

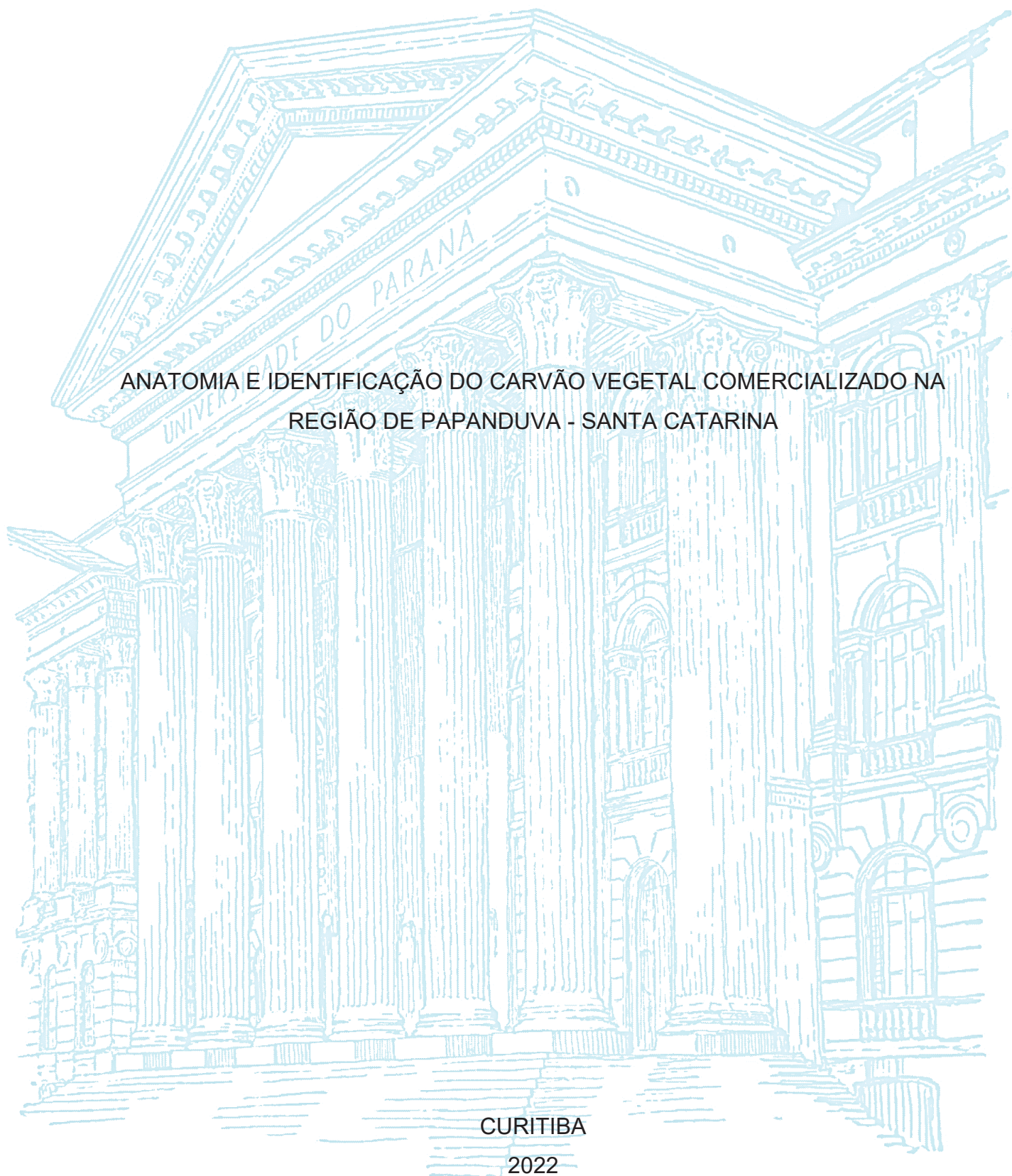
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FRANCIELE GMACH

ANATOMIA E IDENTIFICAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL COMERCIALIZADO NA  
REGIÃO DE PAPANDUVA - SANTA CATARINA

CURITIBA

2022



FRANCIELE GMACH

ANATOMIA E IDENTIFICAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL COMERCIALIZADO NA  
REGIÃO DE PAPANDUVA - SANTA CATARINA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski.

Coorientadores: Prof. Dr. Rafael Cubas  
Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Simone Ribeiro Morrone

CURITIBA

2022

Ficha catalográfica elaborada pela  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Gmach, Franciele

Anatomia e identificação do carvão vegetal comercializado na região de Papanduva - Santa Catarina / Franciele Gmach. – Curitiba, 2022.

1 recurso on-line : PDF.

Orientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Coorientadores: Prof. Dr. Rafael Cubas

Profa. Dra. Simone Ribeiro Morrone

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 10/03/2022.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Carvão vegetal - Papanduva (SC). 2. Carvão vegetal - Comércio - Papanduva (SC). 3. Carbonização. 4. Mata Atlântica. 5. Teses.  
I. Nisgoski, Silvana. II. Cubas, Rafael. III. Morrone, Simone Ribeiro.  
IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.867(816.4)

Bibliotecária: Berenice Rodrigues Ferreira – CRB 9/1160



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA  
FLORESTAL - 40001016015P0

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **FRANCIELE GMACH** intitulada: **ANATOMIA E IDENTIFICAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL COMERCIALIZADO NAREGIÃO DE PAPANDUVA - SANTA CATARINA**, sob orientação da Profa. Dra. SILVANA NISGOSKI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestra está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 10 de Março de 2022.

Assinatura Eletrônica

10/03/2022 12:55:49.0

SILVANA NISGOSKI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

11/03/2022 07:56:41.0

PATRICIA SOFFIATTI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ )

Assinatura Eletrônica

10/03/2022 13:22:31.0

MARTHA ANDREIA BRAND

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA)

---

Avenida Lothário Meissner, 632 - CURITIBA - Paraná - Brasil

CEP 80210-170 - Tel: (41) 3360-4212 - E-mail: [pgfloresta@gmail.com](mailto:pgfloresta@gmail.com)

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 161544

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp> e insira o código 161544

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família, ao meu pai Geraldo Gmach, minha mãe Ivanete Iglkowski Gmach, minha irmã Ana Cristina Gmach, e ao meu namorado Tiago Müldenberger, pelo apoio incondicional ao longo dessa jornada, servindo-me de base e incentivando-me para que eu extraísse o meu melhor.

À orientadora, Professora Dra. Silvana Nisgoski, que proporcionou os recursos e ferramentas necessárias para que eu pudesse concluir a pesquisa. Agradeço a paciência e principalmente a disponibilidade para auxiliar e dar suporte nas minhas dificuldades, nas correções.

À Universidade Federal do Paraná - UFPR, pela estrutura disponibilizada para realização deste projeto. À Agência CAPES pela concessão de bolsa e aporte de recursos financeiros.

À Deus, que me deu o dom da vida e me abençoar todos os dias com o seu amor infinito, possibilitando mais uma conquista.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, em especial aos Professores (as) e Amigos (as), o meu agradecimento!

*“A persistência é o caminho do êxito.”*

*Charles Chaplin*

## RESUMO

A antracologia tem por princípio a análise e identificação de carvões com base na anatomia da madeira. A carbonização da madeira não interfere no aspecto qualitativo das características anatômicas do carvão, o que possibilita a identificação do material carbonizado por meio da descrição dos elementos anatômicos, sendo a técnica de antracologia, uma importante ferramenta para fiscalização. Assim, este trabalho teve por objetivo identificar e descrever anatomicamente as espécies comercializadas na forma de carvão na região de Papanduva – SC, a fim de fornecer informações técnicas para auxiliar na identificação de espécies pertencentes ao bioma Mata Atlântica. Foram adquiridas embalagens de 3 a 10 kg de carvão vegetal comercializado em Papanduva – SC, realizada uma pré-seleção das peças com maior similaridade e obtenção de imagens no estereomicroscópio e microscopia eletrônica de varredura, para posterior descrição dos elementos anatômicos dos agrupamentos e identificação da espécie. Verificou-se adulteração do conteúdo das embalagens de carvão vegetal analisadas, contendo tanto espécies do grupo das angiospermas, como gimnospermas. Foram encontradas amostras, em ordem decrescente de frequência, dos gêneros *Eucalyptus/Corymbia*, *Ocotea/Nectandra*, *Acacia*, *Pinus*, *Araucaria*, *Alchornea*, *Casearia*, *Cedrela*, *Eugenia*, *Hieronyma*, *Ilex*, *Schinus* e *Zanthoxylum*. Observou-se a predominância do gênero *Eucalyptus/Corymbia* proveniente de florestas plantadas, mas a presença de *Araucaria*, espécie na lista das ameaçadas de extinção, mostra a importância da fiscalização e conscientização dos produtores. A anatomia do carvão revelou que a carbonização não altera significativamente as estruturas anatômicas, o que possibilita a utilização dos seus elementos para discriminação das espécies.

**Palavras-chave:** carbonização, Mata Atlântica, espécies nativas, estrutura anatômica.

## ABSTRACT

Antracology has the principle of analysis and identification of charcoal based on wood anatomy, applying the presuppose that wood carbonization do not interfere in qualitative aspects of anatomical characteristics of charcoal, making possible the identifications of carbonized material in function of anatomical elements description, being an important tool for supervision. So, this dissertation had the objective to identify and describe anatomically wood species marketed as charcoal in the region of Papanduva – SC, southern Brazil to provide technical information to help in identification of species from Mata Atlantica biome. Packages of 3 to 10 kg of charcoal were acquired in commerce of Papanduva and a pre-selection was done grouping similar pieces and obtaining images in a stereomicroscope and with scanning electron microscopy, for posterior anatomical description and material identification. It was verified adulterations in some evaluated charcoal packages, including genus from both angiosperm and gymnosperm groups. It was found samples, in decrescent frequency order, from genus *Eucalyptus/Corymbia*, *Ocotea/Nectandra*, *Acacia*, *Pinus*, *Araucaria*, *Alchornea*, *Casearia*, *Cedrela*, *Eugenia*, *Hieronyma*, *Ilex*, *Schinus* and *Zanthoxylum*. The predominance of genus *Eucalyptus/Corymbia* from planted forest was observed, but the presence of genus *Araucaria*, present in the list of endangered species, indicate the importance of supervision and conscientization of producers. Charcoal anatomy revealed that carbonization do not change significantly anatomic structure disposition, being possible its application in species discrimination.

**Keywords:** carbonization, Mata Atlantica, native species, anatomical structure.



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	- LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE PAPANDUVA EM SANTA CATARINA. ....	27
FIGURA 2	- ESQUEMA DO PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE. ....	29
FIGURA 3	- IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO DA SUPERFÍCIE TRANSVERSAL DOS DIFERENTES GÊNEROS IDENTIFICADOS NO CARVÃO VEGETAL COLETADO. a) <i>Pinus</i> sp.; b) <i>Araucaria angustifolia</i> ; c) <i>Acacia</i> sp.; d-f) <i>Eucalyptus/Corymbia</i> spp.; g) <i>Alchornea</i> sp., h) <i>Casearia</i> sp., i) <i>Cedrela</i> sp., j) <i>Eugenia</i> sp., k) <i>Hieronyma</i> sp., l) <i>Ilex</i> sp., m-n) <i>Ocotea/Nectandra</i> sp.; o) <i>Schinus</i> sp., p) <i>Zanthoxylum</i> sp.....	32
FIGURA 4	- IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO DA SUPERFÍCIE TRANSVERSAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS DO GÊNERO <i>Eucalyptus/Corymbia</i> . ....	34
FIGURA 5	- IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO DA SUPERFÍCIE TRANSVERSAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS DO GÊNERO <i>Ocotea/ Nectandra</i> . ....	34
FIGURA 6	- IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO (a) E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (b-d) DO CARVÃO DE <i>Pinus</i> sp. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c) E TANGENCIAL (d)....	37
FIGURA 7	- IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO (a) E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (b - e) DO CARVÃO DE <i>Araucaria angustifolia</i> .. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c) E TANGENCIAL (d). ....	38
FIGURA 8	- IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - f) DO CARVÃO DE <i>Acacia</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c, e) E TANGENCIAL (d, f) .....	39
FIGURA 9	- IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a-h) DO CARVÃO DE <i>Eucalyptus/Corymbia</i> sp. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c,e,f) E TANGENCIAL (d,g,h).. ....	40

FIGURA 10 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE <i>Alchornea</i> sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). .....	41
FIGURA 11 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE <i>Casearia</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). .....	42
FIGURA 12 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE <i>Cedrela</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). .....	43
FIGURA 13 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE <i>Eugenia</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e) .....	44
FIGURA 14 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE <i>Hieronyma</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e).. .....	45
FIGURA 15 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE <i>Ilex</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b,d) E TANGENCIAL (c,e) .....	46
FIGURA 16 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - f) DO CARVÃO DE <i>Ocotea/Nectandra</i> . PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (d) E TANGENCIAL (b,c,e,f).. .....	47
FIGURA 17 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - d) DO CARVÃO DE <i>Schinus</i> sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (c) E TANGENCIAL (b,d). .....	48
FIGURA 18 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - d) DO CARVÃO DE <i>Zanthoxylum</i> sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (c) E TANGENCIAL (b,d). .....	49

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

QUADRO 1 - FASES DA CONVERSÃO DA MADEIRA EM CARVÃO VEGETAL.....20

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DAS EMBALAGENS ESTUDADAS.....30

TABELA 2 – ESPÉCIES DESCRITAS E OBSERVADAS NAS AMOSTRAS DE  
CARVÃO VEGETAL ESTUDADAS.....32

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

DOF – Documento de Origem Florestal

EPE - Empresa de Pesquisa Energética

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MME – Ministério de Minas e Energia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	16
1.1.1 Objetivo geral .....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>17</b>
2.1 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL .....	17
2.2 PROPRIEDADES DO CARVÃO .....	19
2.3 COMERCIALIZAÇÃO E FISCALIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL.....	22
2.4 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DO CARVÃO E ANTRACOLOGIA .....	25
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
3.1 COLETA DO CARVÃO VEGETAL .....	27
3.2 ANÁLISE .....	28
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
4.1 AVALIAÇÃO DA ADULTERAÇÃO .....	30
4.2 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DAS AMOSTRAS AVALIADAS .....	35
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A diversidade da Mata Atlântica está relacionada à sua extensão em latitude e variações em altitude, que propiciam ao bioma maior variabilidade de clima, de topografia e tipo de solo (ALMEIDA, 2016; CANEI et al., 2018). Atualmente o bioma, é considerado um dos 34 “hotspots” de biodiversidade do mundo (LAGOS; MULLER, 2009), atrelado ao alto nível de endemismo (CANEI et al., 2018).

A Mata Atlântica encontra-se entre os biomas brasileiros com os maiores índices de desmatamento, o que junto da escassez de áreas preservadas, é considerado um dos mais ameaçados (JENKINS et al., 2013). O bioma Mata Atlântica, está extremamente fragmentado, com áreas reduzidas a 12% do original, restrita a fragmentos florestais de até 50 hectares (RIBEIRO et al., 2009; RUSCA et al., 2017), principalmente nas regiões sul e sudeste, com áreas em diversos estágios de degradação (CANEI et al., 2018).

Vários são os fatores que alavancam o desmatamento ilegal, contribuindo para a fragmentação do Bioma Mata Atlântica. Espécies florestais nativas são afetadas para exploração dos recursos naturais na forma de extrativismo, desmatamentos para o desenvolvimento de atividades agropecuárias, além da expansão urbana, e produção ilegal de carvão. Para CARVALHO et al. (2017), mesmo que no Brasil ocorra um aumento significativo do uso de madeira de reflorestamento para a produção de carvão, boa parte do carvão produzido ainda é proveniente de atividades não regulamentadas pelo órgão ambiental dentro da floresta nativa, o que pode ser explicado, em parte, pela falta de fiscalização das derrubadas ilegais.

Para GONÇALVES e SCHEEL-YBERT (2012), no contexto ambiental, a produção de carvão vegetal proveniente de florestas plantadas é considerada energia limpa e renovável, por apresentar saldo de carbono positivo. Estas florestas plantadas, principalmente as de rápido crescimento, durante seu desenvolvimento, possuem um importante papel na mitigação das mudanças climáticas, devido à capacidade das árvores absorver dióxido de carbono da atmosfera e armazená-lo na forma de biomassa florestal (SUSAETA et al., 2017).

O carvão vegetal obtido a partir de tecnologias e recursos geridos de forma sustentável deve ser considerado um baixo emissor de gases efeito estufa, sendo uma alternativa de mitigação, além de ampliar o acesso à energia e oportunidades para geração de renda (IIYAMA et al., 2014; FAO, 2017; ZORRILLA-MIRAS et al., 2018).

Situação oposta é observada com carvão produzido a partir de fornos rudimentares e de florestas nativas sem plano de manejo sustentável ou qualquer regulamentação da atividade, ocorre a extração de árvores, que implica no saldo de carbono negativo (GONÇALVES; SCHEEL-YBERT, 2012) e corrobora com o crescimento das taxas de desmatamento e fragmentação dos biomas. Realidade que é agravada pela aceitação dos pequenos e grandes comércios em comercializar produto sem procedência e de origem não sustentável, atividade essa, favorecida pela falta de pessoas capacitadas para realizar ações de fiscalização, visando inibir esse tipo de comercialização.

Segundo CHIDUMAYO e GUMBO (2013) o carvão vegetal contribui com aproximadamente 7% das práticas relacionadas ao desmatamento no mundo. Estima-se que durante a carbonização sejam emitidos 1 a 2,4 Gt de dióxido de carbono por ano, e em operações muito ineficientes a emissão de gases de efeito estufa, inclusive devido ao desmatamento, pode chegar a 9 kg de CO<sub>2</sub> por quilo de carvão vegetal produzido (IIYAMA et al., 2014).

A produção ilegal de carvão vegetal impacta fortemente a Amazônia, o Pantanal, o Cerrado, mas a Caatinga e a Mata Atlântica vem sendo afetadas de modo preocupante (REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL, 2012). Para mitigar o impacto ambiental, causado pela produção e comercialização ilegal do carvão vegetal *in natura*, estão entre as medidas de controle implementadas, o Documento de Origem Florestal (DOF) instituído pela Portaria n° 253, de 18 de agosto de 2006, do Ministério do Meio Ambiente (MMA). O DOF é definido como uma licença obrigatória para controle do transporte e armazenamento de produtos e subprodutos florestais de origem nativa, contendo as informações sobre a procedência e saldo dos produtos e subprodutos florestais, nos termos do art. 36 da Lei n° 12.651, de 25 de maio de 2012 (IBAMA, 2016).

E recentemente, para atuar em conjunto com a legislação, vem recebendo destaque, o uso da antracologia como ferramenta de identificação, e potencial uso na fiscalização (GONÇALVES; SCHEEL-YBERT, 2007, GONÇALVES et al., 2008; GONÇALVES et al., 2009) e controle de carvão vegetal de procedência irregular (CARVALHO et al., 2017). A antracologia é uma ciência multidisciplinar que tem por princípio a análise e identificação de carvões com base na anatomia da madeira (PRIOR; GASSON, 1993; GONÇALVES, 2010), a qual só é possível porque a estrutura anatômica do lenho se mantém relativamente intacta após a carbonização,

permitindo a determinação taxonômica (PRIOR; GASSON, 1993; KIM; HANNA, 2006; CARVALHO et al., 2017).

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo geral

- Este trabalho teve por objetivo geral identificar as espécies comercializadas na forma de carvão na região de Papanduva – SC.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Descrever anatomicamente as espécies comercializadas na forma de carvão na região de Papanduva – SC;
- Discriminar as espécies presentes no comércio de carvão;
- Avaliar a porcentagem de identificação incorreta das espécies.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

O carvão é resultado da combustão parcial de elementos vegetais, cujas principais características são: coloração negra, brilho, sedoso ao toque (macroscópicas), paredes celulares homogeneizadas e estruturas celulares bem preservadas (microscópicas) (JONES; CHALONER, 1991; SCOTT, 2000; 2010).

