



# Descrição dendrológica e caracterização energética de espécies florestais, Amazônia Legal

**Renata Carvalho da Silva**  
**Raquel Marchesan**  
**Priscila Bezerra de Souza**  
**Lorrainy Azevedo de Carvalho**  
**Camila Freire Dias**  
**Victor Braga Rodrigues Duarte**  
**[orgs.]**



Palmas  
2023

**Descrição dendrológica  
e caracterização energética  
de espécies florestais,  
Amazônia Legal**



**Universidade Federal do Tocantins**  
**Editora da Universidade Federal do Tocantins - EDUFT**

**Reitor**

Luis Eduardo Bovolato

**Vice-reitor**

Marcelo Leineker Costa

**Chefe de Gabinete**

Emerson Subtil Denicoli

**Pró-Reitor de Administração e Finanças  
(PROAD)**

Jaasiel Nascimento Lima

**Pró-Reitor de Assuntos Estudantis  
(PROEST)**

Kherley Caxias Batista Barbosa

**Pró-Reitora de Extensão, Cultura e  
Assuntos Comunitários  
(PROEX)**

Maria Santana Ferreira dos Santos

**Pró-Reitora de Gestão e  
Desenvolvimento de Pessoas  
(PROGEDEP)**

Michelle Matilde Semiguem Lima Trombini Duarte

**Pró-Reitor de Graduação (PROGRAD)**

Eduardo José Cezari

**Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação  
(PROPESQ)**

Raphael Sânzio Pimenta

**Pró-Reitor de Tecnologia e Comunicação  
(PROTIC)**

Ary Henrique Morais de Oliveira

**Conselho Editorial**

**Presidente**

Ruhena Kelber Abrão Ferreira

**Membros do Conselho por Área**

**Ciências Biológicas e da Saúde**

Eder Ahmad Charaf Eddine  
Marcela Antunes Paschoal Popolin  
Marcio dos Santos Teixeira Pinho

**Ciências Humanas, Letras e Artes**

Barbara Tavares dos Santos  
George Leonardo Seabra Coelho  
Marcos Alexandre de Melo Santiago  
Rosemeri Birck  
Thiago Barbosa Soares  
Willian Douglas Guilherme

**Ciências Sociais Aplicadas**

Roseli Bodnar  
Vinicius Pinheiro Marques

**Engenharias, Ciências Exatas e da Terra**

Fernando Soares de Carvalho  
Marcos André de Oliveira  
Maria Cristina Bueno Coelho

**Interdisciplinar**

Ana Roseli Paes dos Santos  
Ruhena Kelber Abrão Ferreira  
Wilson Rogério dos Santos



O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Da mesma forma, o conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu respectivo autor.

# Descrição dendrológica e caracterização energética de espécies florestais, Amazônia Legal

**Renata Carvalho da Silva  
Raquel Marchesan  
Priscila Bezerra de Souza  
Lorrainy Azevedo de Carvalho  
Camila Freire Dias  
Victor Braga Rodrigues Duarte**

Copyright ©2023 Universidade Federal do Tocantins

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

**PROJETO GRÁFICO E Diagramação:** Maria Clara | MC&G Editorial

**Arte de capa:** G. Coelho | MC&G Editorial

**Revisão:** O conteúdo dos textos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade dos respectivos autores

---

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

---

D449 Descrição dendrológica e caracterização energética de espécies florestais, Amazônia Legal [recurso eletrônico] / organizadores Renata Carvalho da Silva... [et al.]. – Palmas : EDUFT , 2023.  
Dados eletrônicos (pdf).

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-5 390-049-3

1. Árvores - Identificação. 2. Plantas dos cerrados – Brasil. 3. Ciência florestal. 4. Manejo florestal. 5. Árvores – Terminologia. I. Silva, Renata Carvalho da. II. Título

CDD23 : 582 . 160981

---

Biblioteca: Priscila Pena Machado - CRB-7/6971

Direitos desta edição cedidos à  
Editora da Universidade Federal do Tocantins | Eduft  
109 NORTE AV NS 15 ALCNO 14 - Campus de Palmas, BL IV  
Palmas - TO  
CEP 77001-090 - Brasil  
Tel.: +55 63 3229-4301  
[www.uft.edu.br/editora](http://www.uft.edu.br/editora)

## **PREFÁCIO**

O Cerrado possui uma grande diversidade de espécies arbóreas e o conhecimento de suas características é de suma importância, por ser o segundo maior bioma do território brasileiro. As espécies arbóreas podem ser identificadas pelas características vegetativas e também através das características tecnológicas da madeira e do carvão vegetal. Tendo em vista as necessidades de conhecer as espécies arbóreas nativas, este livro teve por finalidade descrever os caracteres vegetativos e tecnológicos do carvão vegetal como forma de identificação, que dará respaldo para recuperação de áreas degradadas, manejo florestal, instituições de ensino e órgãos ambientais para fim de fiscalização. Este livro constitui uma ferramenta importante e necessária para a identificação das espécies florestais em campo e para massificar a ação humana tendo em vista que ocorre a produção de carvão vegetal da madeira de espécies florestais em área de cerrado *sensu stricto* inserido na Amazônia legal.



## RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi descrever os caracteres dendrológicos e caracterizar o carvão vegetal de algumas espécies florestais do domínio Cerrado inserido na Amazônia Legal, bem como fornecer informações que possam auxiliar órgãos ambientais na identificação de carvão produzido de forma ilegal. Foram descritas 12 espécies pertencentes a 11 famílias: Anacardiaceae - *Anacardium humile* (cajuzinho-do-cerrado), Malpighiaceae - *Byrsonima pachyphylla* (murici), Vochysiaceae - *Callisthene major* (pau-rato), Caryocaraceae - *Caryocar brasiliense* (pequi), Dilleniaceae - *Curatella americana* (lixreira), Erythroxylaceae - *Erythroxylum deciduum* (fruta-de-pombo), Cryobalanaceae - *Hirtella glandulosa* (vermelhão), Sapindaceae - *Magonia pubescens* (tingui), Rubiaceae - *Palicourea rigida* (bate-caixa), Vochysiaceae - *Qualea parviflora* (pau-terra-roxo), Fabaceae Papilionoideae - *Vatairea macrocarpa* (angelim-amargoso) e Annonaceae - *Xylopia aromatica* (pimenta-de-macaco). A escolha das espécies foi definida de acordo com a distribuição residual das mesmas na área de coleta e o sistema de classificação adotado foi o “Angiosperm Phylogeny Group”. A grafia e autoria dos binômios específicos e sinônimos foram confirmadas nas bases de dados “Lista de Espécies da Flora do Brasil”. Para a caracterização do carvão vegetal foram realizados dois tratamentos, sendo dez corpos de prova para cada espécie avaliada com cinco repetições para cada marcha de carbonização (500 e 550°C). A densidade básica da madeira foi calculada pelo método da balança hidrostática. A obtenção do carvão com casca foi realizado pelo processo de pirólise em forno mufla e, para carbonização, foi utilizada taxa de aquecimento de 1 °C por minuto, com temperatura inicial de carbonização de 100 °C até atingir a temperatura final de 500°C. Após atingir essa temperatura, o processo de carbonização permaneceu por mais 30 minutos. O carvão vegetal foi produzido por meio do processo de pirólise da madeira em um forno tipo mufla adaptado para captação do licor pirolenhoso, em que foram utilizadas duas

