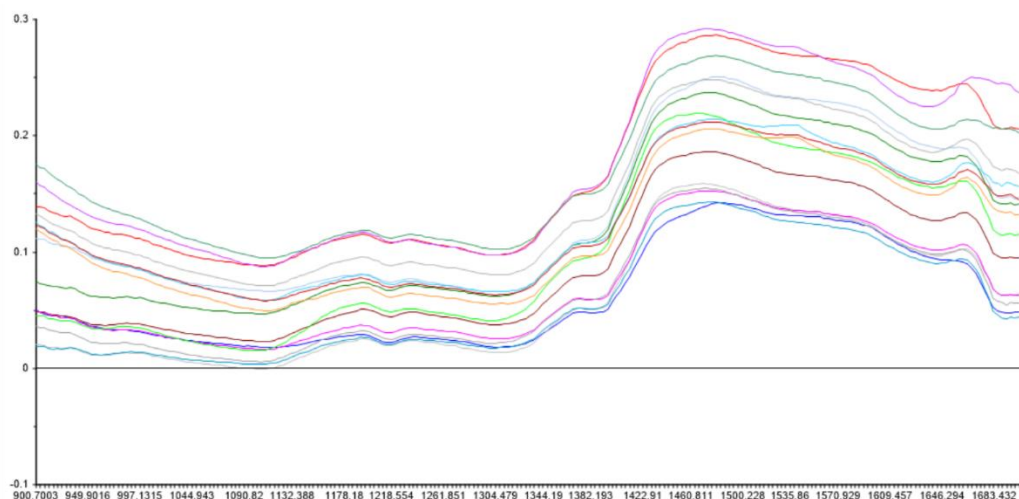


Fonte: O autor.



Na Figura 2 são apresentados os espectros NIR originais das madeiras das espécies *Handroanthus rosealba* (ipê-branco), *Piptocarpha rotundifolia* (coração-de-negro) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo).

**Figura 02** – Espectros da madeira



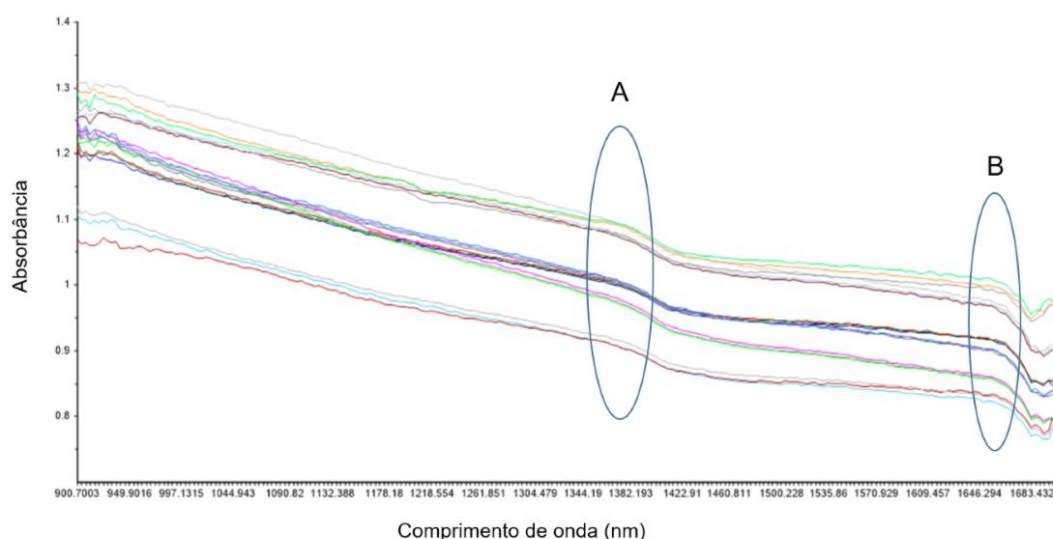
Fonte: O autor.

Observa-se na Figura 2 quando comparada com a Figura 1A que os espectros do carvão apresentam um comportamento mais homogêneo com curvas menos acentuadas quando comparado aos espectros da madeira apresentados na Figura 2.