O carvão vegetal é um material carbonáceo, obtido por meio da carbonização ou pirólise lenta da madeira (máximo de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ ) (ASSIS et al., 2016), processo que ocorre na ausência ou presença controlada de oxigênio (RONSSE et al., 2015). Durante a carbonização, a madeira é convertida em três frações com características distintas, uma composta por gases não condensáveis (dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, hidrogênio, etc.), outra formada de gases condensáveis e a terceira, a sólida, que é caracterizada por possuir elevado teor de carbono (DHYANI; BHASKAR, 2017; VOLPE et al., 2017).

### 2.1 PROCESSOS DE PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

A fabricação de carvão vegetal é prática conhecida desde longa data na história da humanidade havendo referências de sua fabricação há vários séculos, com grande desenvolvimento principalmente durante o curso da 2ª Guerra Mundial (BRITO; BARRICHELO, 1981). Nas últimas décadas, a cadeia produtiva de carvão vegetal tem buscado a modernização e melhoria da tecnologia empregada na conversão da madeira em carvão, além de substituir a matéria-prima oriunda da mata nativa por madeira do gênero *Eucalyptus* obtida através das florestas plantadas, alcançando, assim, maior qualidade e homogeneidade do produto (REZENDE; SANTOS, 2010).

A produção de carvão vegetal ocorre em ambientes fechados, com condições controladas de oxigênio, aplicando-se calor à madeira para sua pirólise e para o desdobramento de seus constituintes em gases, líquidos e sólidos (REZENDE, 2006). O processo de produção de carvão vegetal consiste basicamente na pirólise (carbonização) da madeira, em um ambiente com baixo teor de oxigênio (CHIDUMAYO, 1993), onde a partir de  $150^{\circ}\text{C}$ , inicia-se o processo de carbonização.

O principal objetivo da carbonização é a eliminação da maior parte do oxigênio e do hidrogênio presente na madeira pela ação do calor e, conseqüentemente,

aumentar a concentração do carbono na fração sólida, obtendo como produto final o carvão vegetal (VALE; GENTIL, 2008).

O processo de carbonização pode ser dividido em quatro fases (ASSIS et al., 2016), conforme apresentado no Quadro 1, podendo variar o número de fases de acordo com os critérios de divisão. Entre 350 e 500°C, ocorre a diminuição das emissões de gases e elevação do teor de carbono (REZENDE, 2006).

QUADRO 1: FASES DA CONVERSÃO DA MADEIRA EM CARVÃO VEGETAL.

<b>FASE</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>REAÇÃO</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
I	Abaixo de 180 °C	Secagem	Remoção de água do lenho, perda de substâncias voláteis e de extrativos.
II	180 °C a 280 °C	Pré-carbonização	Liberação de voláteis, intensifica-se o processo de pirólise, degradação das hemiceluloses, ácido acético, ácido fórmico, metanol, dióxido de carbono, monóxido de carbono e outros.
III	300 a 500 °C	Carbonização	Há degradação térmica das hemiceluloses, celulose e lignina. Emissão de materiais voláteis. Formação de alcatrão e ácido pirolenhoso é máxima, assim como a taxa de decomposição térmica da madeira. O resíduo sólido dessa fase é o carvão vegetal.
IV	Acima de 500 °C	Gaseificação	Liberação principalmente de hidrogênio. Para maximizar o rendimento gravimétrico é ideal que a temperatura final de carbonização não exceda 400 °C.

FONTE: ADAPTADO (ASSIS et al., 2016).

A produção de carvão vegetal é dependente da tecnologia de conversão, ou seja, do tipo de forno, além das características da madeira utilizada nas carbonizações e da mão de obra empregada (OLIVEIRA et al., 2017). No que se refere à matéria-prima, diversas pesquisas envolvendo as propriedades da madeira vêm sendo realizadas com o intuito de promover a seleção de espécies do gênero *Eucalyptus* spp. destinadas à conversão energética para produção de carvão (NEVES et al., 2011; SANTOS et al., 2012; PEREIRA et al., 2013a; NONES et al., 2015; SILVA et al., 2015).

Os principais sistemas produtivos de carvão vegetal no país são os fornos de alvenaria e os fornos metálicos. Os fornos de alvenaria são do tipo rabo quente (ou meia laranja), do tipo colmeia, e fornos retangulares, enquanto os fornos construídos com material metálico são do tipo *container* e do tipo cilíndrico metálico vertical (REZENDE; OLIVEIRA, 2001).

Os fornos tipo rabo quente são ainda os modelos predominantes no Brasil, feitos de alvenaria com tijolos comuns e geralmente sem chaminé, pelo qual o controle da carbonização baseia-se em fatores subjetivos, tais como coloração da fumaça e temperatura externa do forno sentida pelo tato das mãos (ARRUDA et al., 2011), nesses tipos de fornos, há grande dificuldade no controle das emissões de gases poluentes.

Nos últimos anos, as empresas produtoras de carvão vegetal que fazem uso dos fornos retangulares têm adotado a queima dos gases da carbonização utilizando uma fornalha acoplada aos fornos, reduzindo assim as emissões de gases poluentes (OLIVEIRA et al., 2017). O modelo produtivo com fornos retangulares é construído também de alvenaria, com tijolos comuns e estrutura de concreto (ARRUDA et al., 2011). A alternativa aos sistemas compostos por fornos de alvenaria são os fornos cilíndricos metálicos, que realizam a produção integrada de carvão vegetal em um sistema auxiliar de recuperação e aproveitamento dos gases/fumaça da carbonização, o que permite o aproveitamento dos subprodutos oriundos do processo e a redução significativa das emissões atmosféricas (SILVA et al., 2014).

## 2.2 PROPRIEDADES DO CARVÃO

As variações nas propriedades da madeira, relacionadas ao material genético, idade, tratamentos silviculturais, entre outros, causam alterações fisiológicas no material, podendo acarretar alteração na qualidade do carvão vegetal produzido

(LATORRACA; ALBUQUERQUE, 2000). Ou seja, uma madeira com melhores propriedades como alta densidade básica, irá produzir um carvão também de alta densidade (TRUGILHO et al., 2001), assim como a temperatura, a velocidade de aquecimento na pirólise (SILVA et al., 2018), e o teor de umidade da madeira, que deve estar abaixo de 30% (CARDOSO, 2010), vão influenciar a qualidade e o rendimento do carvão vegetal.

A qualidade e a quantidade do carvão vegetal produzido dependem basicamente de características físico-químicas da madeira e do processo de produção (PEREIRA et al., 2013b). As frações sólida, líquida e gasosa, os efeitos sobre as propriedades físicas, químicas e energéticas do carvão vegetal, como a densidade, o teor de materiais voláteis, de cinzas, de carbono fixo e o poder calorífico superior, possuem relação direta com o processo de produção, e são influenciadas pela temperatura final de carbonização, sendo um importante parâmetro para definir a qualidade deste combustível sólido (TRUGILHO; SILVA, 2001; VILAS BOAS et al., 2010; AZEVEDO et al., 2013; COUTO et al., 2015; VIEIRA et al., 2013).

De acordo com Costa et al. (2018), para as indústrias que utilizam o insumo para energia ou como agente redutor, o processo de monitoramento das propriedades de interesse que afetam a qualidade do carvão vegetal é facilmente realizado afim de se obter uma produtividade com qualidade homogênea. No consumo doméstico por sua vez, grande parte do carvão é feito por pequenos produtores, geralmente de forma rudimentar, com pouca tecnologia e com matéria-prima inadequada, gerando um produto com qualidade duvidosa que não sofre nenhuma caracterização antes da sua comercialização (NUNES et al., 2020).

O tipo de madeira influencia na qualidade e nas propriedades que mais se desejam no carvão de acordo com seu destino, seja ele industrial, doméstico ou comercial (FROEHLICH; MOURA, 2014). O carvão vegetal para ser considerado de boa qualidade para uso doméstico deve apresentar elevada densidade, alto teor de carbono fixo, alto poder calorífico, baixa umidade, baixo teor de materiais voláteis e baixo teor de cinzas (RIBEIRO; VALE, 2006; ROSA et al., 2012; DIAS JÚNIOR et al., 2015).

O teor de carbono fixo do carvão vegetal é uma das características mais importantes no procedimento de qualificação, uma vez que está diretamente correlacionado com o poder calorífico desse combustível (BATAUS et al., 1989). O carbono fixo é a porção do carvão que permanece como resíduo após a remoção de

matéria volátil, umidade e cinzas (LOUREIRO et al., 2019). Os materiais voláteis representam a matéria volátil residual do carvão composta principalmente de hidrogênio, hidrocarbonetos, monóxido de carbono e dióxido de carbono (SANTOS, 2010), carvões com baixo teor de materiais voláteis queimam de forma mais limpa, sem geração de fumaça (KURAUCHI, 2014).

De acordo com PIMENTA e BARCELLOS (2004), para o uso na siderurgia o carvão deve atender a um conjunto de parâmetros de qualidade, que vai desde a qualidade da madeira até o tipo de equipamento e das condições operacionais de carbonização, destacando-se com acentuada influência para uso em alto-forno, as propriedades de reatividade, densidade, composição química, higroscopicidade e resistência mecânica. Para operação de alto-forno, o teor de carbono fixo maior que 75% é o preferido (BRUZUAL, 2015). Cinza é o resíduo inorgânico que permanece após a combustão; para uso de aço, o carvão deve ter no máximo 1,5% de cinzas (ROUSSET et al., 2011). As cinzas também podem afetar a queima e dificultar a gaseificação devido às interações entre a fração inorgânica e a matéria combustível (LIN et al., 1994).

A qualidade do carvão vegetal também pode ser avaliada pelos rendimentos gravimétricos e densidade relativa aparente, além da análise química imediata que determina a porcentagem de matéria volátil, carbono fixo e cinzas do carvão (LOUREIRO et al., 2019). O rendimento gravimétrico e a qualidade estão diretamente relacionados aos teores de lignina presentes na madeira, uma vez que se trata de um polímero que possui uma estrutura química aromática e de alta massa molar, o que a torna mais resistente termicamente quando comparado à celulose e às hemiceluloses (SJÖSTRÖM, 1993; ROWELL et al., 2005).

A densidade é uma característica fundamental no carvão vegetal, definida de três formas diferentes: densidade a granel (relação entre o peso em um determinado volume), densidade aparente (considera-se a porosidade do carvão) e densidade verdadeira (desconta-se o volume da porosidade interna) (SCREMIN, 2012). A fim de obter-se melhor qualidade do carvão vegetal é desejável a escolha por madeiras mais densas, com menor número de espaços vazios na madeira, definido pelos lumes e vasos (PEREIRA et al., 2016). Quanto mais denso, maior é o rendimento gravimétrico e a quantidade de energia por unidade de volume, além de caracterizar também um produto menos friável (SANTOS, 2010).

A friabilidade do carvão vegetal é sua capacidade de se fragmentar em pedaços, e assim, constitui uma característica física e intrínseca do material que proporciona uma elevada perda de rendimento final (DELATORRE et al., 2020). De modo geral, está relacionada com a umidade, diâmetro, comprimento da madeira e temperatura final de carbonização (CARDOSO, 2010). É uma propriedade relacionada à susceptibilidade em formar finos quando submetido a ação mecânica dentro do processo de fabricação. No manuseio e transporte são produzidos cerca de 25 a 30% de finos, material esse proveniente da friabilidade do carvão vegetal (SOMERVILLE; JAHANSHAH, 2015).

No Brasil, não há uma norma ou lei nacional que trate da qualidade do carvão de uso doméstico (COSTA et al., 2017). O único mecanismo que estabelece diretrizes é a Resolução SAA 40, de 14 de dezembro 2015 (SÃO PAULO, 2015). Este documento define os padrões mínimos de qualidade como base para Certificação de Produtos pelo Sistema de Qualidade de Produtos Agrícolas, Pecuários e Agroindustriais do Estado de São Paulo, instituído pela Lei 10.481, 29/12/1999, e a Resolução SAA 67, de 13 de setembro de 2012 (SÃO PAULO, 2015). No entanto, essa normativa é de adesão voluntária, o que não garante seu efetivo cumprimento (COSTA et al., 2017).

### 2.3 COMERCIALIZAÇÃO E FISCALIZAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

O Brasil desde o século XIX até o momento, posiciona-se como o principal produtor mundial de carvão vegetal (REZENDE; SANTOS, 2010; IBÁ, 2020), sendo o Estado de Minas Gerais o principal polo de consumo de carvão vegetal, e consequentemente engloba mais de 40% das empresas do setor carvoeiro no país (IBÁ, 2020). Em 2019, o setor teve um crescimento de 3,7% no consumo de carvão vegetal, chegando a 5,3 milhões de toneladas. O consumo do produto de fonte renovável aumentou de 4,9 para 5,1 milhões de toneladas em 2019, com relação ao ano anterior (IBÁ, 2020).

O carvão vegetal cada vez mais mostra-se de grande relevância na economia brasileira, em especial por sua função como agente redutor em siderúrgicas, transformando o minério de ferro em ferro-gusa, ligas metálicas e aço, os quais são insumos importantes para a economia nacional (OLIVEIRA et al., 2015; PECEGUEIRO et al., 2020). Com um 1/3 da produção mundial, a produção de carvão

vegetal no Brasil, é destinada ao atendimento da demanda dos segmentos industrial e residencial (PECEGUEIRO et al., 2020) e principalmente destinado à siderurgia (MEIRA et al., 2005; SANTOS; HATAKEYAMA, 2012).

O Brasil é o único país do mundo que usa o carvão vegetal na aplicação industrial em grande escala, com destino principal, a produção de ferro gusa e aço e ainda de ferro ligas (CALAIS, 2009; MME, 2015), que em 2019, consumiu aproximadamente 90% da produção total de carvão vegetal (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2020). Diferente dos demais países industrializados que utilizam carvão mineral, o Brasil é o único que utiliza o carvão vegetal em siderúrgicas, em parte devido à inexistência de jazidas de carvão mineral (do inglês, “coal”) na maioria dos Estados (exceto RS e SC) e também por ser um país rico em florestas (MORELLO, 2009).

Tradicionalmente o carvão está presente no cotidiano da população, sendo utilizado para aquecimento e também cocção de alimentos (PEDROSO et al., 2018; OLIVEIRA et al, 2019). Em 2019, a utilização doméstica, foi responsável por consumir cerca de 11% do total produzindo, totalizando 6197 toneladas (IBÁ, 2020), sendo destinado, principalmente, para a cocção de alimentos, como o churrasco (EPE, 2018).

O uso siderúrgico ou energético do carvão na indústria da Região Sul do Brasil é pouco significativo. No entanto, quando se fala em uso doméstico se destaca a sua aplicação para o preparo do churrasco, tendo em vista que esse alimento tem grande importância cultural para a população dos Estados do Sul (BRAND et al., 2015). No estado de Santa Catarina, o consumo médio de carvão vegetal residencial equivale a 48,6 kg pessoa<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (PASSOS et al., 2016), havendo uma forte correlação com o preparo de churrasco ( $r = 0,77$ ) que, juntamente com o número de pessoas na residência, foram as principais variáveis associadas ao consumo deste combustível para cocção (OLIVEIRA et al., 2019).

A compreensão da produção e do comércio de carvão vegetal tem implicações importantes para as áreas rurais e também grandes polos produtores, os quais atrelam-se ao desenvolvimento sustentável dos recursos florestais (BAUMERT et al., 2016). É necessário empreender ações para prevenir o comércio ilegal de madeira, tendo como problema potencial a dificuldade de identificação da origem do carvão vegetal, que podem ser oriundos de florestas plantadas ou madeira ilegal de florestas

nativas (GONÇALVES; SCHELL-YBERT, 2012), pois durante operações comerciais, o material de várias espécies é combinado e comercializado (VIEIRA et al., 2020).

A produção industrial de carvão vegetal no Brasil é fornecida principalmente por madeira de eucalipto, seguido por pinus (IBÁ, 2017; IBGE, 2020). Infelizmente, existem muitos casos em que a documentação de uma carga indica eucalipto, enquanto na realidade apresenta misturas de espécies nativas não regulamentadas (GONÇALVES et al., 2018).

A extração ilegal de madeira é escondida pela produção de carvão, porque a carbonização torna mais difícil a identificação das espécies (STÜPP et al., 2021). De acordo com STANGE et al. (2018) o uso de espécies nativas oriundas de florestas tropicais ocorre no mundo inteiro, porém, o uso de madeira nativa para a produção de carvão vegetal é proibido em muitas regiões, devido ao aumento da taxa de desmatamento (RAMALHO et al., 2017).

Carvão de madeira nativa é frequentemente misturado, por exemplo, com carvão de eucalipto, uma espécie plantada com características desejáveis para produção de carvão vegetal (STÜPP et al., 2021). Com base nisso, é necessário saber quais mudanças anatômicas que ocorrem durante a carbonização estão relacionados a cada espécie (STÜPP et al., 2021).

A fraude é difícil de identificar, devido à semelhança entre carvões quando observados a olho nu (RAMALHO et al., 2017). Além disso, a identificação de carvão vegetal por análise anatômica é demorada e requer técnicos altamente treinados (GONÇALVES et al., 2018). Técnicas alternativas de classificação de carvão estão sendo investigadas, como a análise de imagem (NISGOSKI et al., 2014; MARUYAMA et al., 2018).

Para mitigar a falta de controle dos processos de produção e distribuição de carvão vegetal no Brasil (GONÇALVES et al., 2018), medidas mitigatórias em relação à produção ilegal do carvão vegetal são realizadas com base nas regras do Documento de Origem Florestal (DOF) e a Lei Federal no. 12.651, conhecido como 'Novo Código Florestal' (IBAMA, 2016). Esses documentos são projetados para garantir a produção sustentável de carvão vegetal de plantio ou espécies nativas, com um plano de manejo florestal produzido como parte do processo de licenciamento ambiental (GONÇALVES et al., 2018), o que tem por objetivo legalizar a atividade e suprimir o comércio ilegal do carvão vegetal.



## 2.4 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DO CARVÃO E ANTRACOLOGIA

A anatomia da madeira está vinculada ao estudo das organizações vegetais que desenvolvem crescimento secundário, ou seja, o conjunto de células, de diferentes tipos que possuem propriedades específicas para desempenhar funções vitais, no tecido lenhoso do corpo do vegetal (BURGER; RICHTER, 1991). Assim sendo, muitos aspectos anatômicos da madeira podem ser notáveis para identificação e serem certificados a partir de uma análise macroscópica, estando relacionadas ao tamanho, forma e distribuição dos elementos celulares, raios, parênquima axial e vasos (BOTOSSO, 2009). Por convenção, as observações anatômicas adotam três planos básicos de observação: transversal, longitudinal tangencial e longitudinal radial (BURGER; RICHTER, 1991).

A identificação anatômica de madeiras apresenta duas principais abordagens, a macroscópica e a microscópica. As características anatômicas visíveis a olho “nu” ou com auxílio de uma lupa, são o arranjo e agrupamento de vasos, arranjo e abundância de parênquima axial e largura dos raios (WHEELER; BAAS, 1998). Na identificação microscópica são observadas as características dos tecidos e das células constituintes do lenho que não são distintas sem o uso de microscópio (ZENID; CECCANTINI, 2007).

O carvão, produto final da carbonização ou o resultado de uma combustão incompleta, mantém a estrutura anatômica da madeira que lhe deu origem, permitindo a identificação botânica na maioria das espécies (PRIOR; GASSON 1993; GONCALVES et al. 2012; MUÑIZ et al., 2012).

A identificação botânica é possível através da antracologia, que estuda o carvão com base em critérios de anatomia da madeira (SCHEEL et al., 1996), a qual depende das características anatômicas da espécie, do tamanho dos fragmentos do carvão e do estado de preservação (MARGUERIE; HUNOT, 2007).