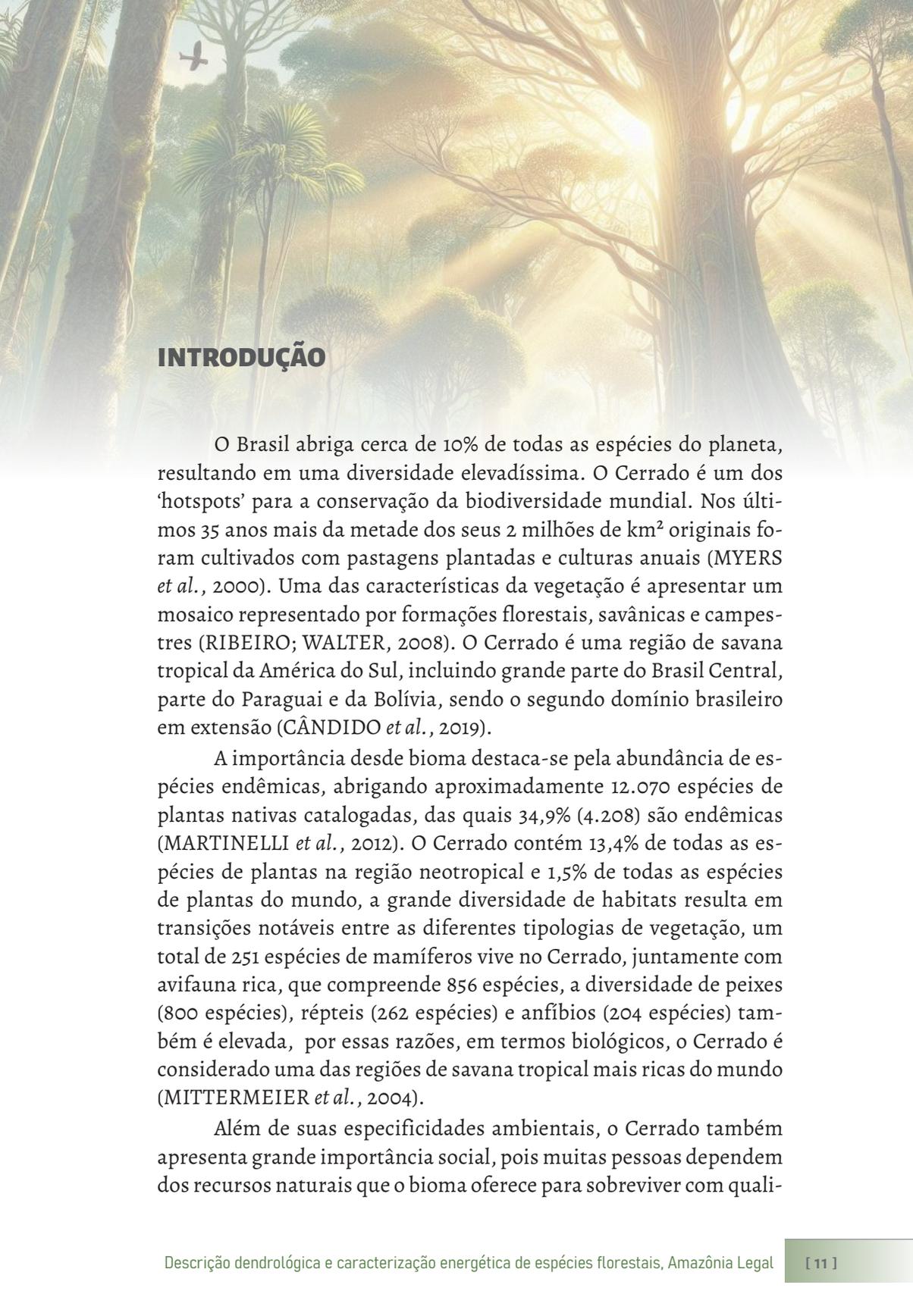
marchas com temperaturas finais de 500°C e 550°C e taxa de aquecimento de 1,2 °C e 1,4 °C. Por meio do processo de pirólise foram obtidos os valores de Rendimento total em carvão vegetal, Rendimento em gases condensáveis e Rendimento em gases não condensáveis. Também foram determinadas a densidade aparente, a análise química imediata (AQI) do carvão vegetal e, por fim, calculou-se o poder calorífico. Recomenda-se para produção de energia as espécies *E. deciduum* (24,88, 74,35, 0,75% e 7408,15 kcal.kg<sup>-1</sup>), *M. pubescens* (23,60, 73,38, 3,01% e 7308,76 kcal.kg<sup>-1</sup>), *V. macrocarpa* (22,53, 75,21, 0,54% e 7443,57 kcal.kg<sup>-1</sup>) e *X. aromática* (20,09, 74,26, 0,67% e 7365,56 kcal.kg<sup>-1</sup>), pois apresentaram valores médios aceitáveis para os teores de materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e poder calorífico superior do carvão vegetal. Recomenda-se a marcha de carbonização de 550°C.

**Palavras-chaves:** Carvão vegetal. Descrição macromoórfologica. Identificação de espécies. Produção de energia.

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DENDROLÓGICA E ENERGÉTICA DAS ESPÉCIES FLORESTAIS EM ÁREA DE CERRADO <i>SENSU STRICTO</i> NA REGIÃO DE AMAZÔNIALEGAL</b>	<b>15</b>
	2.1 Área de estudo	15
	2.2 Coleta do material botânico	16
	2.2.1 Descrição dendrológica do material vegetal	16
	2.3 Amostragem da madeira para produção do carvão vegetal	17
	2.4 Densidade básica da madeira	18
	2.5 Produção do carvão com casca	18
	2.6 Pirólise da madeira	19
	2.7 Densidade aparente do carvão	20
	2.8 Rendimentos da pirólise	20
	2.8.1 Rendimento gravimétrico total do carvão vegetal	20
	2.8.2 Rendimento em gases condensáveis e em não condensáveis	21
	2.9 Análise química imediata (AQI)	22
	2.9.1 Determinação do teor de materiais voláteis	22
	2.9.2 Determinação do teor de cinzas	22
	2.9.3 Determinação do teor de carbono fixo	23
	2.10 Determinação do poder calorífico do carvão vegetal	23
	2.11 <i>Anacardium humile</i> A. St.-Hil. (Cajuzinho-do-cerrado)	24
	2.12 <i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss(Murici)	30
	2.13 <i>Callisthene major</i> Mart. (Pau-rato)	36
	2.14 <i>Caryocar brasiliense</i> Cambess. (Pequi)	42
	2.15 <i>Curatella americana</i> L. (Lixeira)	47
	2.16 <i>Erythroxylum deciduum</i> A. St. Hil. (Fruta-de-pomba)	52

2.17	<i>Hirtella glandulosa</i> Spreng. (Vermelhão)	58
2.18	<i>Magonia pubescens</i> St. Hil. (Tingui)	63
2.19	<i>Palicourea rigida</i> Kunth (Bate-caixa)	68
2.20	<i>Qualea parviflora</i> Mart. (Pau-terra roxo)	73
2.21	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth) Ducke (Angelim-amargoso)	79
2.22	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart. (Pimenta - de macaco)	84
<b>3</b>	<b>COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DAS ESPÉCIES NATIVAS FLORESTAIS COM ESPÉCIES E CLONES DO GÊNERO <i>EUCALYPTUS</i> SSP. PLANTANDOS EM ÁREA DE CERRADO <i>SENSU STRICTO</i> NA REGIÃO DA AMAZÔNIA LEGAL</b>	91
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	95
	<b>REFERÊNCIAS</b>	97



## INTRODUÇÃO

O Brasil abriga cerca de 10% de todas as espécies do planeta, resultando em uma diversidade elevadíssima. O Cerrado é um dos 'hotspots' para a conservação da biodiversidade mundial. Nos últimos 35 anos mais da metade dos seus 2 milhões de km<sup>2</sup> originais foram cultivados com pastagens plantadas e culturas anuais (MYERS *et al.*, 2000). Uma das características da vegetação é apresentar um mosaico representado por formações florestais, savânicas e campestres (RIBEIRO; WALTER, 2008). O Cerrado é uma região de savana tropical da América do Sul, incluindo grande parte do Brasil Central, parte do Paraguai e da Bolívia, sendo o segundo domínio brasileiro em extensão (CÂNDIDO *et al.*, 2019).

A importância deste bioma destaca-se pela abundância de espécies endêmicas, abrangendo aproximadamente 12.070 espécies de plantas nativas catalogadas, das quais 34,9% (4.208) são endêmicas (MARTINELLI *et al.*, 2012). O Cerrado contém 13,4% de todas as espécies de plantas na região neotropical e 1,5% de todas as espécies de plantas do mundo, a grande diversidade de habitats resulta em transições notáveis entre as diferentes tipologias de vegetação, um total de 251 espécies de mamíferos vive no Cerrado, juntamente com avifauna rica, que compreende 856 espécies, a diversidade de peixes (800 espécies), répteis (262 espécies) e anfíbios (204 espécies) também é elevada, por essas razões, em termos biológicos, o Cerrado é considerado uma das regiões de savana tropical mais ricas do mundo (MITTERMEIER *et al.*, 2004).