Esse comportamento ocorre devido a degradação térmica dos componentes químicos sofrida durante o processo de carbonização da madeira. Quimicamente a madeira é formada por uma mistura complexa de polímeros, constituída basicamente por carboidratos (holocelulose), lignina, extrativos e elementos minerais (BROWNING, 1963 e PETERSEN, 1984). Durante o processo de carbonização os hidrocarbonetos presentes na madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina, sofrem uma série de reações de decomposição originando como produtos gases voláteis e o carvão vegetal. Vale ressaltar que os componentes químicos da madeira são degradados em diferentes marchas de temperaturas, onde as hemiceluloses sofrem degradação entre a faixa de 200 e 300°C, a celulose entre 240 a 350°C e a lignina entre 350 a 500°C (CONESA, 1995 apud CARNEIRO, 2013). A lignina é o componente da madeira mais estável termicamente, quando comparada com a celulose, com as hemiceluloses e com a própria madeira. Este fato está relacionado com a estrutura química complexa e com os tipos de ligações presentes na estrutura da macromolécula lignina.

Na Figura 3 são apresentados os espectros originais do carvão vegetal das espécies estudadas e destacadas duas regiões, sendo a primeira (A) próxima a 1400 nm ( $7142\text{ cm}^{-1}$ ), relacionada à região amorfa e cristalina da celulose na madeira (NISGOSKI et al., 2016). A segunda região (B) próxima a 1680 nm ( $5950\text{ cm}^{-1}$ ) está associado a lignina em madeiras coníferas e folhosas (TERDWONGWORAKUL et al., 2005). Observa-se a redução das bandas vibracionais dos anéis aromáticos da lignina e das ligações da celulose mostrando a decomposição das macromoléculas durante o processo de carbonização.

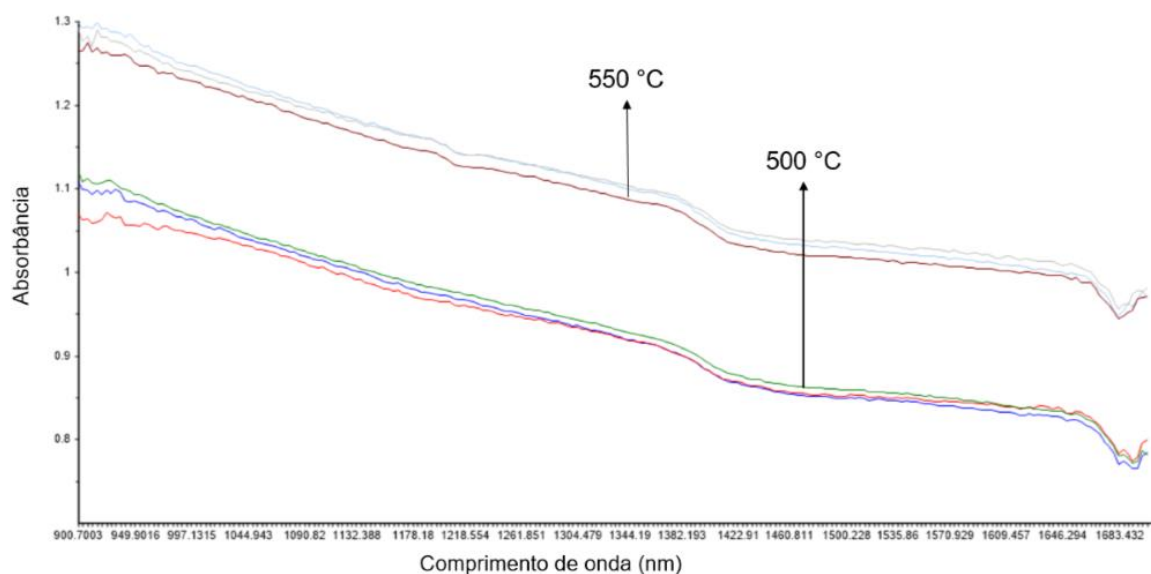
**Figura 03** – Espectros originais do carvão vegetal.