Após o processo de carbonização, a aparência da madeira é influenciada pela temperatura de carbonização e pela proporção e distribuição de vasos, parênquima e fibras (GASSON et al. 2017). A identificação anatômica do carvão vegetal pode ser feita com base nas características intrínsecas das espécies e, caso haja um banco de dados, esse processo é facilitado (GONÇALVES et al. 2012; GONÇALVES; SCHEEL-YBERT 2016), sendo a anatomia comparativa da madeira a principal técnica aplicada (VIEIRA et al., 2020). Para a determinação taxonômica dos carvões é feita uma

comparação de sua estrutura anatômica com amostras de coleções de referência ou com descrições ou fotografias de obras de literatura (SCHEEL-YBERT, 2004), beneficiando-se dos conhecimentos já adquiridos na área de identificação de madeiras.

De acordo com VERNET e THIEBAULT (1987) identificar espécies a partir do lenho carbonizado é uma técnica bastante antiga, antes considerada muito lenta, mas com o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas e equipamentos de microscopia, esta análise tornou-se mais rápida e acessível. Também é possível avaliar o comportamento das estruturas anatômicas após carbonização (MUÑIZ et al., 2012).

Para SCHEEL-YBERT et al. (2006) a importância da antracologia tem a ver com sua facilidade de aplicação como ferramenta de identificação e conseqüentemente fiscalização e controle do carvão vegetal comercializado no Brasil, o que colabora para a conservação dos biomas brasileiros (GONÇALVES et al., 2014).

O Brasil é um dos países que vem desenvolvendo a metodologia para fins de fiscalização e controle da comercialização de carvão vegetal (GONÇALVES et al., 2012). A técnica começou a ser direcionada para o setor florestal a partir do ano de 2007 (GONÇALVES; SCHEEL-YBERT, 2007), apesar de introduzida no país no final da década de 90 (SCHEEL et al., 1996; SCHEEL-YBERT, 1998).

MUÑIZ et al. (2012), caracterizaram anatomicamente o carvão de dez espécies florestais, identificando o material com base nas células componentes e fornecendo subsídios e auxílio no controle de carvão ilegal. Estudos relacionados à anatomia do carvão vegetal como auxílio à identificação taxonômica de espécies visando à fiscalização e controle acerca da utilização de carvão ilegal estão sendo realizados (GONÇALVES et al, 2008; MUÑIZ et al, 2012; NISGOSKI et al., 2014; GONÇALVES; SCHEEL-YBERT, 2016; GONÇALVES, et al, 2018; BRAGA JUNIOR et al., 2021).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 COLETA DO CARVÃO VEGETAL

O estudo foi realizado majoritariamente no município de Papanduva (Figura 1), que está localizado na região do Planalto Norte de Santa Catarina, microrregião de Canoinhas, tendo como municípios limítrofes: Itaiópolis, Mafra, Major Vieira, Monte Castelo, Rio do Campo, Santa Terezinha, Três Barras, dos quais provieram algumas amostras de carvão vegetal coletadas no município de Papanduva.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO MUNICÍPIO DE PAPANDUVA EM SANTA CATARINA.



Fonte: Wikipedia (2021).

A coleta do carvão vegetal utilizado para o estudo foi realizada através da compra de embalagens no comércio local, visando obter uma variedade de marcas e origem dos produtos comercializados no município de Papanduva. Foram adquiridas sete embalagens de 3 a 10 kg e nomeadas com as respectivas letras do alfabeto A, B, C, D, E, F e G, com a origem da matéria prima utilizada e local de empacotamento conhecidos, conforme a tabela 1.

TABELA 1 – DESCRIÇÃO DAS EMBALAGENS ESTUDADAS.

<b>Amostra</b>	<b>Peso (kg)</b>	<b>Espécie constante na descrição</b>	<b>Origem do material</b>	<b>Local do empacotamento</b>
A	5	Essências florestais	Planalto Norte - SC	Planalto Norte - SC
B	3	Acácia	Rio Grande do Sul	Rio Grande do Sul
C	4	Eucalipto	Planalto Norte - SC	Planalto Norte - SC
D	10	Essências florestais	Planalto Norte - SC	Planalto Norte - SC
E	5	Eucalipto	Planalto Norte - SC	Planalto Norte - SC
F	3	Eucalipto	Planalto Norte - SC	Planalto Norte - SC
G	5	Eucalipto	Alto Vale do Itajaí-SC	Planalto Norte - SC

### 3.2 ANÁLISE

A análise foi realizada no Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da Universidade Federal do Paraná (LANAQM/UFPR) em Curitiba-PR. Cada uma das sete embalagens de carvão vegetal passou por um processo de seleção macroscópica a olho nu, buscando agrupar as peças que compartilhavam características macroscópicas, julgando-se de maior similaridade e identificar possível adulteração do carvão vegetal, para posterior análise óptica.

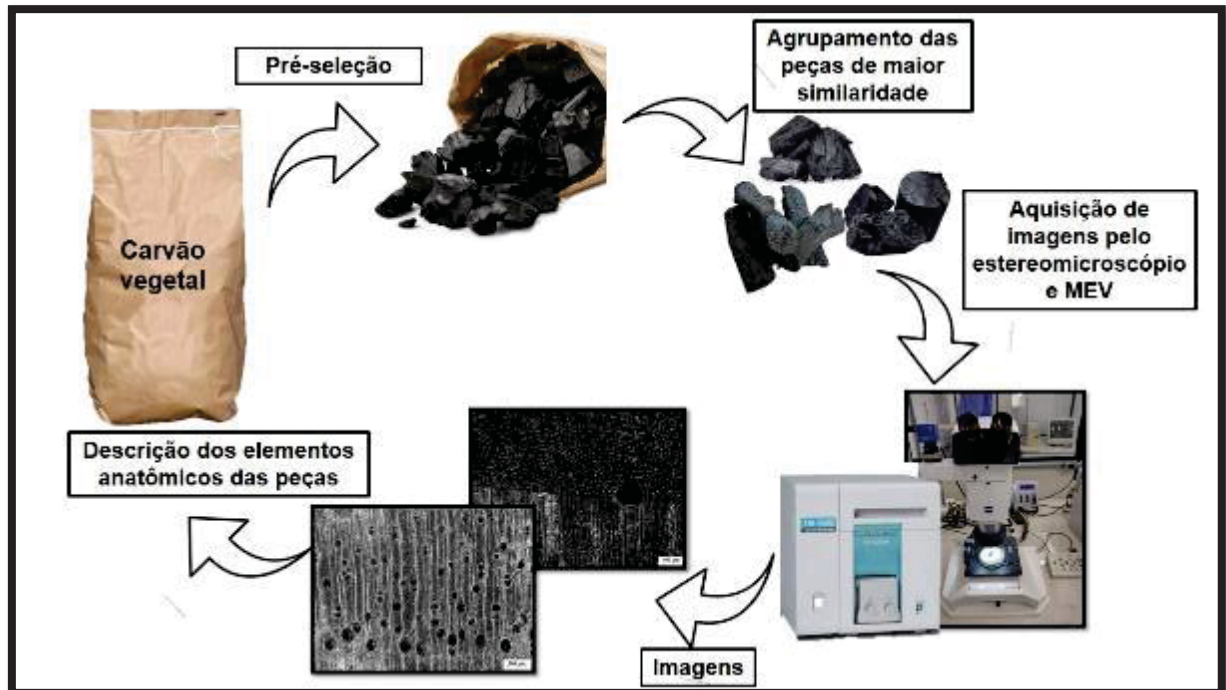
Os critérios utilizados para o agrupamento das peças de maior similaridade a olho nu foram: coloração do carvão, superfície mais ou menos brilhosa, densidade/peso relativo ao tamanho da peça, friabilidade, orientação da grã, visibilidade do anel de crescimento, arranjo, tamanho e frequência dos poros (quando visível).

As peças de cada grupo, foram quebradas manualmente e com auxílio da ferramenta formão, de acordo com os três planos de corte, o plano transversal, longitudinal tangencial e o longitudinal radial, para a aquisição das imagens e visualização das estruturas anatômicas.

A obtenção das imagens foi realizada nos aumentos de 10x, 25x, 50x, 75x e 100x, utilizando o estereomicroscópio Zeiss Discovery V12, priorizando as peças de maior tamanho, descartando-se os finos e as peças que impossibilitavam o alinhamento dos planos de corte. Para maior detalhamento e qualidade das imagens para visualização das estruturas anatômicas de cada grupo dividido dentro das embalagens, também foi realizada a coleta de imagens das peças do carvão vegetal,

com o microscópio eletrônico de varredura TM-1000 da Hitachi, conforme ilustrado na figura 2.

FIGURA 2 - ESQUEMA DO PREPARO DAS AMOSTRAS E ANÁLISE.



Fonte: Autora (2021).

As descrições dos elementos anatômicos foram feitas de acordo com as recomendações do IAWA Committee (IAWA, 1989). **Observação:** a classificação da espessura da parede da fibra foi feita pelo contraste visual entre o lume e a parede da fibra, com adaptação da norma do IAWA Committee (IAWA, 1989).

Após a descrição das amostras, o material foi identificado por meio da comparação da descrição anatômica das madeiras presente no InsideWood, Marchiori et al. (2009, 2010, 2011), Santos e Marchiori (2011), e com amostras da antracoteca do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira da UFPR.

Foram contadas todas as peças presentes em cada embalagem e quantificado o conteúdo adulterado. As amostras foram identificadas apenas a nível de gênero uma vez que no carvão, algumas propriedades organolépticas da madeira que poderiam contribuir na diferenciação não estão presentes.

Também, em função da grande similaridade de espécies, as amostras da família Lauraceae, popularmente conhecidas por canelas, foram identificadas como *Ocotea/Nectandra*. Além disso em função de plantios de diferentes espécies e clones de eucalipto, o carvão foi classificado como *Eucalyptus/Corymbia*.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.3 AVALIAÇÃO DA ADULTERAÇÃO

Na embalagem das amostras estudadas constava a descrição da matéria-prima utilizada na produção do carvão vegetal. Contudo, após análise anatômica, constatou-se que o conteúdo da embalagem nem sempre correspondia com a informação fornecida, sendo quantificada a adulteração em porcentagem conforme Tabela 2. Nas embalagens foram encontrados diferentes gêneros, tanto exóticas, como nativas pertencentes ao bioma Mata Atlântica, entre elas, espécies ameaçadas de extinção e características da tipologia florestal da Floresta Ombrófila Mista (FOM), como *Ocotea/ Nectandra* sp. e *Araucaria* sp.

TABELA 2 – ESPÉCIES DESCRITAS E OBSERVADAS NAS AMOSTRAS DE CARVÃO VEGETAL ESTUDADAS.

Amostra	Peso (kg)	Espécie constante na descrição	Conteúdo adulterado	Porcentagem adulterada (%)	Gêneros observados
A	5	Essências florestais	-	-	<i>Pinus, Cedrela, Eucalyptus/Corymbia, Zanthoxylum</i>
B	3	Acacia	Sim	75,9	<i>Acacia, Eucalyptus</i>
C	4	Eucalipto	Sim	100	<i>Alchornea, Casearia, Eugenia, Ilex, Ocotea/Nectandra, Schinus</i>
D	10	Essências florestais	-	-	<i>Araucaria angustifolia Hieronyma, Nectandra/Ocotea</i>
E	5	Eucalipto	Não	-	<i>Eucalyptus/Corymbia</i>
F	3	Eucalipto	Não	-	<i>Eucalyptus/Corymbia</i>
G	5	Eucalipto	Não	-	<i>Eucalyptus/Corymbia</i>

Das sete embalagens analisadas (A, B, C, D, E, F, G), cinco constavam em sua descrição, como produzido a partir de madeira de espécies plantadas (*Eucalyptus/Corymbia* spp., *Acacia* sp.), e duas como essências florestais. Do total apenas três (E, F, G) corresponderam com a descrição, contendo 100% de eucalipto. A embalagem que na descrição constava *Acacia* sp. (B), apresentou no seu conteúdo 24,1% de *Acacia* sp. e 75,9% de *Eucalyptus/Corymbia* spp., não sendo observada adulteração

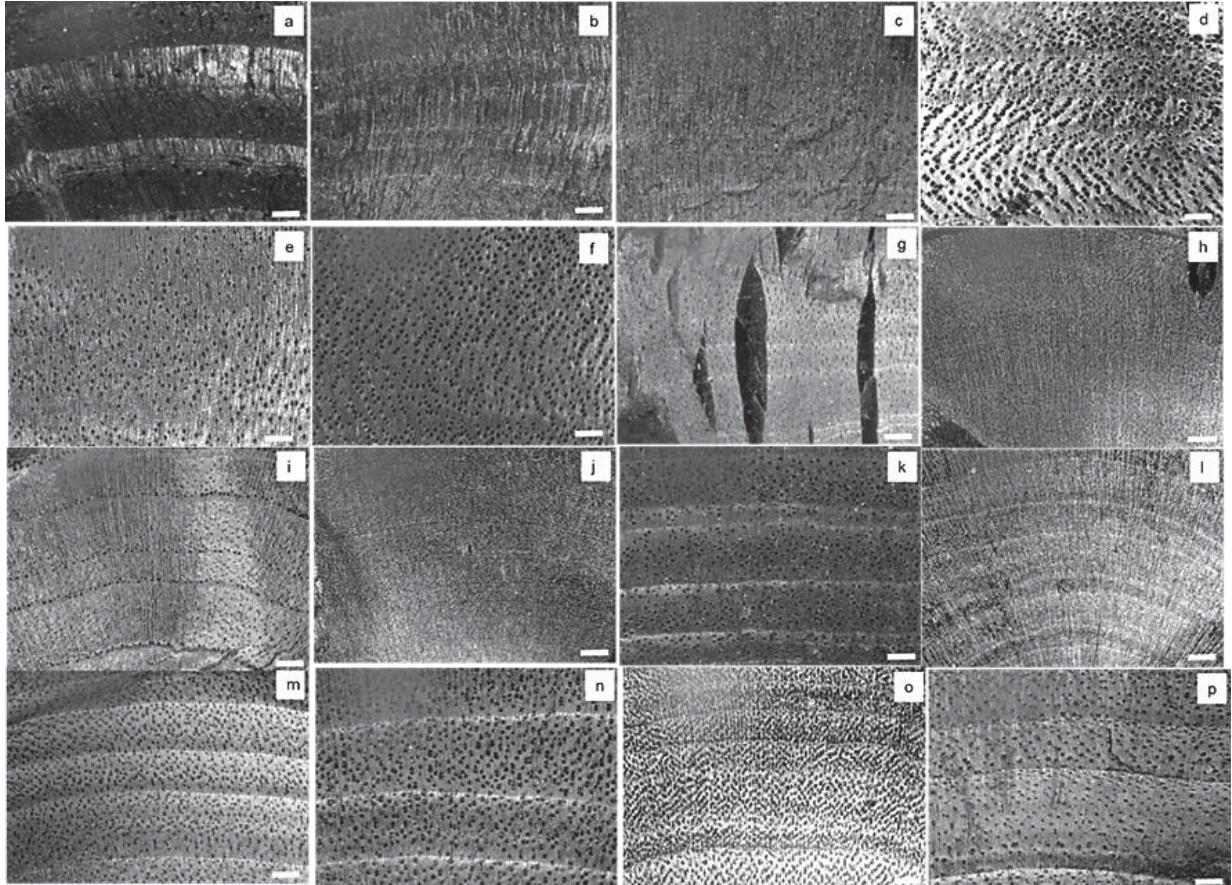
com espécies nativas. Uma embalagem (C) apresentou-se 100% adulterada com espécies nativas, sendo observado em 40,7% da embalagem o gênero *Ocotea/Nectandra* sp., e o restante, 59,3 %, distribuído nos gêneros de *Eugenia* sp. (23,1%), *Casearia* sp. (14,8%), *Schinus* sp. (10,2%), *Ilex* sp. (7,4%), e *Alchornea* sp. (3,7%).

Das duas embalagens descritas como essências florestais (A, D), uma embalagem apresentou 100% de espécies nativas (D), em ordem decrescente, 67,2% do gênero *Ocotea/Nectandra* sp., 20,4% de *Hieronyma* sp. e por fim, 12,4% de *Araucaria angustifolia*. A outra embalagem (A) apresentou na maioria *Pinus* sp. com 77,6%, *Zanthoxylum* sp. (11,2%), *Cedrela* sp. (8,3%) e 2,9 % de *Eucalyptus/ Corymbia* spp. A *Araucaria angustifolia* e espécies do gênero *Ocotea/Nectandra* sp., estão entre os principais componentes da Floresta Ombrófila Mista, pertencente ao bioma da Mata Atlântica. Membro da família Araucariaceae, a *Araucaria angustifolia* é a única espécie de seu gênero com ocorrência natural no Brasil, e tanto a Araucária quanto os gêneros *Ocotea/Nectandra* sp. e *Cedrela* sp. estão ou possuem espécies na lista de ameaçadas de extinção, apresentando-se de extrema relevância nas políticas de preservação, recuperação e conscientização da população.

Dos 13 gêneros identificados (Figura 3), os gêneros *Ocotea* e *Eugenia*, estão entre os gêneros com maior número de espécies (GASPER et al., 2013). Os 13 gêneros abrangem 12 famílias botânicas, Anacardiaceae Aquifoliaceae Araucariaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Meliaceae, Myrtaceae, Pinaceae, Phyllanthaceae, Rutaceae e Salicaceae. Entre as famílias constatadas nesse estudo, para Gasper et al. (2013), as que apresentam maior riqueza específica são a família botânica Lauraceae e a Myrtaceae, destacando-se nas áreas de Floresta Ombrófila Mista no planalto catarinense (KLAUBERG et al., 2010).

Do total de peças de carvão vegetal analisadas, 66,44% foram oriundos de espécies plantadas, e 33,56% de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. Analisando separadamente as espécies nativas encontradas, 21,79% são provenientes de gêneros que contém espécies do grupo ameaçadas de extinção, sendo elas *Araucaria angustifolia*, *Ocotea/Nectandra* sp. e *Cedrela* sp. e 11, 77% que não se encontram na categoria de ameaçadas de extinção.

FIGURA 3 – IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO DA SUPERFÍCIE TRANSVERSAL DOS DIFERENTES GÊNEROS IDENTIFICADOS NO CARVÃO VEGETAL COLETADO. a) *Pinus* sp.; b) *Araucaria angustifolia*; c) *Acacia* sp.; d-f) *Eucalyptus/Corymbia* spp.; g) *Alchornea* sp., h) *Casearia* sp., i) *Cedrela* sp., j) *Eugenia* sp., k) *Hieronyma* sp., l) *Ilex* sp., m-n) *Ocotea/Nectandra* sp.; o) *Schinus* sp., p) *Zanthoxylum* sp. Barra de escala = 1000  $\mu\text{m}$ .



Fonte: Autora (2021).

Em relação ao material, pode-se observar uma maior tendência de ruptura dos raios nas peças do grupo das gimnospermas, *Araucaria angustifolia* e *Pinus* sp., assim como no *Eucalyptus/Corymbia* spp. associadas a uma maior quantidade de finos dentro da embalagem. As embalagens que compreendiam uma maior porcentagem de espécies nativas e *Pinus* sp., apresentaram maior quantidade de finos e peças menores. Segundo Andrade e Machado (2004) a alta friabilidade do carvão vegetal faz com que este sofra uma considerável degradação durante sua produção e utilização, gerando grandes quantidades de finos. Em contrapartida, as peças classificadas como do gênero *Eucalyptus/Corymbia* spp., apresentaram-se em sua maioria como peças grandes, densas e pouco friáveis, apesar da presença de rupturas.