Além de suas especificidades ambientais, o Cerrado também apresenta grande importância social, pois muitas pessoas dependem dos recursos naturais que o bioma oferece para sobreviver com quali-

dade de vida, incluindo grupos indígenas, quilombolas, geraizeiros, ribeirinhos e quebradeiras de coco babaçu, que são parte do patrimônio histórico e cultural do Brasil e compartilham o conhecimento tradicional da biodiversidade (MARINHO *et al.*, 2010). Mais de 220 espécies são conhecidas para uso medicinal e muitas frutas nativas são regularmente consumidas por moradores locais e vendidas nos centros urbanos, como o pequi (*Caryocar brasiliense* Cambess.), buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.), mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes), cagaita (*Eugenia dysenterica* (Mart.) DC.), bacupari (*Salacia crassifolia* (Mart. ex Schult.) G. Don), araticum (*Annona crassiflora* Mart.) e baru (*Dipteryx alata* Vogel) (SCARANO *et al.*, 2012).

O Tocantins é um dos estados brasileiros com maior área coberta pelo domínio Cerrado 182.640 km<sup>2</sup>, cerca de 72% de cobertura com vegetação nativa preservada, constituindo um dos maiores remanescentes desse domínio (MMA, 2015). A forma mais extensa, o cerrado *sensu stricto*, ocupa aproximadamente 65% da área geográfica do Bioma, caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas, os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes, que permite a rebrota após a queima ou corte (BASTOS *et al.*, 2010).

As formações savânicas, onde estão inseridas as áreas de cerrado *sensu stricto* geralmente ocupam terrenos planos de solos profundos ideais à agricultura mecanizada que propicia a conversão de áreas naturais em lavouras e pastagens (SANO *et al.*, 2007). Resultado disso, é que essas formações perderam 64 milhões de hectares representando 47,84% de sua cobertura vegetal original, tal cenário é a maior taxa de desmatamento anual dentre todos os biomas brasileiros, liderados pelos estados do Maranhão, Bahia e Tocantins (FERREIRA *et al.* 2017).

A destruição dos ecossistemas que constituem o Cerrado continua de forma acelerada no estado do Tocantins, neste caso, a identificação dendrológica das espécies madeireiras que estão sendo retiradas seja de forma legal ou ilegal possibilita o uso correto de acordo com as características macromorfológicas, entretanto, cabe ressaltar que madeiras provenientes do desmatamento legal para implantação de pastagens no Cerrado na região do Tocantins são reutilizadas na

forma de carvão vegetal, por meio do Documento de Origem Florestal (DOF), instituído pela Portaria nº 253, de 18 de agosto de 2006, do Ministério do Meio Ambiente (MMA), que é a licença que permite que o carvão nativo seja produzido, armazenado e transportado de forma legal (IBAMA, 2018).

O Brasil destaca-se no setor mundial como o maior produtor e consumidor de carvão vegetal, sendo o maior país no mundo no qual este insumo tem uma aplicação industrial em grande escala, como destino principal, a produção de ferro-gusa, aço e ferro-liga e silício metálico, cerca de 94% do carvão vegetal produzido é consumido pelo setor industrial (EPE, 2018). A grande demanda por carvão vegetal para abastecer as necessidades da indústria é um dos fatores que colabora para o desmatamento, devido não haver florestas plantadas suficientes para suprir toda a demanda, acarretando na exploração desordenada das florestas nativas (COSTA *et al.*, 2014).

Os autores, afirmam que existe a necessidade de fomentar pesquisas científicas com espécies florestais do Cerrado para avaliar as características do carvão vegetal. Diante deste contexto, o conhecimento da diversidade florística do domínio Cerrado é de fundamental importância para compreender a estrutura dessas comunidades, pois estes estudos auxiliam nas relações ecológicas na manutenção das comunidades, nos inventários e manejos florestais (TEIXEIRA, 2015).

Pesquisas relacionadas com identificação rápida e segura, tendo como base apenas características morfológicas vegetativas tem sido de extrema relevância para o conhecimento da composição florística, pois a precisa identificação das espécies florestais possibilita avaliar a qualidade da madeira e do carvão, além de averiguar o potencial do material a ser utilizado como insumo energético, uma vez que esse produto é afetado pela madeira que lhe deu origem e do sistema de produção. Assim, torna-se indispensável determinar as propriedades físicas e químicas que se relacionam com o desempenho energético, tais como densidade básica, teor de materiais voláteis, carbono fixo, cinzas e poder calorífico superior (SANTOS *et al.*, 2016).

Identificar a espécie que originou o carvão vegetal é de suma importância, pois a conscientização da população sobre a necessidade de maior conservação ambiental leva a órgãos fiscalizadores a ter mais controle da produção e circulação de carvão de espécies nativas.

No entanto, apesar dos esforços para produzir madeira de floresta plantada a fim de atender o setor industrial não é suficiente, com isso o consumo de madeira nativa para produção de carvão vegetal ainda é utilizada (EPE, 2018). Assim é importante empregar metodologias que possam ser utilizadas nos postos de fiscalização, com capacidade de convencimento e que, em conjunto, permitam confirmar a origem do carvão de procedência incerta e uma consulta a banco de dados contendo informações sobre as propriedades dos carvões proporcionam maior segurança na identificação de qual espécie lhe deu origem (VITAL *et al.*, 2014).

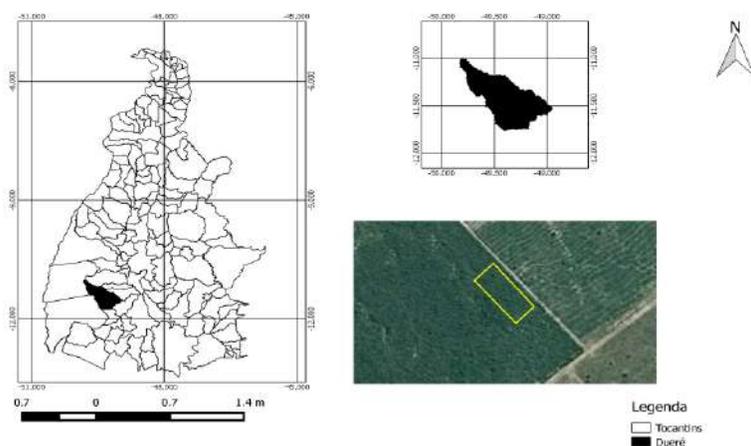
Mediante a importância e a necessidade de identificar a espécie que originou o carvão vegetal, o objetivo desta pesquisa foi descrever os caracteres dendrológicos e caracterizar o carvão vegetal de algumas espécies florestais do domínio Cerrado inserido na Amazônia Legal, bem como fornecer informações que possam auxiliar órgãos ambientais na identificação de carvão produzido de forma ilegal.

## 2 CARACTERIZAÇÃO DENDROLÓGICA E ENERGÉTICA DAS ESPÉCIES FLORESTAIS EM ÁREA DE CERRADO *SENSU STRICTO* NA REGIÃO DE AMAZÔNIA LEGAL

### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O material foi coletado na fazenda Dalla localizada no município de Dueré, estado do Tocantins, domínio Cerrado, fisionomia de cerrado *sensu stricto*, que encontra-se na região Norte do país inserida na Amazônia Legal sob as coordenadas geográficas Latitude: 11° 11'01.7" S, Longitude: 49° 22'05.6" W (Figura 1).

Figura 1: Localização geográfica do município de Dueré, Tocantins e do local na Fazenda Dalla onde o material foi coletado.



Fonte: Autora (2020).

## 2.2 COLETA DO MATERIAL BOTÂNICO

As amostras coletadas dos vegetais foram provenientes de um fragmento de Cerrado que possuía licenciamento ambiental e Documento de Origem Florestal (DOF), as espécies florestais estavam sendo substituídas por pastagem e reaproveitadas para a produção de carvão vegetal nativo.

A espécie *Caryocar brasiliense* Cambess, é imune de corte de acordo com Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012 e na Lei Complementar nº 140, de 8 de dezembro de 2011, nos Decretos nº 4.339, de 22 de agosto de 2002 e nº 8.975, de 24 de janeiro de 2017, ou seja, é proibido o corte do pequiheiro gênero *Caryocar* spp. em áreas situadas fora dos limites do bioma Amazônia, exceto nos casos de exemplares plantados (PORTARIA NÚMERO 32, 2019). As espécies *Anacardium humile* A. St.-Hil. (cajuzinho-do-cerrado), *Byrsonima pachyphylla* A. Juss (murici) e *Magonia pubescens* St. Hil. (tingui) fazem parte da lista de espécies protegidas por lei no estado do Tocantins (NATURATINS, 2021). Entretanto o corte da espécie foi realizado para fins de pesquisa, com intuito de auxiliar a identificação de espécies de corte ilegal.