Fonte: O autor.

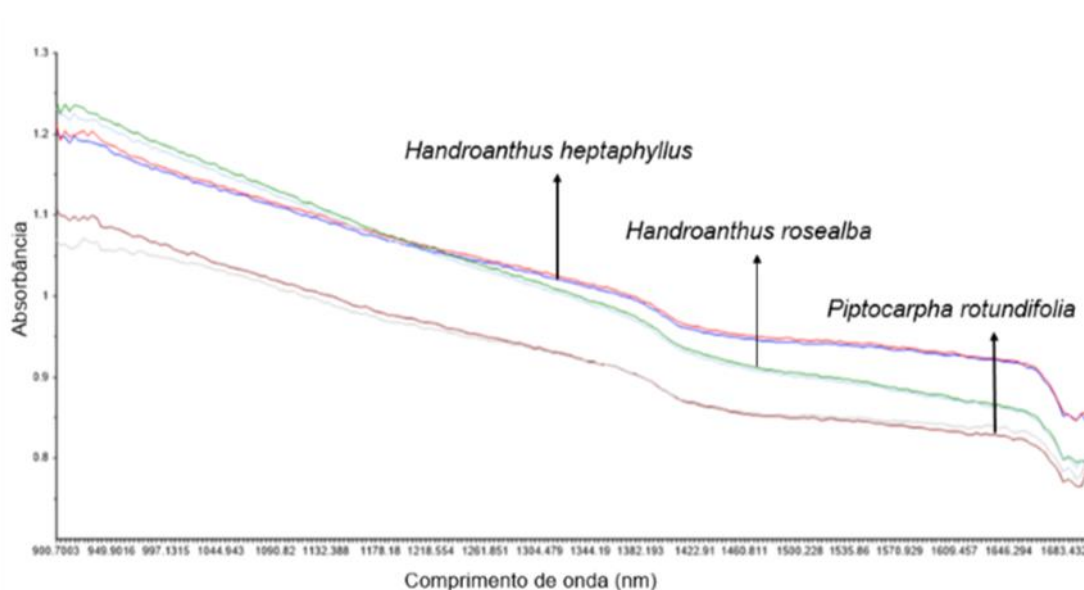
A Figura 4 apresenta os espectros originais do carvão vegetal das diferentes espécies (um espectro para cada espécie e tratamento). Pela imagem observa-se diferenças entre os espectros para os dois tratamentos térmicos, formando dois grupos, indicando que além das espécies as diferentes temperaturas de carbonização também influenciam nas características do carvão vegetal. Este mesmo fenômeno foi observado por Costa (2003), onde os espectros do carvão diferenciaram-se de acordo com a temperatura final de carbonização. Silva et al. (2019) explica que cada objeto possui sua própria assinatura espectral, ou seja, as composições físicas e químicas presentes em cada material interagem de forma distintas quando expostas à radiação.

**Figura 04** – Espectros originais do carvão vegetal agrupados por temperatura de carbonização.



Fonte: O autor.

A Figura 5 apresenta espectros originais do carvão vegetal das três diferentes espécies (dois espectros por espécie), porém coletados a partir de um único tratamento, ou seja, mesma temperatura de carbonização para todas as amostras, com o objetivo de evidenciar as diferenças observadas por espécie. Nota-se que para cada espécie é possível diferenciar os espectros pelo seu desenho com picos mais acentuados em determinados comprimentos de onda. Essas diferenças são consequência das diferenças entre a composição química das madeiras e sua influência nas propriedades do carvão vegetal, conforme os resultados apresentados na Tabela 1.

**Figura 05** – Espectros originais do carvão vegetal por espécie

Fonte: O autor.

**Tabela 1** – Valores médios e coeficiente de variação das propriedades energéticas em diferentes marchas de carbonização.