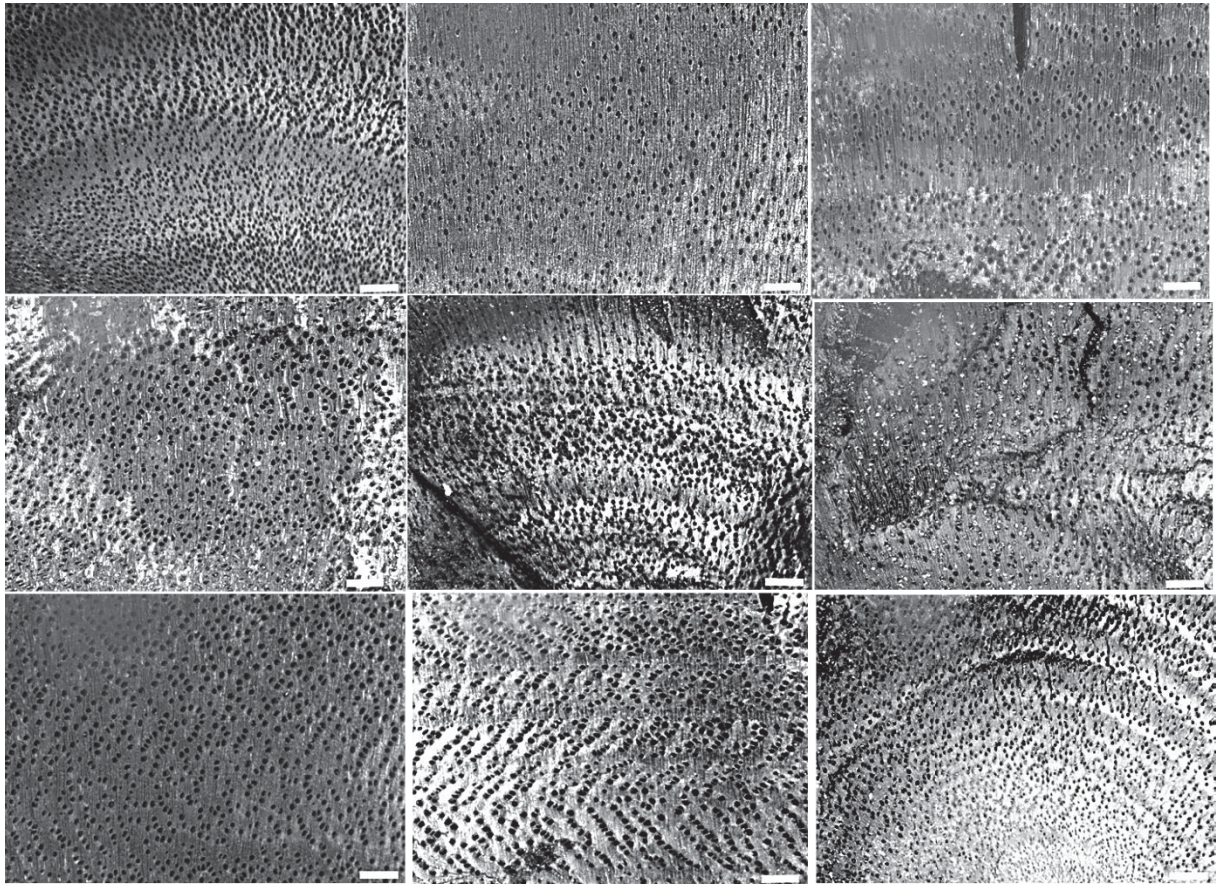


A superfície transversal das amostras das exóticas *Pinus* sp., *Acacia* sp. e *Eucalyptus/Corymbia* spp., e as nativas *Araucaria angustifolia*, *Alchornea* sp., *Casearia* sp., *Cedrela* sp., *Eugenia* sp., *Hieronyma* sp., *Ilex* sp., *Schinus* sp., *Ocotea/Nectandra* spp. e *Zanthoxylum* sp. estão ilustradas na Figura 3. A superfície transversal é importante para a identificação anatômica a nível de gênero/ espécie, uma vez que a frequência dos vasos/traqueoides são facilmente observados em pequenos aumentos e imagens de MEV, os quais são importantes recursos diagnósticos para a triagem, associados a características incomuns dos planos de cortes, como radial ou tangencial, altamente diagnósticas para distinguir gêneros ou mesmo espécies, como raios exclusivamente unisseriados ou multisseriados (BRAGA JUNIOR et al., 2021), estratificação, presença de parênquima axial ou estruturas especiais.

As espécies nativas foram facilmente distinguidas do gênero *Eucalyptus/Corymbia* e *Pinus* por meio dos elementos anatômicos característicos de cada gênero/espécie, que permite a triagem dessas espécies em casos de comércio ilegal. Para PERDIGÃO et al. (2020), a presença de parênquima axial paratraqueal vasicêntrico, às vezes confluyente, vasos em sua maioria solitários, de pequeno diâmetro, alta frequência e raios unisseriados, facilita a distinção de *Eucalyptus/Corymbia* das demais espécies nativas.

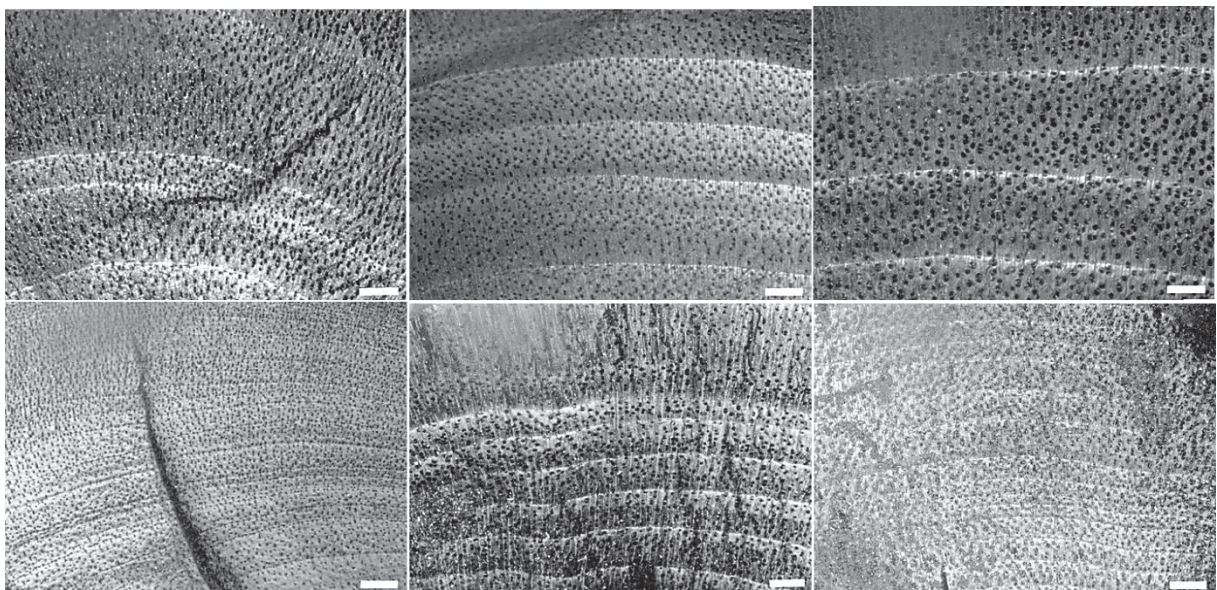
Para o gênero *Eucalyptus/Corymbia* (Figura 4) e *Ocotea/Nectandra* (Figura 5), foram identificadas mais de uma amostra nas diferentes embalagens estudadas, e nessas foram encontradas diferenças nas estrutura anatômicas dentro de cada gênero, justificadas pela variação anatômica que ocorre entre espécies, por fatores ecológicos, variabilidade intraespecífica e idade da madeira (SOUZA-PINTO; SCHEEL-YBERT, 2021), o que sugere a presença de mais de uma espécies dentro de cada gênero.

FIGURA 4 – IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO DA SUPERFÍCIE TRANSVERSAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS DO GÊNERO *Eucalyptus/Corymbia*. BARRA DE ESCALA = 1000  $\mu\text{m}$ .



Fonte: Autora (2021).

FIGURA 5 – IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO DA SUPERFÍCIE TRANSVERSAL DAS DIFERENTES AMOSTRAS DO GÊNERO *Ocotea/ Nectandra*. BARRA DE ESCALA = 1000  $\mu\text{m}$ .



Fonte: Autora (2021).

As propriedades do carvão vegetal, como densidade, friabilidade, podem variar por fatores ligados às características do material precursor, taxa de aquecimento, tempo de reação e a temperatura em que ocorre a pirólise (VIEIRA et al., 2013). As rupturas observadas no sentido dos raios das amostras são recorrentes da madeira utilizada ou do processo de carbonização, que é influenciado negativamente pelo prolongado aquecimento e altas temperaturas que aumentam a pressão exercida pelos conteúdo líquido e volátil dentro da peça, ocasionando o colapso das paredes celulares e elementos anatômicos, levando ao aumento do volume de poros e reduzindo a área superficial específica (ZHANG et al., 2010) e, também, a ruptura é fortemente influenciada pela orientação da grã da madeira (MUÑIZ et al., 2012).

Para a produção de carvão vegetal é desejável que a madeira apresente baixa frequência de poros, proporcionando uma maior área ocupada por massa. Assis et al. (2016) citam que a porosidade aumenta progressivamente com o acréscimo da taxa de carbonização pela saída de materiais voláteis e pela formação de fissuras e fendas internas e conseqüentemente a carbonização lenta implica em menor fracionamento das peças e geração de finos.

Além das rupturas dos raios, foi observado em algumas amostras vitrificação, que ocorre devido à fusão celular resultante da carbonização, podendo ser identificada também pelo contraste entre a coloração clara e de tons escuros de cinza (MARGUERIE; HUNOT, 2007). A presença de hifas de fungos dentro dos elementos anatômicos também foi constatada na maioria das amostras, o que sugere a utilização de um material oriundo de estoque ou coleta de material morto em razão do aproveitamento lenhoso, ou decorrente do desmatamento, para então carbonização.

### 3.4 CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS DAS AMOSTRAS AVALIADAS

O carvão manteve todas as características qualitativas da madeira das amostras utilizadas. Assim como a madeira, as espécies de carvão podem ser segregadas, dadas as marcantes diferenças anatômicas que permaneceram mesmo após o processo de carbonização (PERDIGÃO et al., 2020).

A diferenciação entre angiospermas e gimnospermas é bem evidente no carvão vegetal. No estudo em questão foram identificadas duas gimnospermas, *Pinus* sp. e *Araucaria angustifolia*, e onze gêneros de angiospermas, as exóticas *Acacia* sp. e *Eucalyptus/Corymbia* spp., e as nativas *Alchornea* sp., *Casearia* sp., *Cedrela* sp.,

*Eugenia* sp., *Hieronyma* sp., *Ilex* sp., *Schinus* sp., *Ocotea/Nectandra* spp. e *Zanthoxylum* sp.

Nas duas gimnospermas analisadas, foi possível ver a distinção dos anéis de crescimento, com a diferente espessura da parede dos traqueoides, os raios finos e os canais resiníferos do pinus. Nas angiospermas se observou variação quanto ao tamanho, forma e distribuição dos elementos celulares, raios parenquimático, parênquima axial e vasos, assim como a ausência, sutileza ou nitidez dos anéis de crescimento nos gêneros observados. Com relação à porosidade da madeira, a difusa foi a mais frequente dentre as espécies, destacando-se com porosidade em anel semiporoso o gênero *Cedrela*.

A presença de tilos foi bem evidente no gênero *Eucalyptus/Corymbia* e algumas amostras de canelas; as fibras septadas foram características dos gêneros *Ocotea/Nectandra*. A placa de perfuração simples e pontoações intervasculares alternas foi predominante, com uma exceção no gênero *Ilex* com placa de perfuração escalariforme e pontoações intervasculares opostas.

A presença de canal secretor foi observada apenas no gênero *Zanthoxylum*. As inclusões minerais estiveram presentes em muitas amostras, gêneros *Acacia*, *Eucalyptus/Corymbia*, *Alchornea*, *Casearia*, *Cedrela*, *Eugenia*, *Ocotea/Nectandra*, e *Schinus*. A incidência de cristais no carvão é frequente em função do tipo de madeira que lhe deu origem.

### 3.4.1 Descrição anatômica

#### *Pinus* sp.

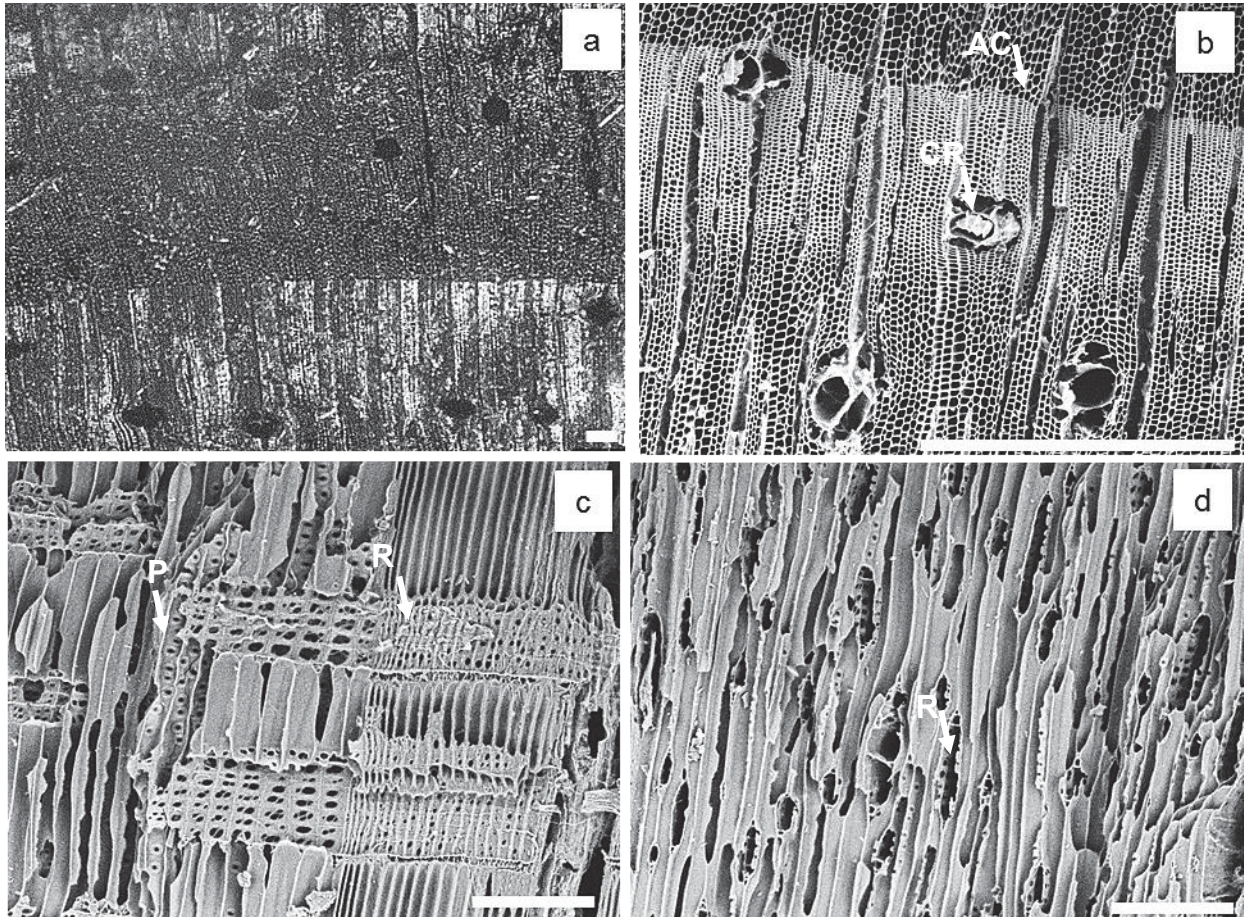
**Nome científico:** *Pinus* sp.

**Nome popular:** Pinus

**Família:** Pinaceae

**Anéis de crescimento:** distintos, com contraste entre lenho inicial e tardio, ocorre uma diminuição no diâmetro e um aumento na espessura da parede dos traqueoides (Figura 6a, b). Canais resiníferos axiais presentes, em distribuição normal (Figura 6a, b); traqueoides com pontoações areoladas unisseriadas (Figura 6c). **Parênquima axial:** associado ao canal resinífero. **Raios:** heterogêneos (Figura 6c); traqueoides radiais com indenturas presentes; unisseriados (Figura 6d) e fusiformes.

FIGURA 6 – IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO (a) E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (b-d) DO CARVÃO DE *Pinus* sp. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c) E TANGENCIAL (d). BARRA DE ESCALA = 100  $\mu$ m (b-d). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; CR - CANAL RESINÍFERO; R – RAIOS; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS.



Fonte: Autora (2021).

### *Araucaria angustifolia*

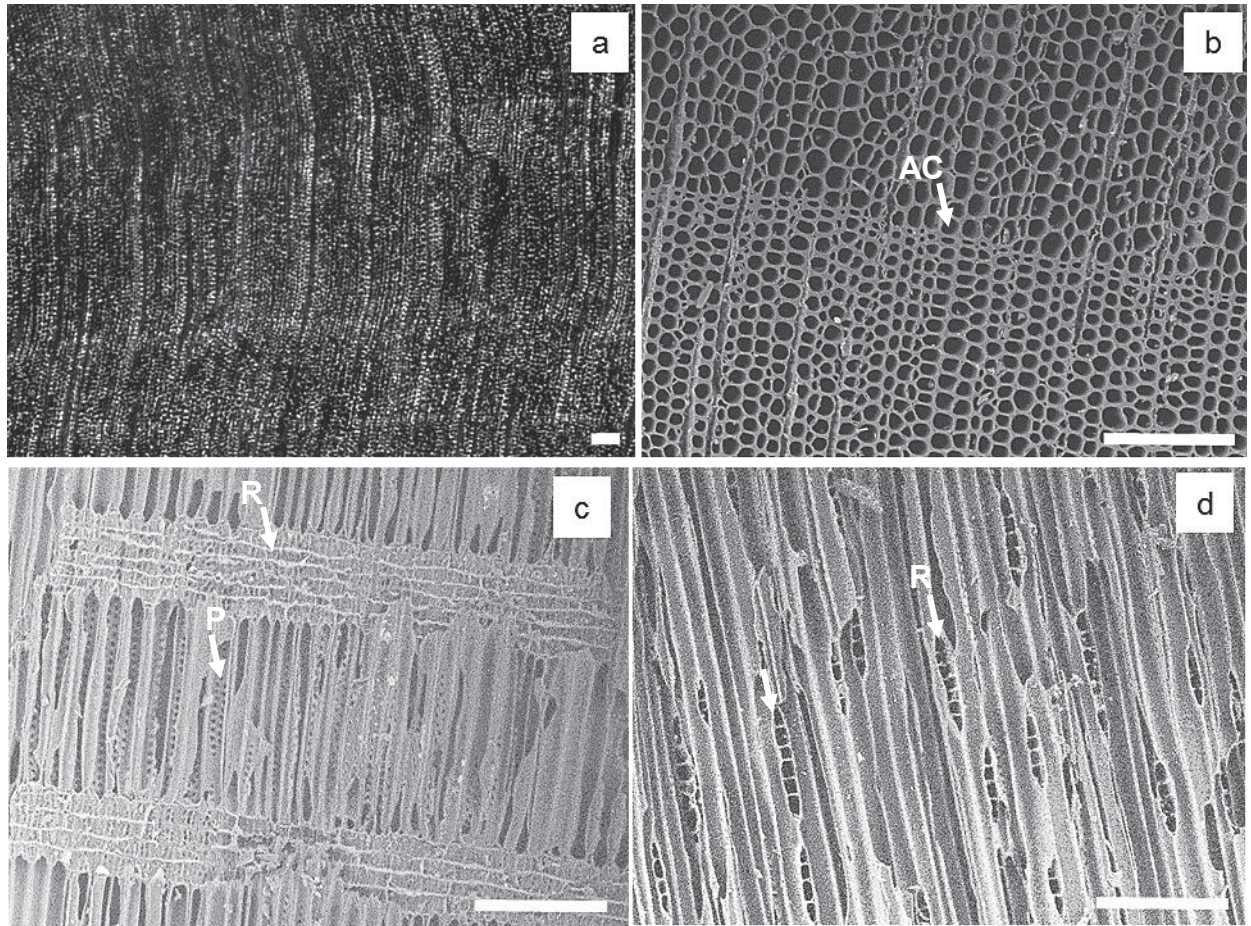
**Nome científico:** *Araucaria angustifolia*

**Nome popular:** Araucária

**Família:** Araucariaceae

**Anéis de crescimento:** distintos, com contraste suave entre lenho inicial e tardio (Figura 7a, b). Canais resiníferos ausentes. Pontoações areoladas uni e bisseriadas alternas (Figura 7c). **Parênquima axial:** ausente. **Raios:** homogêneos (Figura 7c), unisseriados (Figura 7d).