Os materiais botânicos foram coletados para identificação e incorporação no acervo do Herbário da Universidade Federal do Tocantins – Herbário HTO *Campus* Porto Nacional. As técnicas de coleta e processamento do material botânico seguiram as recomendações de (FILDALGO & BONONI, 1984; MORI *et al.*, 1989). Cabe ressaltar que antes do material botânico ser coletado as espécies foram observadas minuciosamente para posterior descrição dendrológica.

### 2.2.1 Descrição dendrológica do material vegetal

O sistema de classificação adotado foi o “Angiosperm Phylogeny Group” (APG IV, 2016). A grafia e autoria dos binômios específicos e sinônimas serão confirmadas nas bases de dados “Lista de Espécies da Flora do Brasil” (REFLORA, 2020). Foram descritas 12 espécies pertencentes a 11 famílias (Tabela 1).

Para as descrições das características vegetativas de cada espécie, consideraram-se as variações morfológicas dos exemplares coletados. As terminologias utilizadas para os caracteres vegetativos foram baseadas nas seguintes bibliografias: (MARCHIORI (2004); GONÇALVES e LORENZI (2007); SILVA *et al.* (2014)).

A identificação das espécies em nível específico foi baseada nas características morfológicas vegetativas que melhor distinguem os táxons. Por fim, as imagens/fotos das características utilizadas nesse trabalho de descrição dendrológica de espécies florestais foram realizadas com o auxílio de uma câmera Canon Eos Rebel SL3.

Tabela 1: Lista das espécies estudadas de acordo com a família pertencente, nome científico e nome popular.

Famílias	Espécies	Nomes populares
Anacardiaceae	<i>Anacardium humile</i> A. St.-Hil.	Cajuzinho-do-cerrado
Malpighiaceae	<i>Byrsonima pachyphylla</i> A. Juss	Murici
Vochysiaceae	<i>Callisthene major</i> Mart.	Pau-rato
Caryocaraceae	<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess.	Pequi
Dilleniaceae	<i>Curatella americana</i> L.	Lixeira
Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St. Hil.	Fruta-de-pombo
Crysobalanaceae	<i>Hirtella glandulosa</i> Spreng.	Vermelhão
Sapindaceae	<i>Magonia pubescens</i> St. Hil.	Tingui
Rubiaceae	<i>Palicourea rigida</i> Kunth	Bate-caixa
Vochysiaceae	<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Pau-terra-roxo
Fabaceae Papilionoideae	<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth) Ducke	Angelim-amargoso
Annonaceae	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Pimenta-de-macaco

Fonte: Autora (2020).

### 2.3 AMOSTRAGEM DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DO CARVÃO VEGETAL

Foram coletadas em campo duas toras e processadas para a confecção de dez corpos de prova para cada uma das 12 espécies em estudo, totalizando 120 corpos de prova com dimensões aproximadas de 2,0 x 2,0 x 5,0 cm (largura x espessura x comprimento). Foram avaliados dois tratamentos sendo dez corpos de prova para cada espécie avaliada com cinco repetições para cada marcha de carbonização (500 e 550°C), respectivamente. Os mesmos corpos de provas foram utilizados para todos os testes realizados neste estudo.

## 2.4 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

A densidade básica da madeira foi determinada pelo método da balança hidrostática, conforme a norma ASTM D-2395 da *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 2005). Os corpos de prova foram imersos em água até a saturação total, para a determinação do volume úmido. Posteriormente, os mesmos foram levados à estufa, para secagem a 0% de umidade a uma temperatura de  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até atingirem massa constante. A densidade da madeira foi calculada por meio da Equação 1:

$$DB = \frac{PS}{VU} \quad (1)$$

Em que: DB = densidade básica ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ); PS = peso seco da amostra de madeira (g); VU = volume úmido ( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ ).

A madeira das espécies avaliadas foram classificadas quanto a densidade básica conforme (SILVEIRA *et al.*, 2013) (Tabela 2).

Tabela 2: Classificação da densidade básica da madeira.

Densidade básica da madeira	$\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
Baixa densidade	<0,55
Média densidade	entre 0,55 a 072
Alta densidade	>0,73

Fonte: Adaptado de Silveira *et al.*, (2013).

## 2.5 PRODUÇÃO DO CARVÃO COM CASCA

Os corpos de prova para produção de carvão com casca foram retirados de discos provenientes das doze espécies avaliadas.

A obtenção do carvão com casca foi realizado pelo processo de pirólise. A carbonização foi realizada em forno mufla, utilizada taxa de aquecimento de  $1^{\circ}\text{C}$  por minuto, com temperatura inicial de carbonização de  $100^{\circ}\text{C}$  até atingir a temperatura final de  $500^{\circ}\text{C}$ . Após atingir essa temperatura, o processo de carbonização permaneceu por mais 30 minutos.

O carvão com casca foi produzido para fim de caracterização do parâmetro macromorfológico e para identificação da espécie por meio das características da casca carbonizada.

## 2.6 PIRÓLISE DA MADEIRA

Antes do processo de carbonização os corpos de prova foram secos em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ . As amostras foram carbonizadas em forno elétrico tipo mufla com controle da temperatura final programada e adaptada para recuperar materiais voláteis condensáveis (Figura 2). O controle de temperatura foi realizado em duas diferentes marchas de carbonização (Tabela 3).

**Figura 2:** Forno elétrico adaptado para recuperar materiais voláteis condensáveis, Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, UFT, campus Gurupi-TO.



Fonte: Autor, (2020).

**Tabela 3:** Temperatura e tempo de carbonização em função da marcha de carbonização.

Marcha	Temperatura (°C)							Taxa de Aquecimento (°C/min)	Tempo Total
	150	200	250	350	450	500	550		
1	1h	1h	1h30	1h30	1h	1h	-	1,2	7h
2	1h	1h	1h30	1h30	30min	30min	30min	1,4	6h30

Fonte: Adaptado de SILVA *et al.* (2018).

## 2.7 DENSIDADE APARENTE DO CARVÃO

A densidade aparente do carvão foi determinada de acordo com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 9156 (1985). O volume foi calculado pelas dimensões de comprimento, largura e espessura de cada corpo de prova, mensurada com paquímetro digital e pesada em balança analítica para determinação da massa. O cálculo da densidade aparente foi realizado através da Equação 2.

$$D_{ap} = \frac{P_{carvão}}{V_{carvão}} \quad (2)$$

Em que:  $D_{ap}$  = densidade aparente ( $g/cm^3$ );  $P_{carvão}$  = peso do carvão (g);  $V_{carvão}$  = volume do carvão ( $cm^3$ ).

## 2.8 RENDIMENTOS DA PIRÓLISE

### 2.8.1 Rendimento gravimétrico total do carvão vegetal

O rendimento gravimétrico total é a relação percentual entre a massa seca do carvão e a massa seca da madeira, expresso em porcentagem, obtidos por meio da pesagem em balança analítica e calculado conforme a Equação 3.

$$RGTC = \left( \frac{M_{sc}}{M_{sm}} \right) * 100 \quad (3)$$

Em que:  $RGTC$  = rendimento gravimétrico total do carvão (%);  $M_{sc}$  = massa seca do carvão (g);  $M_{sm}$  = massa seca da madeira (g).

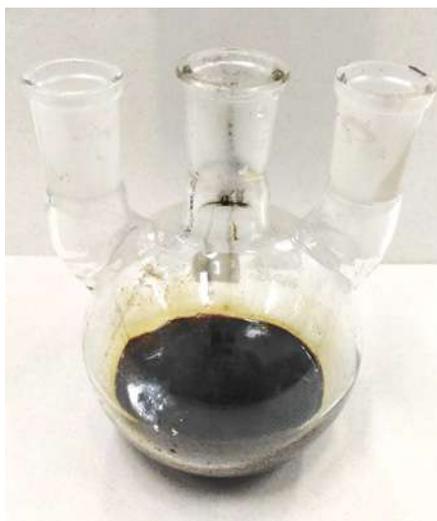
## 2.8.2 RENDIMENTO EM GASES CONDENSÁVEIS E EM NÃO CONDENSÁVEIS

A recuperação dos gases condensáveis foi realizada por meio de uma adaptação ao forno mufla que permite a passagem dos gases por um condensador a fim de liquefazê-los em um composto de ácido acético, fórmico, metanol e alcatrão chamado licor pirolenhoso (Figura 3). O rendimento em licor pirolenhoso foi calculado pela Equação 4.

$$RLP = \left( \frac{Ml}{Mm} \right) * 100 \quad (4)$$

Em que: RLP = rendimento em licor pirolenhoso (%); Ml = massa do licor pirolenhoso (g); Mm = massa de madeira utilizada na carbonização (g).