Propriedades	Espécies	Marchas de carbonização			
		500 °C	CV (%)	550 °C	CV (%)
Densidade aparente do carvão (g cm <sup>-3</sup> )	<i>H. roseoalba</i>	0,41	3,25	0,41	2,33
	<i>H. heptaphyllus</i>	0,55	3,48	0,58	4,80
	<i>P. rotundifolia</i>	0,49	5,12	0,44	7,51
Materiais voláteis (%)	<i>H. roseoalba</i>	24,01	11,02	37,32	4,17
	<i>H. heptaphyllus</i>	48,02	4,48	43,42	5,26
	<i>P. rotundifolia</i>	30,87	2,85	54,31	4,39
Carbono fixo (%)	<i>H. roseoalba</i>	74,14	3,55	60,82	2,50
	<i>H. heptaphyllus</i>	50,60	4,25	55,62	4,07
	<i>P. rotundifolia</i>	64,19	1,22	42,21	5,71
Poder calorífico superior do carvão (Kcal kg <sup>-1</sup> )	<i>H. roseoalba</i>	7401,26	11,52	6958,06	0,73
	<i>H. heptaphyllus</i>	6617,80	1,08	6784,97	1,11
	<i>P. rotundifolia</i>	7070,01	0,37	6338,82	1,27

Nota: CV: Coeficiente de variação (%). Fonte: Nogueira (2021).

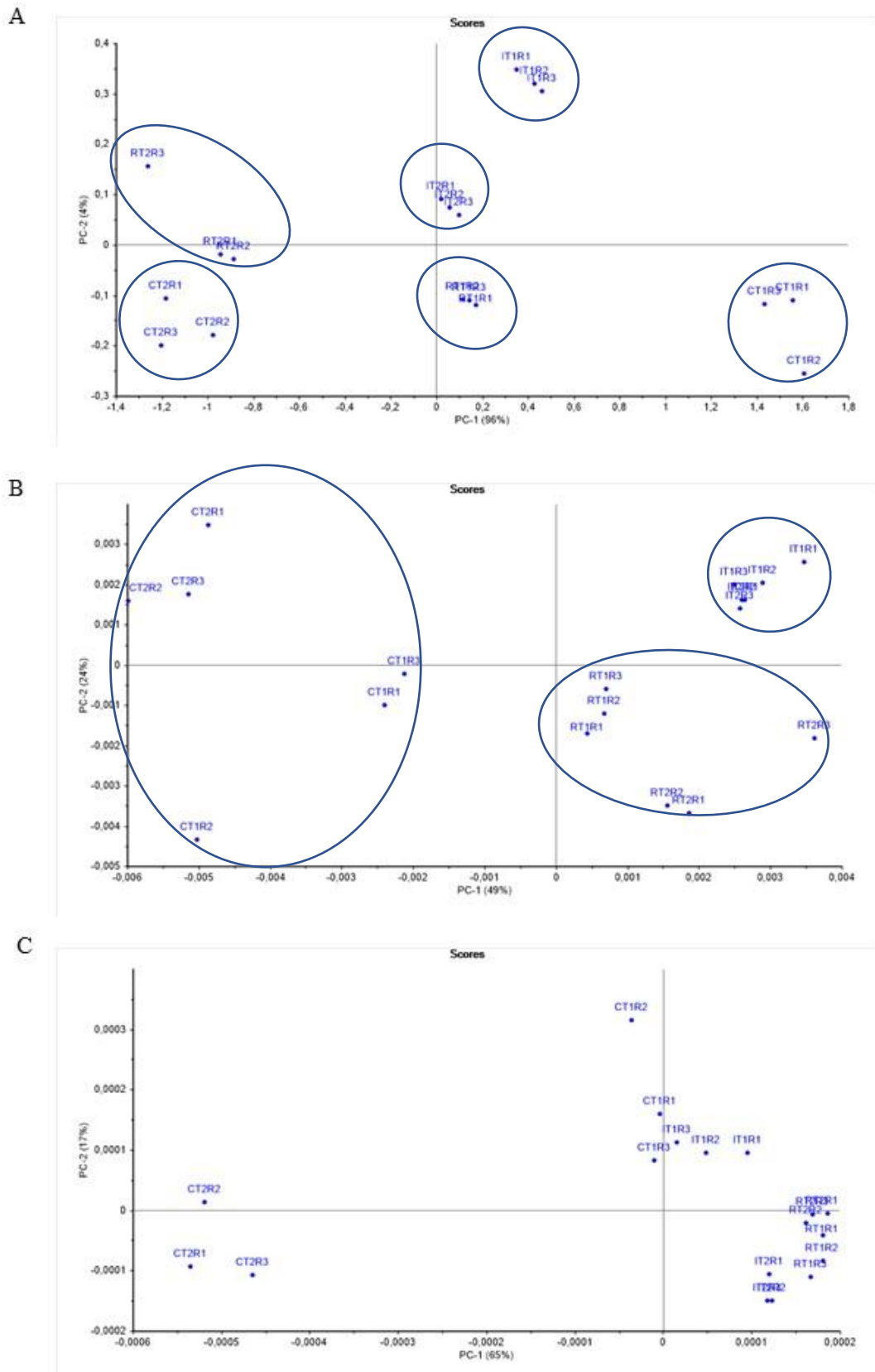
### 3.2 Análise de componentes principais