FIGURA 7 – IMAGENS EM ESTEREOMICROSCÓPIO (a) E MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (b - e) DO CARVÃO DE *Araucaria angustifolia*. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c) E TANGENCIAL (d). BARRA DE ESCALA = 1000  $\mu\text{m}$  (a) 200  $\mu\text{m}$  (b - d). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; R – RAIO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS.



Fonte: Autora (2021).

### *Acacia* spp.

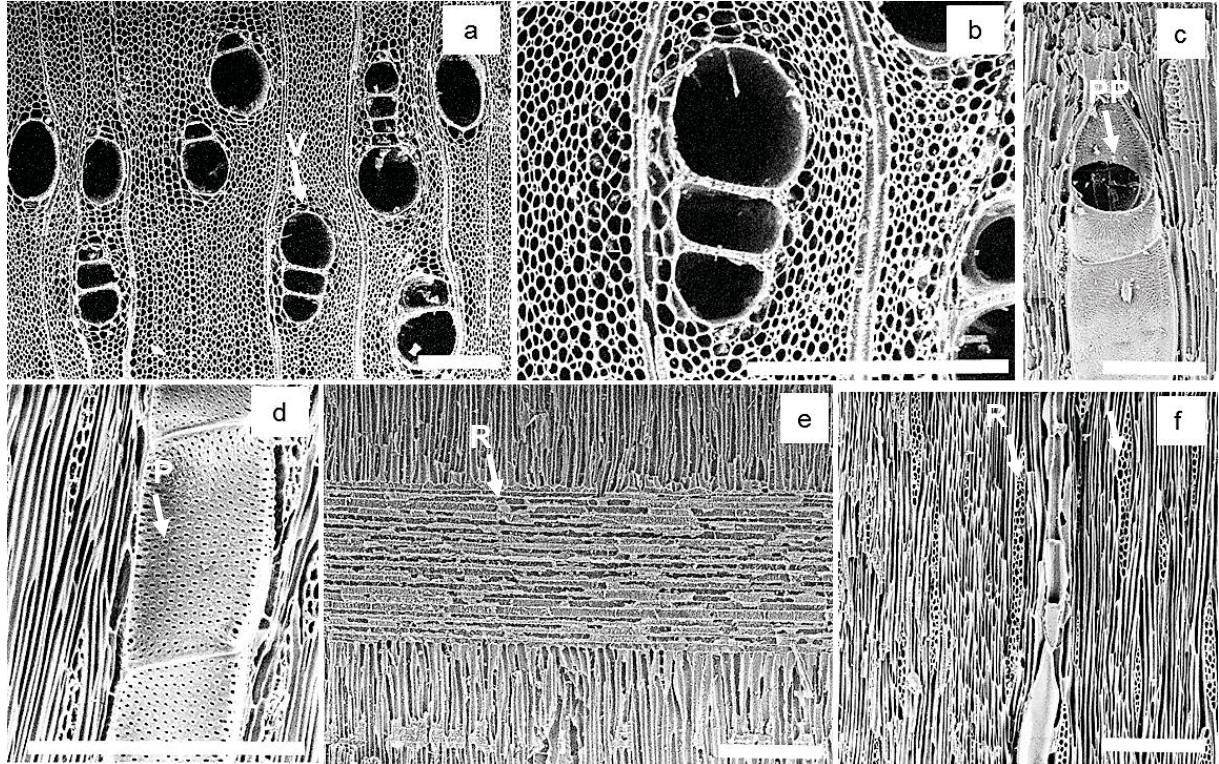
**Nome científico:** *Acacia* spp.

**Nome popular:** acácia

**Família:** Fabaceae

**Anéis de crescimento:** não distintos (Figura 8a) ou distintos pelo maior espessamento da parede das fibras. **Vasos:** Porosidade difusa (Figura 8a) ou com tendência a anel semiporoso, poros solitários e em múltiplos radiais de 2 a 5 (Figura 8b), alguns obstruídos por tilos; placa de perfuração simples (Figura 8c); pontoações intervasculares alternas (Figura 8d). **Parênquima axial:** escasso, unilateral, vasicêntrico e confluyente. **Raios:** homogêneos (Figura 8e), uni e multisseriados (2-3) (Figura 8f), não estratificados. **Fibras:** parede fina, ou média a grossa, não septadas. **Cristais** isolados presentes em células de parênquima axial e radial.

FIGURA 8 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - f) DO CARVÃO DE *Acacia* sp.. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c, e) E TANGENCIAL (d, f). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a - f). V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS.



Fonte: Autora (2021).

### *Eucalyptus/Corymbia* spp.

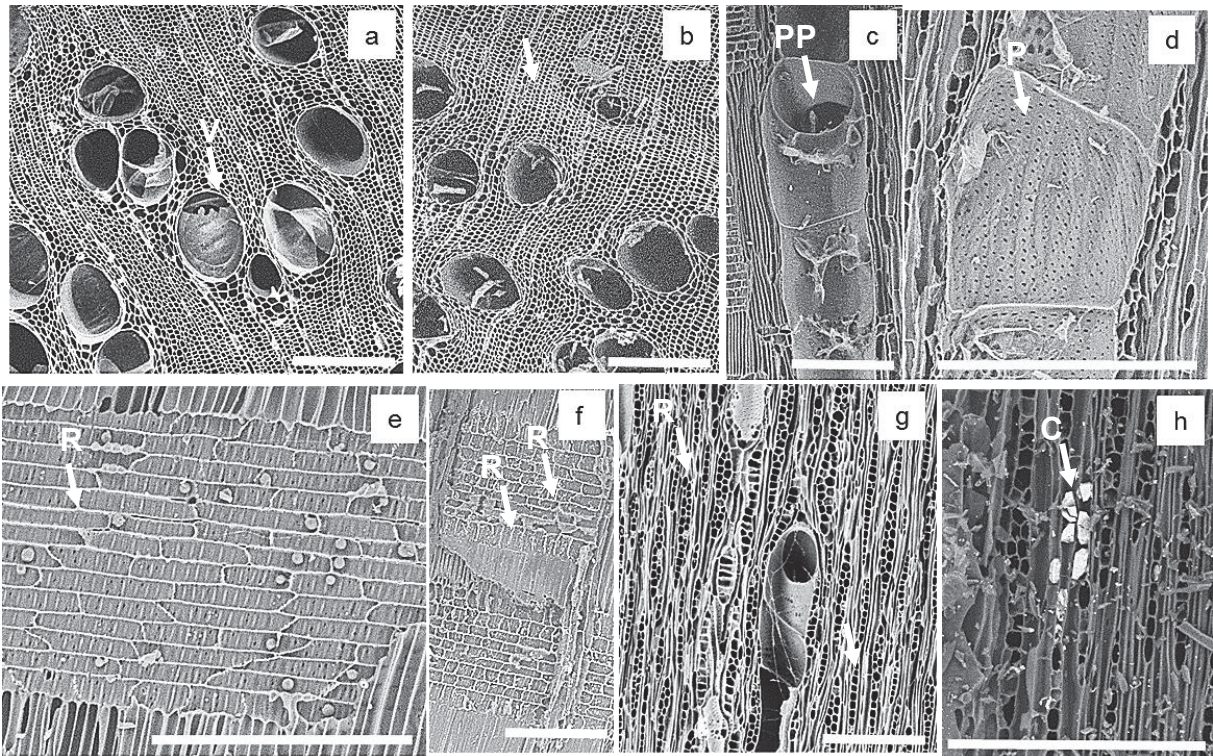
**Nome científico:** *Eucalyptus/Corymbia* spp.

**Nome popular:** eucalipto

**Família:** Myrtaceae

**Anéis de crescimento:** não distintos (Figura 9a) ou distintos pelo espessamento da parede das fibras (Figura 9b). **Vasos:** Porosidade difusa; poros exclusivamente solitários ou poros solitários em maioria, múltiplos radiais de 2 presentes; arranjo diagonal; obstruídos por tilos (Figura 9a); placa de perfuração simples (Figura 9c); pontoações intervasculares alternas (Figura 9d). **Parênquima axial:** unilateral, vasicêntrico e confluyente, aliforme losangular, difuso. **Raios:** homogêneos (Figura 9e) ou heterogêneos (Figura 9f) com células procumbentes no corpo do raio e uma fileira de células quadradas na margem (Figura 9f), unisseriados ou bisseriados (Figura 9g), não estratificados. **Fibras:** parede média a grossa, não septadas. **Cristais** isolados presentes nas células de parênquima axial (Figura 9h).

FIGURA 9 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a-h) DO CARVÃO DE *Eucalyptus/Corymbia* sp. PLANO TRANSVERSAL (a, b), RADIAL (c,e,f) E TANGENCIAL (d,g,h). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a - h). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS. C – CRISTAIS;



Fonte: Autora (2021).

### *Alchornea* sp.

**Nome científico:** *Alchornea* sp.

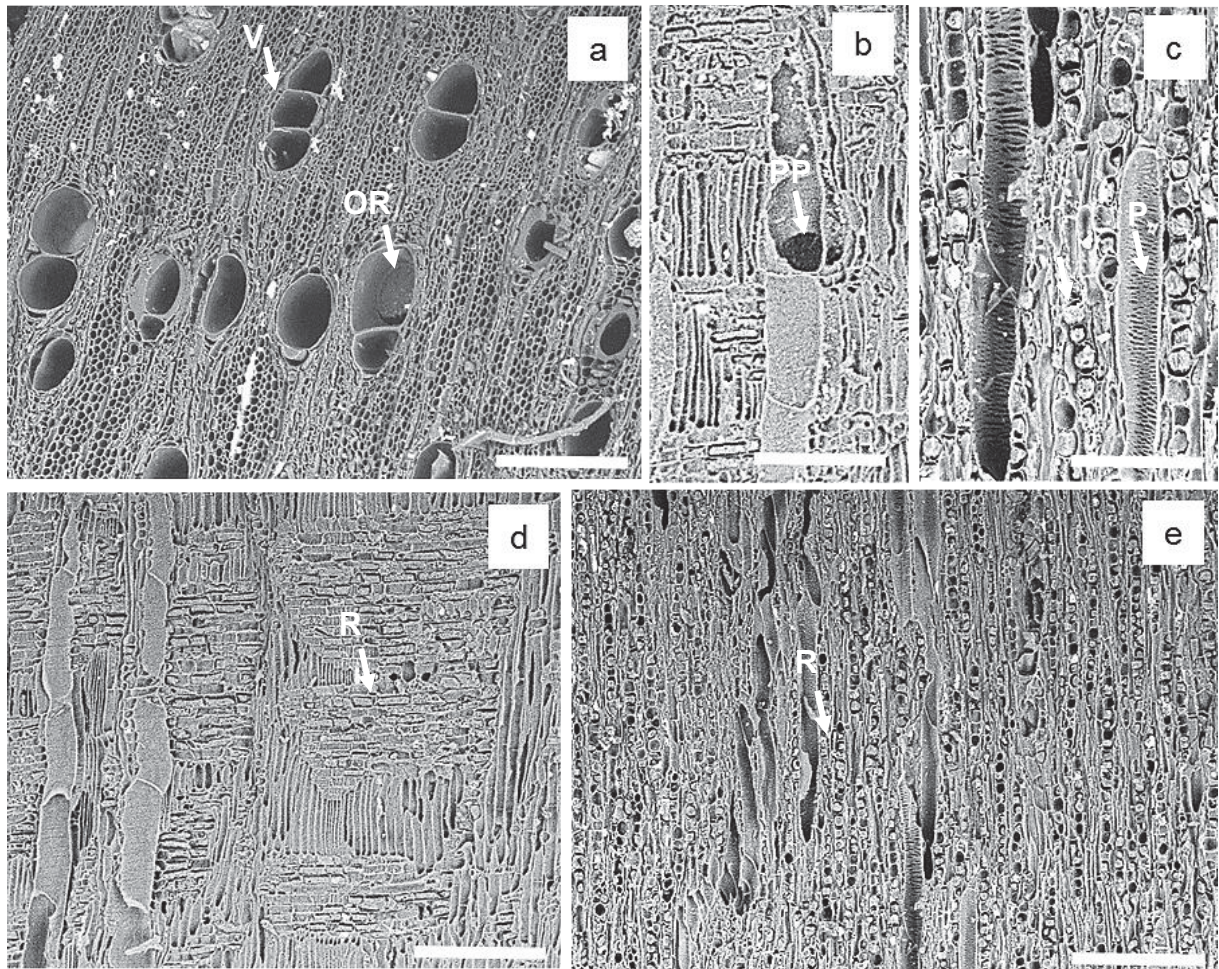
**Nome popular:** tapiá

**Família:** Euphorbiaceae

**Anéis de crescimento:** distintos pelo espessamento da parede das fibras. **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários e múltiplos radiais de 2-4 presentes (Figura 10a), alguns obstruídos por óleo-resina (Figura 10a); placa de perfuração simples (Figura 10b); pontoações intervasculares alternas (Figura 10c). **Parênquima axial:** escasso, unilateral e vasicêntrico. **Raios:** heterogêneos (Figura 10d), unisseriados (Figura 10e), não estratificados. **Fibras:** parede fina, não septadas. **Cristais** presentes nos raios e associadas ao parênquima axial.



FIGURA 10 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE *Alchornea* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a - e). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS; OR – ÓLEO RESINA.



Fonte: Autora (2021).

### *Casearia* sp.

**Nome científico:** *Casearia* sp.

**Nome popular:** guaçatonga

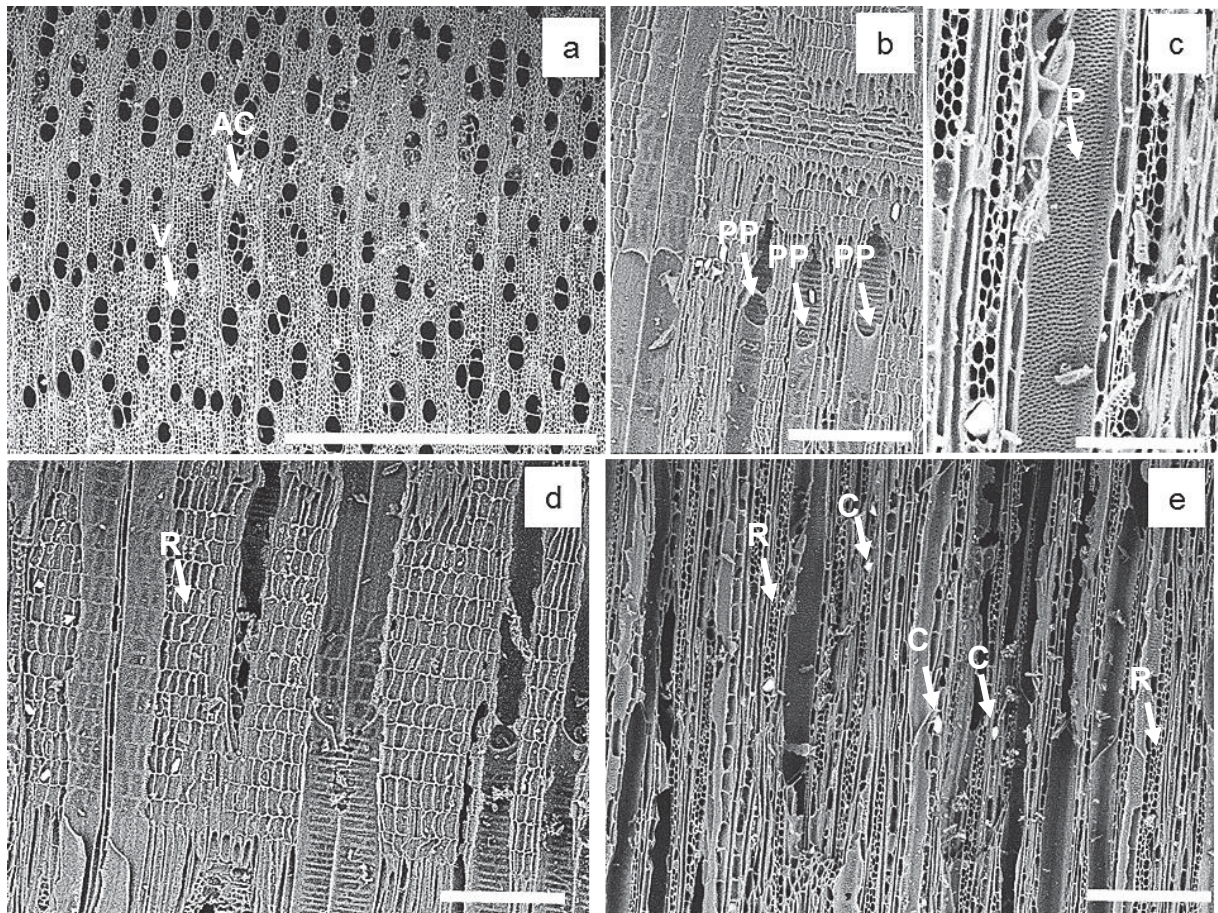
**Família:** Salicaceae

**Anéis de crescimento:** pouco distintos pelo espessamento da parede das fibras (Figura 11a). **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários, múltiplos radiais de 2-3, arranjo na forma de cachos presentes (Figura 11a), alguns obstruídos por tilos; placa de perfuração simples (Figura 11b); pontoações intervasculares alternas (Figura 11c).

**Parênquima axial:** escasso, unilateral. **Raios:** heterogêneos (Figura 11d),

multisseriados (2-3) (Figura 11e), não estratificados. **Fibras:** parede média a grossa, não septadas. **Crístais** isolados presentes nos raios e parênquima axial (Figura 11e).

FIGURA 11 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE *Casearia* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). BARRA DE ESCALA = 100  $\mu$ m (a) 200  $\mu$ m (b-e). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V –VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS; C – CRISTAIS.



Fonte: Autora (2021).