Figura 3: Licor pirolenhoso liquefeito durante o processo de pirólise da madeira, Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, UFT, campus Gurupi-TO.



Fonte: Autora (2020).

O rendimento em gases não condensáveis foi obtido através da diferença do somatório do rendimento em licor pirolenhoso e rendimento total em carvão. O rendimento em gases não condensáveis foi obtido através da Equação 5.

$$RGNC = 100 - (RGTC + RLP) \quad (5)$$

Em que: RGNC = rendimento em gases não condensáveis (%); RGTC = rendimento gravimétrico total do carvão (%); RLP = rendimento em licor pirolenhoso (%).

## 2.9 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA (AQI)

O carvão vegetal produzido foi triturado, peneirado em peneiras de 16, 40 e 65 mesh e as partículas que ficaram retidas na peneira de 65 mesh foram dispostas em quantidades de 1,2 g em cadinhos, os quais foram pesados e encaminhados para secar em estufa a  $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , por 30 min. A composição química imediata foi realizada baseando-se na norma ASTM D 1762-84 (American Society for Testing and Materials, 2007) onde se determinaram os percentuais de material voláteis, teor de carbono fixo e cinzas do carvão.

### 2.9.1 Determinação do teor de materiais voláteis

O teor de materiais voláteis foi calculado extraíndo a fração do carvão que volatiliza através do aquecimento até a temperatura de aproximadamente  $850^{\circ}\text{C}$  em um forno elétrico (mufla) por 30 minutos. O teor de voláteis é determinado conforme a Equação 6.

$$MV = \frac{(m1 - m2)}{(m1 - m3)} * 100 \quad (6)$$

Em que: MV = teor de materiais voláteis (%);  $m1$  = massa da amostra seca + cadinho (g);  $m2$  = massa da amostra após mufla a  $850^{\circ}\text{C}$  + cadinho (g), sem materiais voláteis;  $m3$  = massa do cadinho sem material (g).

### 2.9.2 Determinação do teor de cinzas

Para a obtenção de cinzas, 1,2 gramas do carvão vegetal triturado, sem umidade e voláteis, foram colocadas em cadinho e levadas ao interior da mufla por um período de sete horas a  $700^{\circ}\text{C}$ . Ao final restam apenas as cinzas nos cadinhos, sendo seu teor calculado através da Equação 7.

$$CZ = \frac{(m4 - m3)}{(m1 - m3)} * 100 \quad (7)$$

Em que: CZ = teor de cinzas (%); m4 = massa de cinzas + cadinho após sete horas na mufla (g); m3 = massa do cadinho vazio (g); m1 = massa da amostra seca + cadinho (g).

### 2.9.3 Determinação do teor de carbono fixo

O carbono fixo é obtido pela subtração percentual dos materiais voláteis e das cinzas, conforme a Equação 8.

$$CF = 100 - MV - CZ \quad (8)$$

Em que: CF = carbono fixo (%); MV = teor de materiais voláteis (%); CZ = teor de cinzas (%).

Os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo do carvão das espécies avaliadas foram comparados com os valores recomendados pelo Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015) (Tabela 4).

Tabela 4: Valores recomendados pela Resolução SAA para teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo.

Análise química imediata	Valores determinados pela Resolução SAA
Materiais voláteis	< ou = 23%
Cinzas	< ou = 1,5%
Carbono fixo	> ou = 75%

Fonte: Adaptado de São Paulo, (2015).

## 2.10 DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO DO CARVÃO VEGETAL

O poder calorífico superior dos carvões vegetal foi estimado utilizando a equação 9 proposta por Vale *et al.* (2002) para madeira e derivados.

$$PCS = 4934,43 + 33,27 * CF \quad (9)$$

Em que: PCS = poder calorífico superior do carvão (kcal.kg<sup>-1</sup>); CF = teor de carbono fixo (%).

Foram descritas e caracterizadas 12 espécies e 11 famílias, ressaltando-se que essa seleção teve como objetivo incluir apenas as espécies de maior recorrência no cerrado *sensu stricto* estudado com a finalidade de viabilizar a funcionalidade da chave.

A descrição foi baseada em caracteres vegetativos de 12 espécies arbustivo-arbóreas de eudicotiledôneas e angiospermas basais, distribuídas em 12 gêneros, incluídos em 11 famílias botânicas. A descrição dendrológica e caracterização energética do carvão vegetal demonstrou-se uma ferramenta funcional, ou seja, permitiu uma rápida e fácil identificação das espécies vegetais amostradas.

## 2.11 *Anacardium Humile* A. ST.-HIL. (CAJUZINHO-DO-CERRADO)

### Descrição dendrológica

Nome popular: Cajuzinho-do-cerrado

Nome científico: *Anacardium humile* A. St.-Hil.

Família: Anacardiaceae

A espécie *A. humile* apresenta ramos inermes, eretos ou semi-pendentes, folhas simples, agregadas em direção ao ápice, cartáceas ou coriáceas, pecioladas, margem inteira, ondulada, base assimétrica, venação broquidródoma ou cladódroma, face adaxial com nervuras planas ou impressas, às vezes proeminentes, face abaxial com nervuras geralmente proeminentes, nervura marginal inconspícua, nervura intramarginal ausente (LORENZI, 2002; LUZ *et al.*, 2015).

### DICAS DE CAMPO

A folha de *A. humile* apresenta nervura principal na face abaxial saliente (Figura 5-D). Ramos adultos com cicatrizes de pecíolo (Figura 6-F).

Figura 4: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *A. humile*.

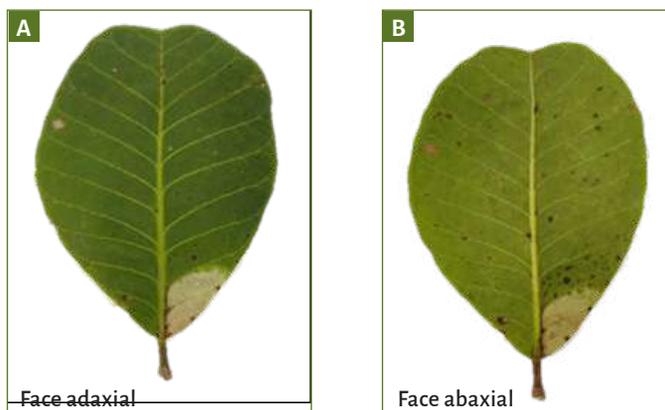


Figura 5: Nervura principal na face abaxial saliente de *A. humile*.  
C: Folha face abaxial nervura principal e D: Nervura principal saliente.

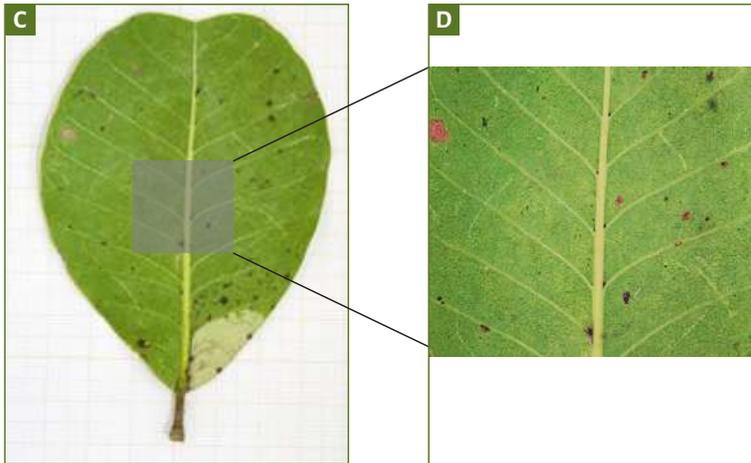
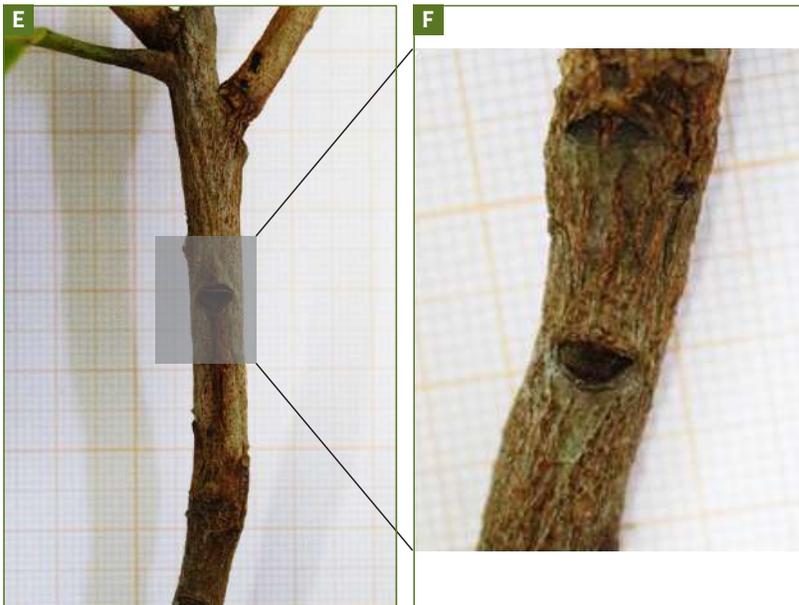


Figura 6: Ramos com cicatriz de pecíolo de *A. humile*.  
E: Ramo com cicatriz de pecíolo e F: Cicatriz de pecíolo.



## Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 5 encontram-se os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Anacardium humile* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 5: Valor médio de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Anacardium humile*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,49		
Marcha de carbonização	500°C	550°C	
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,36	0,38	
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	34,78	33,33
	RGC (%)	44,60	44,74
	RGNC (%)	20,62	21,93
AQI do carvão	MV (%)	30,18	18,53
	CF (%)	59,22	70,40
	Cinzas (%)	10,60	12,62
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )	6904,62	7224,82	

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A espécie *Anacardium humile* apresentou valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Anacardium humile* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C. Constatando-se que a madeira de *A. humile* é de baixa densidade básica com pois apresentou valor médio de 0,49 g.cm<sup>-3</sup> corroborando com (SILVEIRA *et al.*, 2013) (Tabela 5). Pode-se observar para densidade aparente do carvão na marcha de carbonização de 500°C o valor médio de 0,36 g.cm<sup>-3</sup> e na marcha de carbonização de 550°C o valor médio

de  $0,38 \text{ g.cm}^{-3}$  para *A. humile* (Tabela 5). O carvão de *A. humile* foi considerado de baixa densidade aparente. Vale *et al.* (2010) afirmam que a densidade aparente do carvão é diretamente proporcional a densidade básica da madeira, ou seja, quanto menor a densidade básica da madeira conseqüente menor será a densidade aparente do carvão. Esta correlação entre densidade da básica madeira e densidade aparente do carvão vegetal concede uma base sólida e importante para a escolha de espécies destinadas a produção de carvão (SANTOS *et al.* 2011).

Em estudo realizado por Costa *et al.* (2014), os autores observaram valores médios entre  $0,25$  a  $0,47 \text{ g.cm}^{-3}$  de densidade aparente do carvão para cinco espécies nativas do Cerrado. Marchesan *et al.* (2019) observaram valor médio para a densidade aparente do carvão  $0,28 \text{ g.cm}^{-3}$ , para o híbrido de *Eucalyptus urophilla* x *Eucalyptus grandis*, valor inferior ao obtido neste estudo.

O rendimento total em carvão vegetal apresentou valor dentro do recomendado para a espécie e as machas de carbonização de  $500$  e  $550^{\circ}\text{C}$  (Tabela 5), pois conforme Arantes *et al.* (2013) e Soares *et al.* (2014), o rendimento em carvão deve ser superior a 30%. Oliveira *et al.* (2010), em estudo realizado com diferentes marchas de carbonização para espécie de *Eucalyptus pellita* observaram na marcha de carbonização de  $500^{\circ}\text{C}$  um rendimento médio em carvão de 31,09% e na marcha de carbonização de  $550^{\circ}\text{C}$  de 30,13%. Os valores médios para as respectivas marchas de carbonização foram próximos aos obtidos neste estudo. Marchesan *et al.* (2019) estudaram o carvão vegetal do híbrido do cruzamento de *Eucalyptus urophilla* x *Eucalyptus grandis* plantado na região sul do Tocantins e verificaram valores médios para rendimento gravimétrico entre 30,12 e 33,33%.

O rendimento total em gases condensáveis aumentou com o acréscimo da temperatura final de carbonização e resultado contrário foi constatado no rendimento em gases não condensáveis, que diminuiu ao se aumentar a temperatura final de carbonização no processo de pirólise das madeiras mencionadas (Tabela 5). De acordo com Vieira *et al.* (2013), o rendimento em gases condensáveis e não condensáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior for o rendimento em líquido pirolenhoso, menor será o rendimento em gases não condensáveis.

Oliveira *et al.* (2010) observaram em estudo realizado para determinar a qualidade do carvão de *E. pellita* para rendimento em gases condensável de 58,98% e não condensáveis de 9,93% na marcha de carbonização de 500 °C, na marcha de carbonização de 550°C os valores médios foram de 58,01% para rendimento em gases condensáveis e de 11,86% para o rendimento em gases não condensáveis. Os valores para rendimento em gases condensáveis foi superior e em gases não condensáveis foram inferior ao observado neste estudado para as marchas de carbonização de 500 e 550°C. Marchesan *et al.* (2019) contataram valores totais em gases condensáveis variando de 44,51 a 50% e valores totais em gases não condensáveis entre 19,05 e 23,38% para o híbrido *Eucalyptus urophilla* x *Eucalyptus grandis*, plantando no sul do Tocantins, valores próximos aos obtidos neste estudo para espécie *A. humile*.

Verificou-se para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas na marcha de carbonização de 500°C (Tabela 5) que os mesmos não atenderam aos valores indicados pelo Selo Premium para o carvão vegetal, promulgado pela Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015, que infere alguns padrões mínimos para que o carvão produzido adquira este selo (SÃO PAULO, 2015). Apenas o teor de materiais voláteis na marcha de carbonização de 550°C apresentou valor dentro do recomendado para *A. humile*.

O teor de cinzas de *A. humile* apresentou-se alto (Tabela 5) o que não é recomendado para utilização do carvão vegetal desta espécie na indústria. O teor de cinzas está relacionado com os constituintes inorgânicos da madeira e seu conhecimento é muito importante, pois, após a queima, as cinzas se comportam como resíduo e precisam de um sistema para sua retirada, caso contrário podem causar corrosão em equipamentos metálicos, os principais minerais encontrados nas cinzas são o magnésio, fósforo e silício (BRAND, 2010).

Os teores de matérias voláteis, carbono fixo e cinzas são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior o teor de materiais voláteis e cinzas, menor será o carbono fixo do carvão devido a isto os mesmos não atenderam as recomendações do Selo Premium, pois os teores materiais voláteis e cinzas foram altos e o teor carbono fixo foi baixo para a espécie *A. humile*, corroborando com Oliveira *et al.* (2010) que afirmam que os parâmetros avaliados são inversamente proporcionais. O percentual de carbono fixo pertence a porcentagem

de carvão que se queima no estado sólido, combustíveis com altos teores de carbono fixo e baixos teores de voláteis tendem a se queimar mais devagar quando permanecem por um longo tempo na fornalha (BRAND, 2010).

Os materiais voláteis são fragmentos em massa do combustível que se vaporiza durante a o aquecimento de uma amostra padronizada com altas temperaturas (BRAND, 2010). O carbono fixo pode ser definido como a qualidade de carbono presente na biomassa após a degradação térmica, e apresenta uma relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e densidade da madeira e inversamente proporcional ao teor de holocelulose (OLIVEIRA *et al.*, 2010).

Oliveira *et al.* (2010) observaram para *E. pellita* valores médios para o teor de materiais voláteis de 11,15%, carbono fixo de 86,66% e cinzas de 2,19% na marcha de carbonização de 500°C e na marcha de carbonização de 550°C valores médios de 9,99% para o teor de materiais voláteis, 87,41% de carbono fixo e de 2,6% para o teor cinzas. Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas para *A. humile* (Tabela 5) foram considerados inferiores aos obtidos por Costas *et al.* (2014), em estudo realizado para caracterizar o carvão de cinco espécies do Cerrado, os valores médios variaram 18 a 14,4% para o teor de materiais voláteis, de 77,2 a 81% o teor de carbono fixo e de 2,4 a 5,2 o teor de cinzas.

De acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) levando em consideração o teor carbono fixo recomendado pela Resolução SAA o valor ideal de poder calorífico é de 7363,74 kcal.kg<sup>-1</sup>. A espécie *A. humile* não apresentou valor aceitável para produção de energia em ambas marchas de carbonização (Tabela 5) conforme (SÃO PAULO, 2015). O poder calorífico não apresentou valores aceitáveis para a produção de energia (Tabela 5), devido aos altos teores de materiais voláteis e cinzas e baixo teor de carbono fixo. O teor de carbono fixo, juntamente com o teor de materiais voláteis, são as principais características que determinam o poder calorífico do carvão (PROTÁSIO *et al.*, 2011; REIS *et al.*, 2012).

O poder calorífico é um dos parâmetros mais importantes para determinar a qualidade do carvão vegetal pois o mesmo resulta na quantidade total de calor (energia térmica) que é liberado durante a combustão (BRAND, 2010). O poder calorífico superior do carvão de *A.*

*humile* (Tabela 5) foi inferior aos encontrados por Oliveira *et al.* (2010) observaram valor médio de 8237 kcal.kg<sup>-1</sup> na marcha de carbonização de 500°C e de 8172 kcal.kg<sup>-1</sup> na marcha de carbonização de 550°C para *E. pellita*.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão proveniente da casca de *A. humile* apresentou fissuras em placas mantendo a característica da casca antes da carbonização (Figura 7-B).

Figura 7: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca da espécie *Anacardium humile*.

A: Ritidoma do tronco, B: Carvão com casca e C: Carvão vegetal.



Silva (2012) descreveu as características macromorfológicas da espécie *A. humile* e observou que o tronco apresenta ritidoma acinzentado e fissurado em placas.

### 2.12 *Byrsonima pachyphylla* A. JUSS (MURICI)

#### Descrição dendrológica

Nome popular: Murici

Nome científico: *Byrsonima pachyphylla* A. Juss

Família: Malpighiaceae

A espécie *B. pachyphylla* apresenta ramos terminas de crescimento modular, folhas simples, opostas-cruzadas, estreito-obovadas a lanceoladas, ápices retusos a obtusos, bases obtusas ou decorren-

tes, margens inteiras e onduladas, nervação broquidódroma, saliente na face abaxial, Estípulas axilares, por vezes atadas aos pecíolos na face abaxial (LORENZI, 2002; SILVA, 2012; MEMEDE *et al.*, 2015).

#### DICAS DE CAMPO

A espécie *B. pachyphylla* apresenta folhas com base obtusas, margens inteiras e onduladas, nervação broquidódroma e saliente na face abaxial (Figura 9-D-E), ramos com cicatrizes de pecíolos e estípulas axilares (Figura 10-F-G-H).

Figura 8: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *B. pachyphylla*.

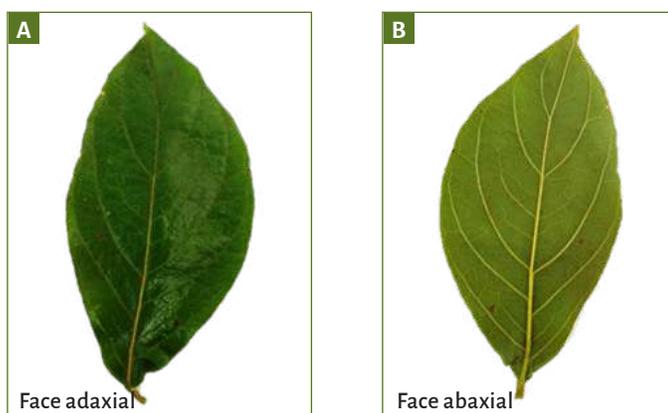


Figura 9: D: Nervação broquidódroma e saliente na face abaxial. E: Folhas com base obtusas.

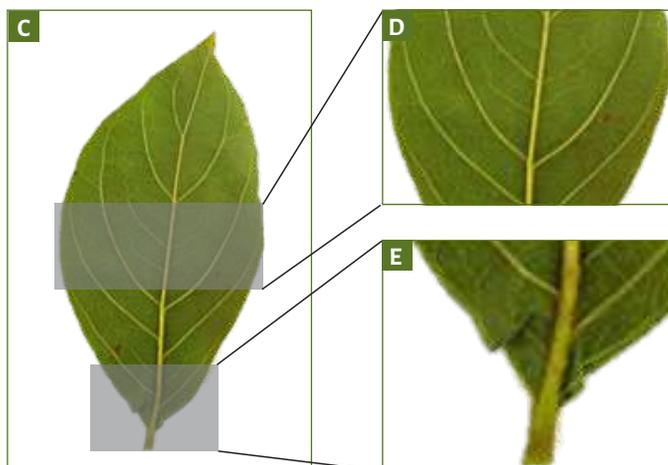
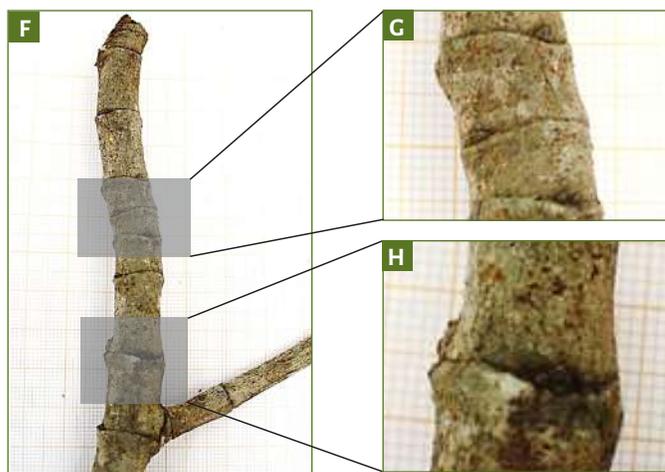


Figura 10: Ramos com cicatrizes de Estípula s axilares e de pecíolos *B. pachyphylla*. F: Ramos com cicatrizes de estípulas axilares e pecíolos, G: Cicatriz de pecíolo e H: Cicatriz de estípula axilar.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 6 encontram-se os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Byrsonima pachyphylla* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 6: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Byrsonima pachyphylla*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )		0,56	
Marcha de carbonização		500°C	550°C
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )		0,42	0,41
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	33,93	32,14
	RGC (%)	44,80	43,96
	RGNC (%)	21,28	23,89
	MV (%)	27,93	24,90
AQI do carvão	CF (%)	71,46	73,98
	Cinzas (%)	0,61	1,12

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,56	
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )	7311,82	7295,58

Legenda: AQL: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *B. pachyphylla* classificada como sendo de média densidade básica da madeira (Tabela 6), de acordo com (SILVEIRA *et al.*, 2013). De acordo com a descrição de Silva (2014), avaliou a espécie *B. pachyphylla* proveniente da região norte do Tocantins, apresentou densidade de 0,68 g.cm<sup>-3</sup>, valor superior ao encontrado neste estudo.

Verificou-se que o carvão de *B. pachyphylla* apresentou média densidade aparente do carvão para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 6) estão conforme Brand *et al.* (2015) recomendaram para a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>. Vale *et al.* (2010) obtiveram valores médios para densidade aparente do carvão de cinco espécies nativas do Cerrado variando de 0,28 a 0,43 g.cm<sup>-3</sup>. Arantes *et al.* (2013) avaliaram *E. grandis* e *E. urophylla*, obtendo resultados de 0,36 a 0,36 g.cm<sup>-3</sup>, inferiores aos observados neste estudo para a respectiva espécie.

O rendimento total em carvão da espécie estudada apresentou valor superior de 30% para ambas as marchas de carbonização avaliadas (Tabela 6). Segundo Protásio *et al.* (2011) para a produção de carvão, geralmente, é desejável obter alto rendimento devido ao maior aproveitamento da madeira nos fornos de carbonização.

Vale *et al.* (2010) observaram valores médios de rendimento gravimétrico em carvão variando entre 28,67 a 24,87%, em estudo realizado com espécies nativas do cerrado. Vieira *et al.* (2013) obtiveram uma média para *Eucalyptus micocorys* de 34% na temperatura final de 500°C para o rendimento em carvão. Soares *et al.* (2014) produziram carvão com rendimentos gravimétricos de 33,06% para híbridos do gênero de *Eucalyptus* spp. aos sete anos de idade, na temperatura final de 450°C. Valores próximos aos obtidos nesta pesquisa para *B. pachyphylla* e machas de carbonização.