Para a análise dos dados foi utilizado o método de componentes principais (do Inglês *principal component analysis* ou PCA), essa técnica possibilita observar a correlação entre as variáveis por meio de combinações lineares. Introduzida no ano de 1901 por Karl Pearson, o

PCA é uma ferramenta que tem por objetivo diminuir a dimensionalidade dos dados, possibilitando uma melhor interpretação dos resultados (BRUNI, 2021). Alguns autores na literatura empregaram esta mesma técnica e obtiveram bons resultados, dentre os que se destacam Batista (2016) que conseguiu diferenciar madeiras maciças das famílias fabaceae, euphorbiaceae e combretaceae, Ramalho et al. (2017) conseguiram diferenciar os carvões produzidos em diferentes temperaturas finais a partir de madeiras nativas e plantadas.

Na figura 6 (A, B e C) está apresentado o gráfico de “scores” da PCA a partir dos espectros originais e tratados matematicamente com a primeira derivada e segunda derivada, respectivamente. Conforme apresentado, para os espectros originais as PC 1 e PC 2 juntas explicam 100% da variância sendo observado ainda um agrupamento entre as espécies e temperaturas finais. Em contra partida, para os espectros de primeira e segunda derivada as PC1 e PC2 juntas explicam 73% e 82% respectivamente. No entanto o tratamento de primeira derivada proporcionou o melhor resultado, sendo possível observar graficamente (6B) a separação das amostras por espécies.

**Figura 06** - PCA Espectros originais (A), espectros tratados pela primeira derivada (B) e segunda derivada (C).



Fonte: O autor.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de PCA, por meio de espectros coletados em um espectrômetro NIR portátil, possibilitou diferenciar amostras de carvão vegetal oriundos das espécies: *Handroanthus rosealba* (ipê-branco), *Piptocarpha rotundifolia* (coração-de-negro) e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-roxo) nativas do cerrado. Onde os dados originais do carvão consegui diferenciar as espécies e marchas de carbonização e o tratamento de primeira derivada consegui diferenciar apenas por espécies.

A partir das imagens espectrais foi também possível observar diferenças entre as amostras de carvão produzidas em diferentes temperaturas de carbonização e diferentes espécies. O espectro NIR portátil juntamente com análise de componentes principais mostrou-se uma ferramenta com potencial para diferenciar carvão de espécies nativas podendo ser uma metodologia empregada para auxiliar no controle e fiscalização de espécies florestais.

## REFERÊNCIAS

BATISTA, F, R, R. **Uso potencial do infravermelho próximo na discriminação de madeira e carvão de espécies da caatinga**. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 88. 2016.

BELCHIOR, I. B; SABBAG, O, J; POLINI, D, M, S, S; PEREIRA, V, G, M. F; PACHECO, A. Custos e viabilidade econômica na produção de carvão vegetal no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Mato Grosso do Sul, v. 8, n. 3, p. 168-176, out. 2017.

BROWNING, B, L. The chemistry of wood. New York, John Wiley & Sons, 1963.