### *Cedrela* sp.

**Nome científico:** *Cedrela* sp.

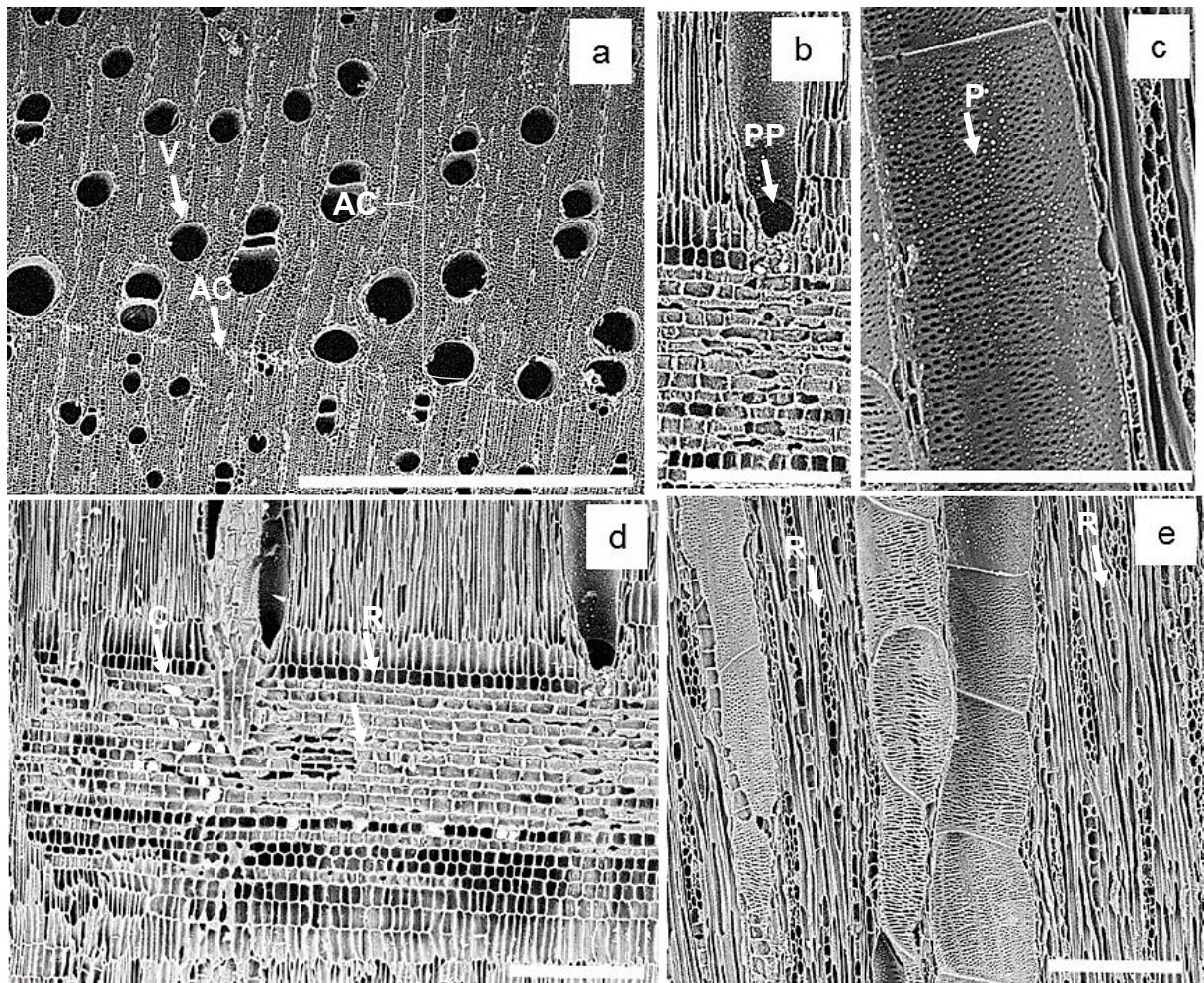
**Nome popular:** cedro

**Família:** Meliaceae

**Anéis de crescimento:** distintos pela porosidade (Figura 12a) e parênquima axial marginal (Figura 12a). **Vasos:** Porosidade em anel semiporoso (Figura 12a), poros solitários e múltiplos radiais (2-3) (Figura 12a), alguns obstruídos; placa de perfuração simples (Figura 12b); pontoações intervasculares alternas (Figura 12c). **Parênquima axial:** marginal, escasso, unilateral e vasicêntrico. **Raios:** heterogêneos (Figura 12d),

com células procumbentes no corpo central e 2-4 linhas de células quadradas e eretas na margem; uni e multisseriados (1-3) (Figura 12e), não estratificados. **Fibras:** parede fina, não septadas. **Crístais** presentes no parênquima radial.

FIGURA 12 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE *Cedrela* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). BARRA DE ESCALA = 100  $\mu$ m (a) 200  $\mu$ m (b-e). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V –VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS; C – CRISTAIS.



Fonte: Autora (2021).

### *Eugenia* sp.

**Nome científico:** *Eugenia* sp.

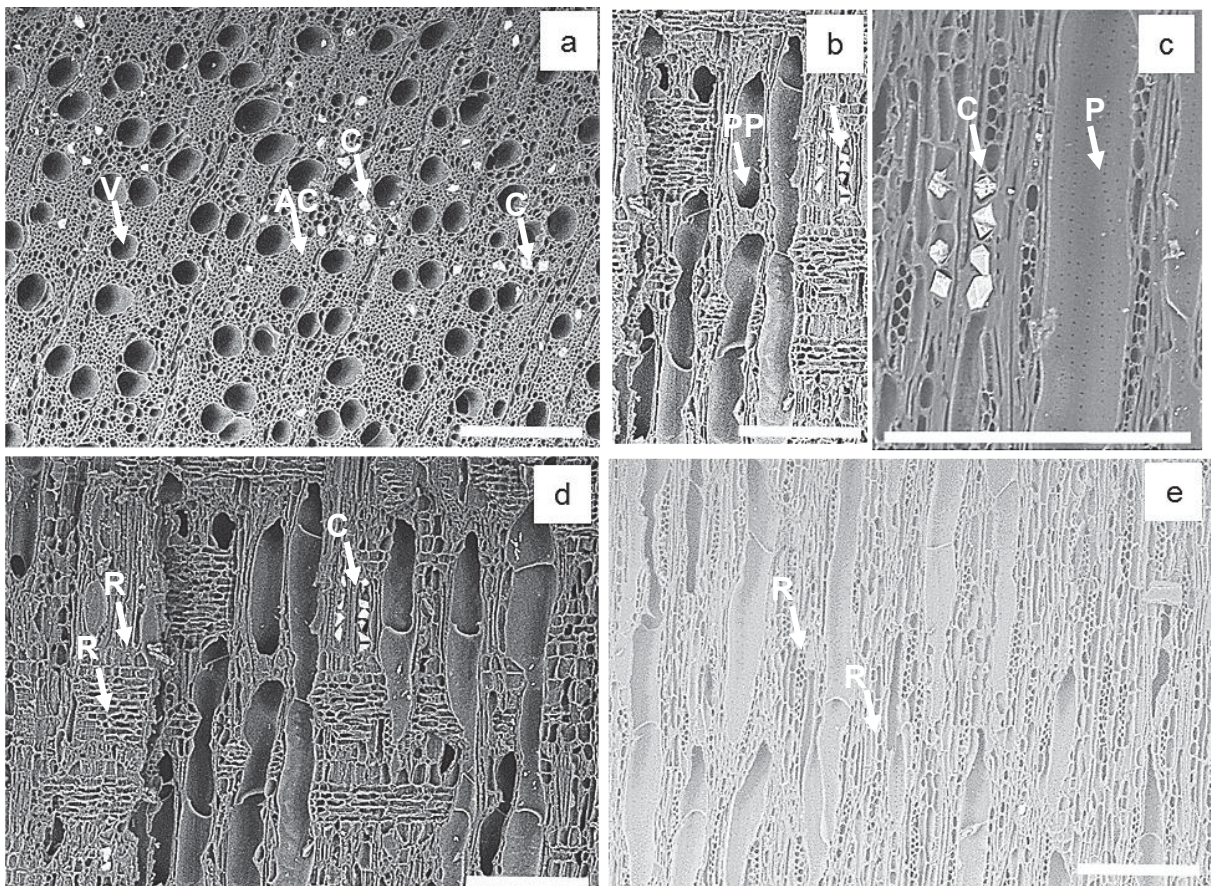
**Nome popular:** uvaia, guamirim

**Família:** Myrtaceae

**Anéis de crescimento:** pouco distintos pelo achatamento das fibras. **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários em maioria, múltiplos radiais de 2-3 eventualmente

presentes (Figura 13a); placa de perfuração simples (Figura 13b); pontoações intervasculares alternas (Figura 13c). **Parênquima axial:** difuso em agregados, formando linhas irregulares. **Raios:** heterogêneos (Figura 13d), corpo do raio com células procumbentes e uma ou duas fileiras de células marginais quadradas ou eretas, uni e multisseriados (2-3) (Figura 13e), não estratificados. **Fibras:** parede grossa, não septadas. **Cristais** isolados presentes nas células de parênquima axial (Figura 10 a, b, c, d).

FIGURA 13 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE *Eugenia* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a - e). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIO. C – CRISTAIS;



Fonte: Autora (2021).

*Hieronyma* sp.

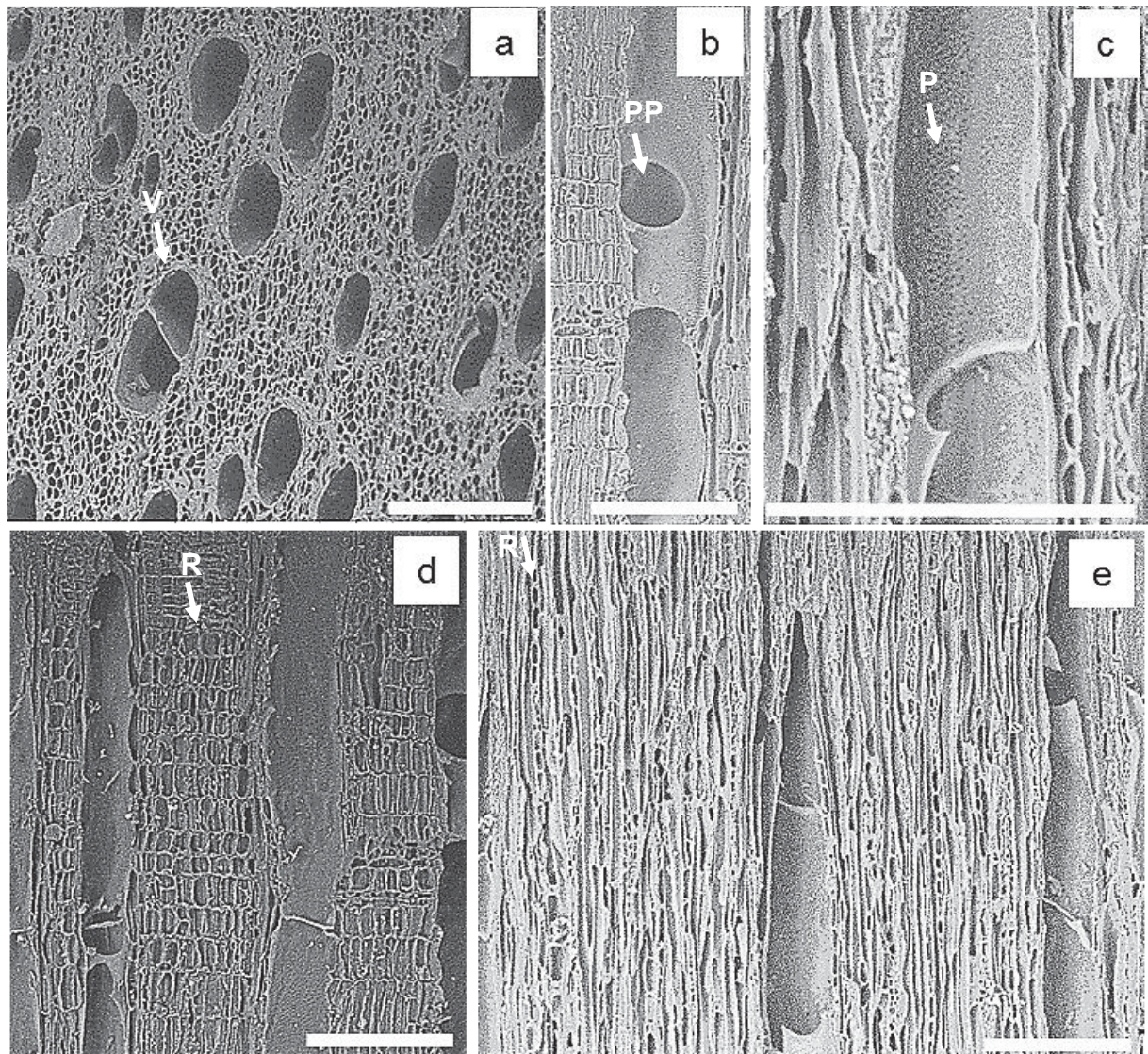
**Nome científico:** *Hieronyma* sp.

**Nome popular:** licurana

**Família:** Euphorbiaceae

**Anéis de crescimento:** distintos pelo espessamento da parede das fibras. **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários e múltiplos radiais (Figura 14a); placa de perfuração simples (Figura 14b); pontoações intervasculares alternas (Figura 14c). **Parênquima axial:** difuso. **Raios:** heterogêneos (Figura 14d), com células procumbentes, quadradas e eretas misturadas, uni e bisseriados (Figura 14e), não estratificados. **Fibras:** parede fina, não septadas.

FIGURA 14 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE *Hieronyma* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (b, d) E TANGENCIAL (c, e). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a - e). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS.



Fonte: Autora (2021).

*Illex* sp.

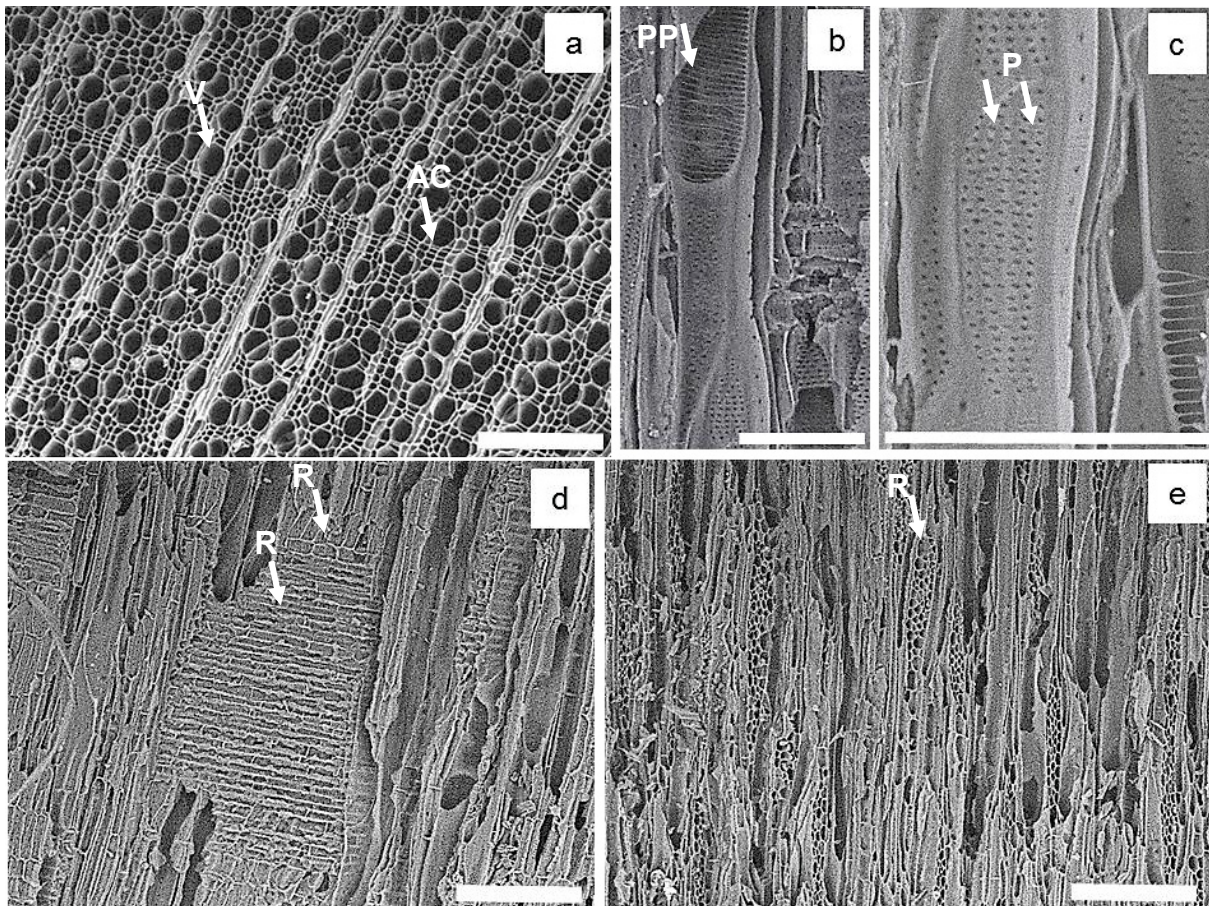
**Nome científico:** *Illex* sp.

**Nome popular:** caúna

**Família:** Aquifoliaceae

**Anéis de crescimento:** distintos pelo parênquima (Figura 15a). **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários em maioria, múltiplos de 2 e cachos presentes, (Figura 15a) vazios (Figura 15a); placa de perfuração escalariforme (Figura 15b); pontoações intervasculares opostas (Figura 15c). **Parênquima axial:** marginal. **Raios:** heterogêneos (Figura 15d), células procumbentes no corpo do raio e quadradas na margem, multisseriados (Figura 15e), não estratificados. **Fibras:** parede fina, não septadas.

FIGURA 15 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - e) DO CARVÃO DE *Ilex* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL ( b,d) E TANGENCIAL (c,e). BARRA DE ESCALA = 200 $\mu$ m (a - e). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIO.



Fonte: Autora (2021).

*Ocotea/Nectandra* spp.

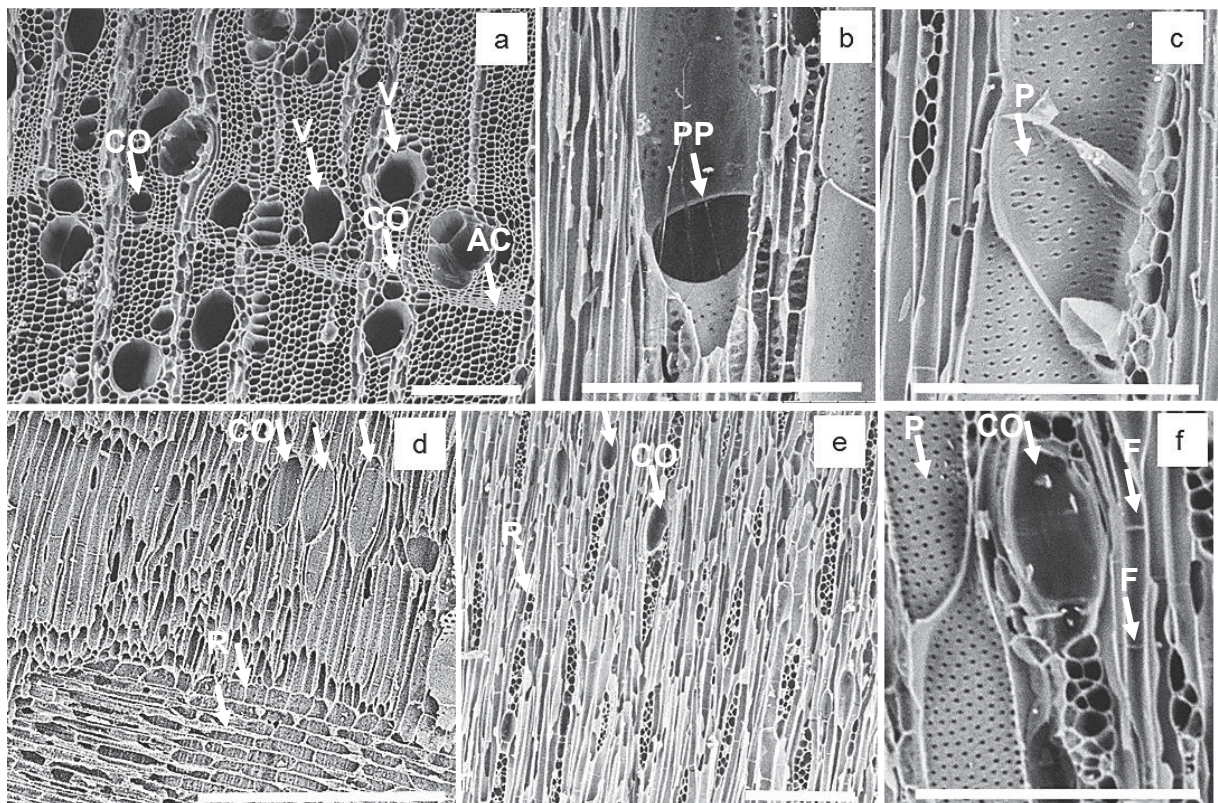
**Nome científico:** *Ocotea/Nectandra* spp.

**Nome popular:** canela

**Família:** Lauraceae

**Anéis de crescimento:** distintos pelo espessamento da parede das fibras (Figura 15a). **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários e múltiplos radiais (2-5) presentes, eventualmente cachos (Figura 15a); tilos presentes; placa de perfuração simples (Figura 15b); pontoações intervasculares alternas (Figura 15c). **Parênquima axial:** escasso, unilateral e vasicêntrico. **Raios:** heterogêneos (Figura 15d), células procumbentes no corpo do raio e uma ou duas fileiras de células marginais quadradas; uni e multisseriados (2-3) (Figura 15e), não estratificados. **Fibras:** parede fina, septadas. **Células oleíferas** (Figura 15a, d, e, f) presentes nas margens dos raios e associadas ao parênquima axial. **Cristais** isolados presentes em células de parênquima axial e raios.

FIGURA 16 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a - f) DO CARVÃO DE *Ocotea/Nectandra*. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (d) E TANGENCIAL (b,c,e,f). BARRA DE ESCALA = 100  $\mu\text{m}$  (b,c) 200  $\mu\text{m}$  (a, d-f). AC – ANEL DE CRESCIMENTO; V – VASOS; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS; CO – CÉLULAS OLEÍFERAS; F – FIBRA SEPTADA.



Fonte: Autora (2021).

*Schinus* sp.

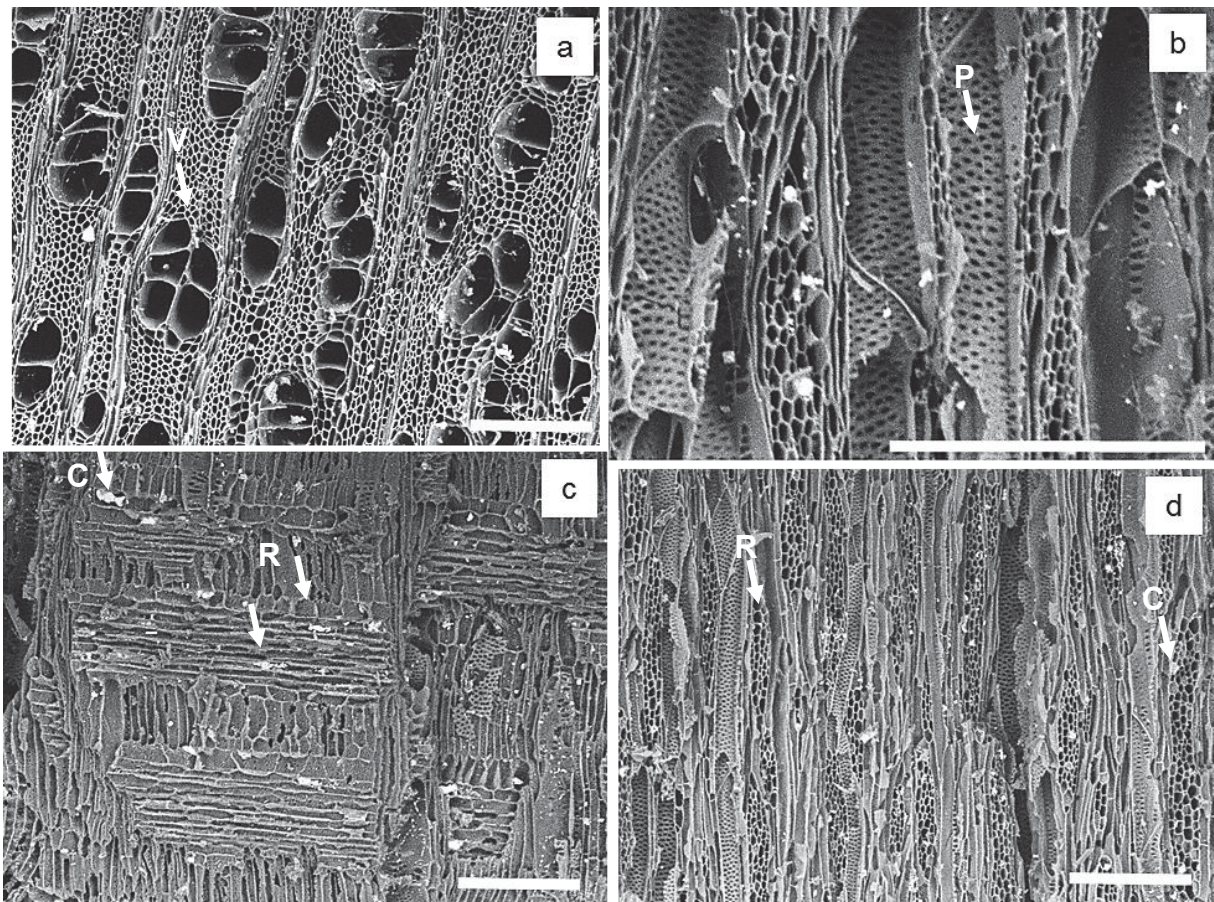
**Nome científico:** *Schinus* sp.

**Nome popular:** aroeira

**Família:** Anacardiaceae

**Anéis de crescimento:** distintos pela frequência de vasos e fibras. **Vasos:** Porosidade difusa; poros solitários, múltiplos radiais de 2-5 e em cachos (Figura 17a), alguns obstruídos; placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas (Figura 17b), grandes (Figura 17b). **Parênquima axial:** escasso, unilateral, vasicêntrico, difuso. **Raios:** heterogêneos (Figura 17c), corpo do raio com células procumbentes e uma ou duas fileiras de células marginais quadradas ou eretas; multisseriados (2-5) (Figura 17d), não estratificados. **Fibras:** parede fina, não septadas. **Cristais** isolados presentes nas células de raio (Figura 17c).

FIGURA 17 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a -d) DO CARVÃO DE *Schinus* sp.. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (c) E TANGENCIAL (b,d). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a - d). V – VASOS; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS; C – CRISTAIS.



Fonte: Autora (2021).

*Zanthoxylum* sp.

**Nome científico:** *Zanthoxylum* sp.

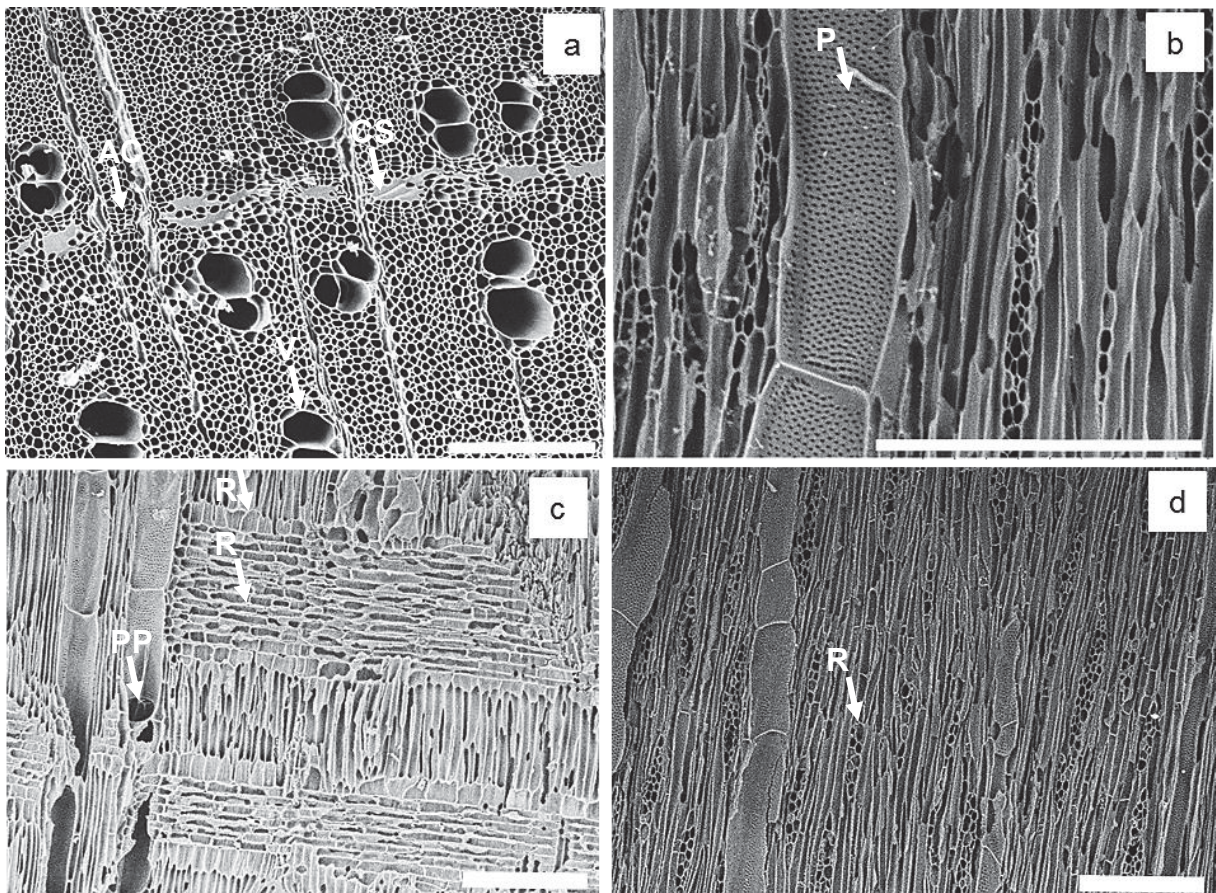


**Nome popular:** mamica de cadela

**Família:** Rutaceae

**Anéis de crescimento:** distintos pelo espessamento da parede das fibras e parênquima marginal (Figura 18a). **Vasos:** Porosidade difusa, poros solitários e múltiplos radiais (2-3) (Figura 18a), alguns obstruídos; placa de perfuração simples (Figura 18c); pontoações intervasculares alternas (Figura 18b). **Parênquima axial:** marginal, escasso, unilateral e vasicêntrico. **Raios:** heterogêneos (Figura 18c), com células procumbentes no corpo central e uma fileira de células quadradas na margem; uni e multisseriados (1-3) (Figura 18d), não estratificados. **Fibras:** parede fina, não septadas. **Canal secretor** intercelular presente nas linhas de parênquima marginal (Figura 18a).

FIGURA 18 – IMAGENS EM MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (a–d) DO CARVÃO DE *Zanthoxylum* sp. PLANO TRANSVERSAL (a), RADIAL (c) E TANGENCIAL (b,d). BARRA DE ESCALA = 200  $\mu$ m (a-d). V – VASOS; AC – ANEL DE CRESCIMENTO; CS – CANAL SECRETOR; PP – PLACA DE PERFURAÇÃO; P – PONTOAÇÕES AREOLADAS; R – RAIOS.



Fonte: Autora (2021).

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A anatomia do carvão confirmou que a carbonização não altera significativamente a disposição e a possibilidade de utilização dos elementos anatômicos para discriminação das espécies. Foram identificados os gêneros *Pinus*, *Araucaria*, *Acacia*, *Eucalyptus/Corymbia*, *Alchornea*, *Casearia*, *Cedrela*, *Eugenia*, *Hieronyma*, *Ilex*, *Ocotea/Nectandra*, *Schinus* e *Zanthoxylum*.

Do total de peças de carvão vegetal analisadas, 66,44% foram oriundos de espécies plantadas, e 33,56% de espécies nativas da Floresta Ombrófila Mista. Esse resultado reforça a eficiência da técnica de antracologia na identificação de espécies, configurando aplicabilidade na fiscalização e controle de carvão vegetal de procedência irregular.

Portanto, foi possível diagnosticar a adulteração do conteúdo de algumas embalagens de carvão vegetal, contendo tanto espécies do grupo das angiospermas, como gimnospermas, reforçando a importância de campanhas educativas e fiscalização no comércio.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, D. S. **Recuperação ambiental da Mata Atlântica**. 3. Ed. Santa Cruz: Editus, 2016.
- ANDRADE, A. M.; MACHADO, F. S. Comparação entre as propriedades físicas e mecânicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para injeção nas ventaneiras de altos-fornos siderúrgicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 3, p. 273-279. 2004.
- ARRUDA, T. P. M.; PIMENTA, A.S.; VITAL, B.R.; LUCIA, R.M.D.; ACOSTA, F.C. Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares. **Revista Árvore**, v.35, n.4, p.949-955, 2011.
- ASSIS, M. R.; BRANCHERIAU, L.; NAPOLI, A.; TRUGILHO, P.F. Factors affecting the mechanics of carbonized wood: literature review. **Wood Science and Technology**, v. 50, p. 519-536, mar. 2016.
- AZEVEDO, C. H.; SANTOS, F.; ANDRADE, L.; SILVA, A.; SANTOS, F. Influência da temperatura final de carbonização e da taxa de aquecimento no rendimento gravimétrico e teor de cinzas do carvão de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 1279-1287, 2013.
- BATAUS, Y. S. de L.; PASTORE JÚNIOR, F.; OKINO, E. Y. A.; PASTORE, T. C. M. Carbonização integral de frutos de palmáceas. Brasília, DF: IBAMA, LPF, 1989. (Série técnica 2), p.15.
- BAUMERT, S.; LUZ, A.C.; FISHER, J.; VOLLMER, F.; RYAN, C.M.; PATENAUDE, G.; ZORRILLA-MIRAS, P.; ARTUR, L.; NHANTUMBO, I.; MACQUEEN, D. Charcoal supply chains from Mabalane to Maputo: Who benefits? **Energy for Sustainable Development**, v. 33, p.129-138, 2016.
- BOTOSSO, B. C. Identificação Macroscópica de Madeiras: Guia Prático e Noções Básicas Para o seu Conhecimento. **Embrapa Florestas**, Colombo, 2009.
- BRAGA JÚNIOR, M. M.; MATOS, T. S.; de ANDRADE, G.B.; dos SANTOS, L. J.; VIEIRA, A. L. M.; GONÇALVES, T. A. P.; NISGOSKI, S.; MOTTA, J. P.; MELO, L. E. L. Forestry control in the Brazilian Amazon: charcoal anatomy of tree species from protected areas. **Australian Journal of Botany**, v. 70, n. 1, p. 13-31, 2021.
- BRAND, M.A.; RODRIGUES, A.A.; OLIVEIRA, A.de.; MACHADO, M.S.; ZEN, L.R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, n.6, p.1165-1173, 2015.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeiras da Amazônia. **IPEF – Série Técnica**, 2 n.5 p. 1-25, 1981.
- BRUZUAL, C. F. Assessment of CO2 mitigation potential, biomass use and plantation areas to sustain charcoal-ironmaking. **Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração**, São Paulo, v. 12, n. 4, p. 325-334, out/dez. 2015.

BURGER, L.M.; RICHTER, H.G. **Anatomia da madeira**. Nobel, São Paulo, 1991. 154p.

CALAIS, D. 2009. Florestas Energéticas no Brasil: demanda e disponibilidade. Belo Horizonte, p.23, 2009. Disponível em: <[http://silviminas.com.br/wpcontent/uploads/2012/12/publicacao\\_585.pdf](http://silviminas.com.br/wpcontent/uploads/2012/12/publicacao_585.pdf)>. Acesso em: 24 jun. 2015.

CARDOSO, M.T. **Desempenho de um sistema de forno-fornalha para combustão de gases na carbonização de madeira**. 2010. 77f. Dissertação (Mestrado em ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

CARVALHO, A. F. de.; BRAND, M.A.; NISGOSKI, S.; MUNIZ, G.I.B. de.; FRIEDERICHS, G.; KUSTER, L.C. Anatomia do carvão oriundo de cinco espécies comercializadas no estado de Santa Catarina. **Ciência da Madeira**, v.8, n.3, p.158-167, 2017.

CANEI, A. D.; HERNÁNDEZ, A. G.; MORALES, D. M. L.; SILVA, E. P. da; SOUZA, L. F.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; REIS, M.S. dos; SOARES, C. R. F. S. Atributos microbiológicos e estrutura de comunidades bacterianas como indicadores da qualidade do solo em plantios florestais na Mata Atlântica. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1405-1417, out.- dez., 2018.

CHIDUMAYO, E. N. Zambian charcoal production. **Energy Policy**, Elsevier, v. 21, n. 5, p. 586–597, 1993.

CHIDUMAYO, E. N.; GUMBO, D. J. The environmental impacts of charcoal production in tropical ecosystems of the world: a synthesis. **Energy for Sustainable Development**, Oregon, v. 17, n. 2, p. 86-94, 2013.

COSTA, A. C. S.; OLIVEIRA, A. C.; FREITAS, A. J. de.; LEAL C. S.; PEREIRA, B. L. C. Qualidade do carvão vegetal para cocção de alimentos comercializado em Cuiabá – MT. **Nativa**, Sinop, v.5, n.6, p.456-461, 2017.

COSTA, L.R.; TRUGILHO, P.F.; HEIN, P.R.G. Evaluation and classification of eucalypt charcoal quality by near infrared spectroscopy. **Biomass and Bioenergy**, v. 112, p. 85-92, 2018.

COUTO, A. M.; TRUGILHO, P.F.; NAPOLI, A.; LIMA, J.T.; SILVA, J.R.M. da.; PROTÁSIO, T. de P.; Qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus* e *Corymbia* produzido em diferentes temperaturas finais de carbonização. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p. 817-831, 2015.

DELATORRE, F.M.; CUPERTINO, G.F.M.; SANTOS JUNIOR, A.J. dos.; SILVA, A.M. da.; DIAS JÚNIOR, A.F.; SILVEIRA, M.P.R. Insights acerca do uso de finos de carvão vegetal para geração de bioenergia. **ACSA**, Patos-PB, v.16, n.2, p.138-144, 2020.

DIAS JÚNIOR, A. F.; ANDRADE, C. R.; BRITO, J. O.; MILAN, M. Desdobramento da função qualidade (QFD) na avaliação da qualidade do carvão vegetal utilizado para cocção de alimentos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 22, n.2, p. 262-270, 2015.

DHYANI, V.; BHASKAR, T. A. Comprehensive review on the pyrolysis of lignocellulosic biomass. **Renewable Energy**, Oxford, v. 129, p. 695-716, dec. 2017.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2018: Relatório Síntese 2018** (ano base 2017) Rio de Janeiro, p.12, 2018.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional - Relatório Síntese 2020** (ano base 2019), Rio de Janeiro, p.73, 2020.

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. Recovery of by-products from hardwood carbonization [Chapter 12]. Disponível em <http://www.fao.org/docrep/X5328E/x5328e0d.htm>. Acessado em 12 junho de 2019.

FROELICH, P.L.; MOURA, A.B.D. Carvão vegetal: propriedades físico-químicas e principais aplicações. **Tecnologia e tendências**, v. 9, n.1, p.1-19, 2014.

GASPER, A. L.; SEVEGNANI, L.; VIBRANS, A. C.; MARCOS SOBRAL, M.; UHLMANN, A.; LINGNER, D. V.; RIGON JÚNIOR, M. J.; VERDI, M.; SANTOS, A. S.; DREVECK S.; KORTE, A. Inventário florístico florestal de Santa Catarina: espécies da Floresta Ombrófila Mista. **Rodriguésia**, v. 64, n. 2, p. 201 - 210, 2013.

GASSON, P.; CARTWRIGHT, C.; DIAS LEME, C.L. Anatomical changes to the wood of *Croton sonderianus* (Euphorbiaceae) when charred at different temperatures. **IAWA Journal**, v. 38, n.1, p.117–123, 2017.

GONÇALVES, T. A. P., SONSIN-OLIVEIRA, J.; NISGOSKI, S.; MARCATI, C. R.; BALLARIN, A. W.; MUÑIZ, G. I. B. A contribution to the identification of charcoal origin in Brazil III: microscopic identification of 10 Cerrado species. **Australian Journal of Botany**, v.66, p.255-264, 2018.

GONÇALVES, T.A.P.; SCHEEL-YBERT, R. Charcoal anatomy of Brazilian species. I. Anacardiaceae. Biological Sciences - **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 88 (3 Suppl.): p. 1711-1725, 2016.

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.

GONÇALVES, T. A. P.; BALLARIN, A. W.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. A Contribution to the identification of charcoal origin in Brazil I – anatomical characterization of *Corymbia* and *Eucalyptus*. **Maderas. Ciencia y tecnologia**, Bío-Bío, v. 16, n. 3, p. 323- 336, 2014.