BRUNI, A. **Aplicação de quimiometria e espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier e reflectância total atenuada na avaliação de canela (cinnamomum) orgânica**. Tese (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, p. 58. 2021.

CANAL, W, D; CARVALHO, A, M, M, L; OLIVEIRA, A, C; MAGALHÃES, M, A; CÂNDIDO, W, L; FIALHO, L, F. Comportamento térmico e emissão de gases condensáveis e não condensáveis no processo de carbonização da madeira. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Viçosa, v. 36, n. 87, p. 261-267, set. 2016.

CARNEIRO, A, C, O; SANTOS, R, C; CASTRO, R, V, O; CASTRO, A, F, N, M; PIMENTA, A, S; PINTO, E, M; ALVES, I, C, N. Estudo da composição térmica da madeira de oito espécies da região do Seridó, Rio Grande do Norte. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 37, p. 1153-1163, out. 2013.

COSTA, L, R. **Aplicação da espectroscopia no infravermelho próximo para avaliação do carvão vegetal**. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras. Lavras, p. 60. 2017.

DAVRIEUX, F; ROUSSET, P, L, A. Discrimination of native wood charcoal by infrared spectroscopy. **Quim. Nova**, v. 33, n. 5, p. 1093-1097, abr.2010.

GONÇALVES, T.A.P; SCHEEL-YBERT, R. Contra o carvão ilegal: estudo da anatomia da madeira pode ajudar a salvar florestas nativas. **Ciência hoje**, v. 242, p.74-76, 2012.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. IBÁ 2021. Brasília, DF, 2021. Relatório anual 2021. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>

MACEDO, L. P. R; RAMBO, M. K. K. Biorrefinarias: caracterização de biomassas residuais do Tocantins por espectroscopia nir aliada a quimiometria visando a obtenção de insumos químicos e condicionadores de solo. **Revista Desafios**, Araguaína, v. 3, n. especial, p. 49-54, fev. 2017.

Machado, R.B., M.B. Ramos Neto, P. Pereira, E. Caldas, D. Gonçalves, N. Santos, K. Tabor & M. Steininger. 2004. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservation International do Brasil, Brasília.



NISGOSK, S; MUÑIZ, G, I, B; MORRONE, S, R; SCHARDOSIN, F, Z; FRANÇA, R, F. NIR and anatomy of wood and charcoal from Moraceae and Euphorbiaceae species. **Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Paraná, v. 6, n. 3, p. 183-190, nov. 2015.

Pettersen, R.C. The chemical composition of wood. *Advances in chemistry series*, 1984.

RAMALHO, F. M. G; HEIN, P, R, G; ANDRADE, J, M; NAPOLI, A. Potential of Near-Infrared Spectroscopy for Distinguishing Charcoal Produced from Planted and Native Wood for Energy Purpose. **Energy & Fuels**, Washington, v. 31, n. 2, p. 1593–1599, Jan. 2017.

ROSSO, S. **Predição das propriedades de Eucalyptus gradis maiden por espectroscopia no infravermelho próximo**. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 125. 2010.

SAVITZKY, A.; GOLAY, M, J, E. Smoothing and differentiation of data by simplified least-squares procedures. **Analytical Chemistry**, Washington, v.36, n.8, p.1627-1639, 1964.

SILVA, C, A, C, P; JUNIOR, C, A, S; SHIRATSUCHI, L, S; LIMA, M; ROSSI, F,S; SANTOS, R, C. Discriminação hiperespectral de mudas de eucalyptus urophylla x eucalyptus camaldulensis (VM-01) em condição de deficiência e toxicidade de boro. In: Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2019, Santos. **Anais eletrônicos**. São José dos Campos, INPE, 2019.

TERDWONGWORAKUL, A; THANAPASE, V, P, W; TSUCHIKAWA, S. Rapid assessment of wood chemical properties and pulp yield of Eucalyptus camaldulensis in Thailand tree plantations by near infrared spectroscopy for improving wood selection for high quality pulp. **The Japan Wood Research Society** 2005, v. 51, n. 2, p. 167-171, fev. 2004.