GONÇALVES, T.A.P.; MARCATI, C.R.; SCHEEL-YBERT, R. The effect of carbonization on wood structure of *Dalbergia violaceae*, *Stryphnodendron polyphyllum*, *Tapirira guianensis*, *Vochysia tucanorum* and *Pouteria torta* from the Brazilian Cerrado. **IAWA Journal**, v. 33, n. 1, p. 73-90, 2012.

GONÇALVES, T.A.P. Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas no cerrado do estado de São Paulo, Brasil. 111f. **Dissertação** (mestrado em ciência florestal) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência Agrônomicas, Botucatu, 2010.

GONÇALVES, T. A. P.; MARCATI, C. R.; SCHEEL-YBERT, R. Contribuição da Antracologia para a fiscalização de carvão vegetal oriundo de biomas brasileiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1., 2009, Belo Horizonte. Meio digital... Colombo: EMBRAPA Florestas, 2009.

GONÇALVES, T. A. P.; SCHEEL-YBERT, R. Contribuição da antracologia no controle da produção de carvão vegetal no Brasil. In: JORNADA FLUMINENSE DE BOTÂNICA, 26., 2007, Itatiaia. Resumos... Rio de Janeiro: JFB, 2007. p. 99-100.

GONÇALVES, T. A. P.; RANGEL, A.; SCHEEL-YBERT, R. Caracterização anatômica do lenho carbonizado de espécies comuns do cerrado: Subsídio a estudos antracológicos e conservacionistas - I. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO CERRADO E II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SAVANAS TROPICAIS, 9., 2008, Brasília, DF. Resumos... Brasília, DF: ParlaMundi, 2008. p. 1-7.

IAWA – International Association of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**, v.10, n.3, p.219-332, 1989.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Documento de Origem Florestal – DOF. 2016. Disponível em:< <http://www.ibama.gov.br/flora-e-madeira/dof/o-que-e-dof>> Acesso em: 26/01/2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e da silvicultura. Censo Agropecuário. 2015.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores, 2020. Relatório anual: Ano base 2019. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>.

IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores, 2017. Relatório anual: Ano base 2016. Disponível em: <https://iba.org/eng/datafiles/publicacoes/relatorios/iba-relatorio-anual2017.pdf>

IYAMA, M.; CHENEVOY, A.; OTIENO, E.; KINYANJUI, T.; NDEGWA, G.; VANDENABEELE, J.; JOHNSON, O. Achieving sustainable charcoal in Kenya: harnessing the opportunities for crosssectoral integration. [Technical brief. World Agroforestry Centre (ICRAF)]: Nairobi, Kenya, 2014.

INSIDEWOOD. 2004-onwards. Disponível em <http://insidewood.lib.ncsu.edu/search>. Acesso em 15 setembro de 2021.

JENKINS, C.N.; PIMM, S.L.; JOPPA, L.N. Global patterns of terrestrial vertebrate diversity and conservation. **PNAS**, 2013.

JONES, T. P.; CHALONER, W. Charcoal, its recognition and palaeoatmospheric significance. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 97, n. 1-2, p. 39- 50, 1991.

KIM, N. H.; HANNA, R. B. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. **Wood Science and Technology**, v.40, n.5, p. 392-401, 2006.

KLAUBERG, C.; PALUDO, G.F.; BORTOLUZZI, R.L.C.; MANTOVANI, A. Floristics and structure of a mixed rain forest remnant on the Catarinense Plateau. **Biotemas**, v. 23, n. 1, p. 35-47, 2010.

KURAUCHI, M. H. N. **Uma abordagem de ensaio de resistência mecânica de carvão vegetal**. 102f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. São Paulo, 2014.

LAGOS, A. R.; MULLER, B. L. A. Hotspot brasileiro - Mata Atlântica. **Saúde & Ambiente em Revista**, Duque de Caxias, v. 2, n. 2, jul. 2009.

LATORRACA, J. V.F., ALBUQUERQUE, C. E.C. Efeito do rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, v. 7, n. 1, p. 279 - 291, 2000.

Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: 2012.

LIN, SY; HIRATO, M.; HORIO, M. The characteristics of coal char gasification at around ash melting temperature. **Energy Fuels**, v.8, n.3, p.598-606. 1994.

LOUREIRO, B. A.; VIEIRA, T.A.S.; COSTA, L.J.; SILVA, A.B.; ASSIS, M.R. de.; TRUGILHO, P.F. Selection of superior clones of *Corymbia* hybrids based on wood and charcoal properties. **Maderas, Ciencia y tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 619-630, 2019.

MARCHIORI, J.N.C.; MUÑIZ, G.I.B.de.; SANTOS, S.R. dos.; **Madeiras do Rio Grande do Sul: 1- descrição microscópica de 33 espécies nativas**. Santa Maria: Anatterra, 2009. 80p.

MARCHIORI, J.N.C.; MUÑIZ, G.I.B.de.; SANTOS, S.R. dos. **Madeiras do Rio Grande do Sul: 2- descrição microscópica de 35 espécies nativas**. Santa Maria: Anatterra, 2010. 80p.

MARCHIORI, J.N.C.; DENARDI, L.; SANTOS, S.R. dos. **Madeiras do Rio Grande do Sul: 3- descrição microscópica de 34 espécies nativas**. Santa Maria: Anatterra, 2011. 80p.

MARGUERIE, D.; HUNOT, J.Y. Charcoal analysis and dendrology: data from archaeological sites in northwestern France. **Journal of Archeological Science**, v. 34, p. 1417-1433, 2007.

MARUYAMA, T. M.; OLIVEIRA, L. S.; BRITTO, A. S. Jr.; NISGOSKI, S. Automatic classification of native wood charcoal. **Ecological Informatics**, v.46, p.1-7, 2018.

MEIRA, A. M. D.; BRITO, J. O.; RODRIGUEZ, L. C.E. Estudo de aspectos técnicos, econômicos e sociais da produção de carvão vegetal no Município de Pedra Bela, São Paulo, Brasil. **Revista Árvore**, v.29, n.5, p.809-817, 2005.

MME - Ministério de Minas e Energias, 2015. **Balanco Energético Nacional – BEN 2015**, ano base 2013. Disponível em: < <http://www.mme.gov.br>>. Acesso em: 25 jun. 2015.

MORELLO, T. F. **Carvão vegetal e siderurgia: de elo perdido a solução para um mundo pós-Kyoto**.171f. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MUÑIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; FRANÇA, R. F.; SCHARDOSIN, F. Z. Anatomia do carvão de espécies florestais. **Cerne**, v. 18, n. 3, p. 471-477, 2012.

NISGOSKI, S.; MAGALHAES, W. L. E.; BATISTA, F. R. R.; FRANÇA, R. F.; MUÑIZ, G. I. B. de. Anatomical and energy characteristics of charcoal made from five species. **Acta Amazonica**, v. 44, n.3, p.367-372, 2014.

NEVES, T.A.; PROTÁSSIO, T.P.; COUTO, A.M.; TRUGILHO, P.F.; SILVA, V.O.; VIEIRA, C.M.M. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 31, p. 319-330, 2011.

NONES, D.L.; BRAND, M.A.; CUNHA, A.B.; CARVALHO, A.F.; WEISE, S.M.K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Revista Floresta**, v. 45, n. 1, p. 57 -64, 2015.

NUNES, G.R.S.; KUPKE, M.S.; XIMENDES, M.S.; HANAUER, J.E.; FARIAS, J.A. DE.; PEDRAZZI, C. Qualidade do carvão vegetal para consumo doméstico comercializado na região central do Rio Grande do Sul. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 16, n. 3, p. 119-121, 2020.

OLIVEIRA, R. S.; SILVA, L. F. F.; ANDRADE, F. W. C.; TRUGILHO, P. F.; PROTÁSIO, T. P.; GOULART, S. L. Qualidade do carvão vegetal comercializado no Sudeste Paraense para cocção de alimentos. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 62, p. 1-8, 2019.

OLIVEIRA, A.C.; PEREIRA, B.L.C.; SALLES, T.T.; CARNEIRO, A.C.O.; LANA, A.Q. Análise de risco econômico de dois sistemas produtivos de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; BARCELLOS, D. C.; RODRIGUEZ, A. V.; AMARAL, B. M. N.; PEREIRA, B. L. C. Resfriamento artificial em fornos retangulares para a produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 39, n. 4, p. 769-778, 2015.



PASSOS, B. M. dos; SIMIONI, F. J.; DEBONI, T. L.; DALARI, B. L. S. K. Características do consumo residencial de lenha e carvão vegetal. **Floresta**, v. 46, n. 1, p. 21-29, 2016.

PECEGUEIRO, J.G.C.; MENDOZA, Z.M. dos S.H. de.; BORGES, P.H de M.; MORAIS, P.H de M. Análise comercial de carvão vegetal para fins alimentícios. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 3, n. 4, p. 4051-4060, 2020.

PEDROSO, L. L. A.; SILVA, F. F. DA; SILVA, F. F DA; MELO, A. M.; ERTHAL JUNIOR, M.; SHIMOYA, A.; MATIAS, I. DE O.; SOUZA, C. L.; Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 5, p. 1980-1996, 2018.

PERDIGÃO, C. R.V.; JÚNIOR, M.M.B.; GONÇALVES, T.A.P.; ARAUJO, C. D. S.; MORI, F.A.; BARBOSA, A.C.M.C.; DE SOUZA, F.I.;B.; MOTTA, J.P.; LIMA MELO, L.E. de. Forestry control in the Brazilian Amazon I: wood and charcoal anatomy of three endangered species. **IAWA Journal**, v. 41, n. 4, p. 490-509, 2020.

PEREIRA, B. L. C.; Carvalho, A.M.M.L.; Oliveira, A.C.; Santos, L.C.; Carneiro, A. de C.O.; Magalhães, M.A. de. Efeito da Carbonização da Madeira na Estrutura Anatômica e Densidade do Carvão Vegetal de Eucalyptus. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 545-557, 2016.

PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; TRUGILHO, P.F.; MELO, I.C.N.A.; OLIVEIRA, A.C. Estudo da degradação térmica da madeira de Eucalyptus através de termogravimetria e calorimetria. **Revista Árvore**, v.37, n.3, p.567-576, 2013a.

PEREIRA, B.L.C.; CARNEIRO, A.C.O.; CARVALHO, A.M.M.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, A.C.; FONTES, M.P.F. Influence of chemical composition of eucalyptus wood on gravimetric yield and charcoal properties. **Bioresources**, v.8, p.4574-4592, 2013b.

PIMENTA, A.S.; BARCELLOS, D.C. Atualização em carvão vegetal. Viçosa: UFV, p.95, 2004. (Apostila).

PRIOR, J.; GASSON, P. Anatomical changes on six African hardwoods. **IAWA Journal**, v.14, p.77-86, 1993.

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**, v. 31, p.1593-1599, 2017.

REPÓRTER BRASIL; PAPEL SOCIAL. **Combate à devastação ambiental e trabalho escravo na produção do ferro e do aço: Amazônia, Cerrado e Pantanal**. 135 p. 2012

REZENDE, J. B.; SANTOS, A. C. D. **A cadeia produtiva do carvão vegetal em Minas Gerais: pontos críticos e potencialidades**. Viçosa, MG: EPAMIG, p.82, 2010. Boletim Técnico.

REZENDE, M.E. **Produção de carvão vegetal- importância do conhecimento fundamental**. 2006. Belo Horizonte- MG. 2006. Curso: Fundamentos e práticas da carbonização da biomassa, ministrado durante o Seminário: Prática, logística, gerenciamento e estratégias para o sucesso da conversão da matéria lenhosa em carvão vegetal para uso na metalurgia e indústria.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. **Análise econômica e social de projetos florestais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p.389, 2001.

RIBEIRO, P.G.; VALE, A.T. Qualidade do carvão vegetal de resíduos de serraria para o uso doméstico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA, 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2006.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RONSSSE, F.; NACHENIUS, R. W.; PRINS, W. Carbonization of Biomass. In: PANDEY, A. et al. Recent advances in thermochemical conversion of biomass. Amsterdam: Elsevier, p. 293-323, 2015.

ROSA, R. A.; CHAVES ARANTES, M. D.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. D. P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v.3, n.2, p.41-48, 2012.

ROUSSET, P.; FIGUEIREDO, C.; DE SOUZA, M.; QUIRINO, W. Pressure effect on the quality of eucalyptus wood charcoal for the steel industry: A statistical analysis approach. **Fuel processing technology**, v. 92, n. 10, p. 1890-1897, 2011.

ROWELL, R. M. Cell Wall Chemistry. In: \_\_\_\_\_ (Ed.). **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Boca Raton: CRC Press, p. 121-138. 2005.

RUSCA, G. G.; MORAES, M. C. P.; VALENTE, R. A.; PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. Análise espacial dos fragmentos florestais no entorno de uma unidade de conservação de proteção integral. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 44, p. 85-94, 2017.

SANTOS, S.R. dos.; MARCHIORI, J.N.C. **Madeiras do Rio Grande do Sul: 4-descrição microscópica de 34 Mirtáceas nativas**. Santa Maria: Anatterra, 2011. 80p.

SANTOS, S.F.O.M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. – Salvador -BA. **Produção**, v.22, n.2, p.309-321, 2012.

SANTOS, R.C. **Parâmetros de qualidade de madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. Dissertação (Doutorado)- Universidade Federal de Lavras. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Lavras, 2010.

SANTOS, R.C.; CARNEIRO, A.C.O.; TRUGILHO, P.F.; MENDES, L.M.; CARVALHO, A.M.M.L. Análise termogravimétrica em clones de eucalipto como subsídio para a produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 18, n. 1, p. 143-151, jan./mar. 2012.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Agricultura e Abastecimento de São Paulo. Resolução nº10 SAA, de 11 de julho de 2003. São Paulo, 2003.

SCHEEL-YBERT, R.; CARVALHO, M.A.; MOURA, R.P. de O.; GONÇALVES, T.A.P.; SCHEEL-YBERT, J.P. Coleções de referência e bancos de dados de estruturas vegetais: subsídios para estudos paleoecológicos e paleoetnobotânicos. **Arquivos do Museu Nacional**, v.64, n.3, p.255-266, 2006.

SCHEEL-YBERT, R. Teoria e métodos em antracologia. 2 – Técnicas de campo e laboratório. **Arquivos do Museu Nacional**, v.62, n.4, p.343-256, 2004.

SCHEEL-YBERT, R. Stabilité de l'Écosystème sur le Littoral Sud-Est du Brésil à l'Holocène Supérieur (5500-1400 ans BP): les pêcheurs-cueilleurs-chasseurs et le milieu végétal: apports de l'antracologie, UNIVERSITE MONTPELLIER II. 1998.

SCHEEL, R.; GASPAR, M.D.; YBERT, J. A anatomia dos carvões pré-históricos. Arqueologia encontra respostas em restos de fogueiras e incêndios florestais. **Revista Ciência Hoje**, v. 21, n. 122, p. 66-69, 1996.

SCHEEL, R.; GASPAR, M. D.; YBERT, J. Antracologia, uma nova fonte de informação para a arqueologia brasileira. **Revista do Museu de Arqueologia e Etnologia**, v. 6, p. 3-9, 1996.

SCREMIN, A.L.T. **Estudo energético e físico-químico do carvão vegetal de *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 103f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro-Oeste. Programa de Pós Graduação em Bioenergia. Guarapuava, 2012.

SCOTT, A. C. Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 291, p. 11-39. 2010.

SCOTT, A. C. The pre-quaternary history of fire. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 164, p. 281–329. 2000.

SILVA, D.A.L.; MULLER, B.; KUIASKI, E.C.; ELOY, E.; BEHLING, A.; COLAÇO, C.M. Propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii* para produção de energia. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 481–485, 2015.

SILVA, D.A.L.; CARDOSO, E. A da C.; VARANDA, L.D.; CHRISTOFORO, A.L.; MALINOVSKI, R.A. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.38, n.1, p.185-193, 2014.

SILVA, R.C. DA.; MARCHESAN, R.; FONSECA, M.R.; DIAS, A.C.C.; VIANA, L.C. Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, p. 1-10, 2018.

SJÖSTRÖM, E. **Wood Chemistry: fundamentals and applications**. New York: Academic Press, p.293, 1993.

SOMERVILLE, M.; JAHANSHAH, S. The effect of temperature and compression during pyrolysis on the density of charcoal made from Australian eucalypt wood. **Renewable Energy**, v. 80, p. 471-478, ago. 2015.

SOUZA-PINTO, N. R.; SCHEEL-YBERT, de R. Charcoal anatomy of Brazilian species. II. 15 native species occurring in Atlantic or Amazon rainforest. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, n. 4, 2021.

STANGE, R.; VIEIRA, H. C.; RIOS, P. D.; NISGOSKI, S. Wood and charcoal anatomy of four myrtaceae species. **Cerne**, Lavras, v.24, n.3, p.190-200, 2018.

STÜPP, A.M.; VIEIRA, H.C.; RIOS, P.D'.A.; MUÑIZ, G. I. B. DE.; NISGOSKI, S. Effect of carbonization on wood anatomy of three Fabaceae species from an Araucaria forest stand in Southern Brazil. **Bosque**, v.42, n.1, p.33-42, 2021.

SUSAETA, A.; ADAMS, D.C.; GONZALESBENECKE, C. Economic vulnerability of southern US slash pine forests to climate change. **Journal of Forest Economics**, v.28, n.1, p.18-32, 2017.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, D. A. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Hymenaea courbaril*). **Scientia Agraria**, v. 2, n. 1/2, p. 45-53, 2001.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Evaluation of Eucalyptus clones for charcoal production. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 104-114, 2001.

VALE, A.T.; GENTIL, L. V. Produção e uso energético de biomassa e resíduos agroflorestais. In: OLIVEIRA, J.T.S; FIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. (Ed). **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro III**. Jerônimo Monteiro- ES, p.196-246, 2008.

VERNET, J. L.; THIEBAULT, S. An approach to northwestern Mediterranean recent prehistoric vegetation and ecologic implications. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 14, p. 117- 127, 1987.

VILAS BOAS, M. A.; CARNEIRO, A. de C.O.; VITAL, B.R.; CARVALHO, A.M.M.L.; MARTINS, M.A. Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. **Scientia Forestalis**, v. 38, n. 87, p. 481-490, 2010.

VIEIRA, R.S.; LIMA, J.T.; MONTEIRO, T.C.; SELVATTI, T.S.; BARAÚNA, E.E.P.; NAPOLI, A. Influência da temperatura no rendimento dos produtos da carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Cerne**, v.19, p.59-64, 2013.

VIEIRA, H. C.; SANTOS, J. X. DOS, SOUZA, D. V.; RIOS, P. D'A.; MUÑIZ, G. I. B. de; MORRONE, S.R.; NISGOSKI, S. Near-infrared spectroscopy for the distinction of wood and charcoal from Fabaceae species: comparison of ANN, KNN AND SVM models. **Forest Systems**, v. 29, n. 3, p. 2, 2020.

VOLPE, R.; MENENDEZ, J.M.B.; REINA, T.R.; MESSINEO, T.; MILLAN, M. Evolution of chars during slow pyrolysis of citrus waste. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v. 158, p. 255-563, Apr. 2017.

WHEELER, E.A.; BAAS, P. Wood Identification – A Review. **IAWA Journal**, v.19, n.3, p.241-264, 1998.

ZHANG, L., CHUNBAO, C., XU, P.C. Overview of recent advances in thermo-chemical conversion of biomass. **Energy Conversion and Management**. Elsevier, v.51, p.969-982, 2010.

ZENID, G. J.; CECCANTINI, G.C.T. **Identificação macroscópica de madeiras**. Laboratório De Madeira E Produtos Derivados, Centro De Tecnologia De Recursos Florestais, Instituto De Pesquisas Tecnologicas Do Estado De São Paulo – IPT, São Paulo, 2007.

ZORRILLA-MIRAS, P.; MAHAMANE, M.; METZGER, M. J.; BAUMERT, S.; VOLLMER, F.; LUZ, A. C.; RYAN, C. M. (2018). Environmental conservation and social benefits of charcoal production in Mozambique. **Ecological Economics**, Unites States, v.144, p. 100-111, 2018.