O rendimento total em gases condensáveis reduziu ao se aumentar a temperatura final de carbonização para *B. pachyphylla*. Resultado contrário foi observado para rendimento em gases não condensáveis, que aumentou à medida que foi acrescida temperatura ao processo de pirólise da madeira da espécie mencionada (Tabela 6).

Os valores de rendimentos em gases condensáveis e não condensáveis foram próximos aos obtidos por Jesus *et al.* (2017) para espécies do gênero *Eucalyptus* spp. que encontraram valores variando 38,75 a 40,48% e de 19,70 a 21,92%, para gases condensáveis e não condensáveis respectivamente.

Pode-se observar que os teores de materiais voláteis e carbono fixo na marcha de carbonização de 500°C não apresentaram valores médios recomendados para o carvão e o mesmo foi observado para o teor de materiais voláteis para a temperatura final de 550°C (Tabela 6). Para os teores cinzas em ambas as marchas de carbonização, foram observados valores médios aceitáveis e para o teor de carbono fixo foi observado valor aceitável na temperatura final de 550°C. Os valores obtidos para teor de cinzas estão de acordo Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Observa-se que o teor de materiais voláteis diminuiu e o carbono fixo aumentou de acordo com o aumento da temperatura final da pirólise (Tabela 6), uma explicação para isto é devido o teor de materiais voláteis ter diminuído ocorrendo maior fixação de carbono fixo no carvão. Segundo Trugilho *et al.* (2001) isto ocorre pelo fato do aumento da temperatura final de carbonização acarretar a liberação dos materiais voláteis.

Pode-se notar com o presente estudo que, com o aumento da temperatura final, o teor de cinzas apresentou um acréscimo. O aumento no teor de cinzas com o aumento da temperatura final de carbonização ocorre devido os componentes permanecerem intactos isto por que são transferidos completamente em temperaturas abaixo de 900°C (TRUGILHO *et al.*, 2001).

Os teores de materiais voláteis e cinzas para *B. pachyphylla*. (Tabela 6) foram considerados superiores aos observados por Costas *et al.* (2014), em estudo realizado para caracterizar o carvão de cinco espécies do Cerrado, o valores médios variaram 18 a 14,4% para o teor de materiais voláteis, de 77,2 a 81% o teor de carbono fixo e de 2,4 a 5,2 o teor de cinzas.

Reis *et al.* (2012) estudaram *E. urophylla* e, encontraram valores médios de 26,04% para teor de materiais voláteis, de 71,74% para o teor de carbono fixo e de 0,15 o teor de cinzas na temperatura final de 450°C. Valores próximos aos obtidos para a espécie *B. pachyphylla*.

Pode-se notar acréscimo do poder calorífico com o aumento da temperatura, isto ocorreu devido o teor de carbono fixo ter sido maior e o teor de materiais voláteis menor na marcha de carbonização de 550°C. De acordo com Brand (2010) o poder calorífico afetado pelos teores de carbono fixo e voláteis.

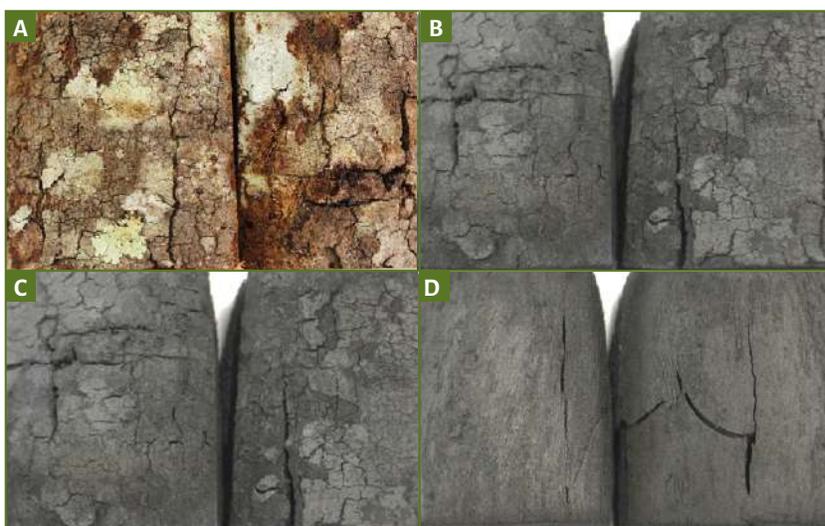
O poder calorífico superior apresentou valores aceitáveis na marcha de carbonização de 500°C para espécie *B. pachyphylla* (Tabela 6). De acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Marchesan *et al.* (2019) observaram poder calorífico do carvão para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* plantado na região sul do Tocantins, valor médio de 7378,57 kcal.kg<sup>1</sup>, valor próximo ao encontrado para *B. pachyphylla*.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão com casca de *B. pachyphylla* apresentou-se reticulado, mantendo a característica morfológica do ritidoma do tronco (Figura 11-B).

Figura 11: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Byrsonima pachyphylla*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal



Segundo Silva (2012) o tronco de *B. pachyphylla* apresenta ritidoma de cor castanho-avermelhado pulverulento e reticulado.

### 2.13 *Callisthene major* MART. (PAU-RATO)

#### Descrição dendrológica

Nome popular: Pau-rato

Nome científico: *Callisthene major* Mart.

Família: Vochysiaceae

A espécie *C. major* possui folhas simples, oposta dística, com até 11 pares por ramo, elípticas, oblonga a obovadas, ápices retusos, emerginados e bases agudas, margens inteiras, nervura broquidódroma, nervura central saliente e secundárias pouco salientes na face abaxial, atenuam-se para margens, pecíolos de até 0,2 cm ou folhas sesseis, estípulas caducas, folhas coriáceas, discolors, glabras ou pilosas, par de glândulas diminutas na inserção dos pecíolos, o tronco de até 60 cm de diâmetro, ritidoma marrom-acinzentado, com fissuras estreitas, descontinuas e sinuosas (SILVA, 2012; AZEVEDO *et al.*, 2015; GONÇALVES *et al.*, 2017).

#### DICAS DE CAMPO

Folha simples, discolor, (Figura 12-A-B), base assimétrica (12-D), filotaxia oposta, pecíolos de até 0,2 cm ou folhas sesseis (Figura 13-D). Tronco com deiscência pulverulenta com ritidoma marrom-acinzentado (Figura 14-F).

Figura 12: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Callisthene major*. A e B: Folhas com base assimétrica.

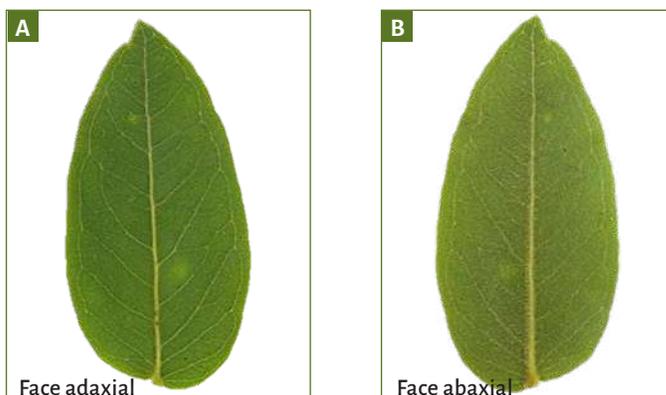


Figura 13: Folhas com base assimétrica de *Callisthene major*. D: Base assimétrica.

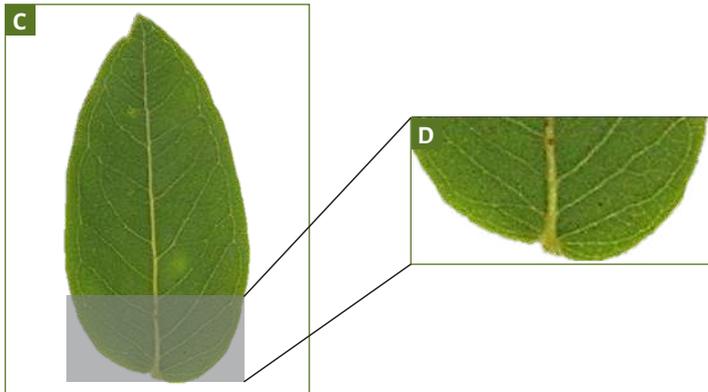


Figura 14: Folhas opostas sesseis (sem pecíolo) de *Callisthene major*. E: Ramo com folhas sesseis e par de glândulas diminutas na inserção dos pecíolos e F: Folhas opostas sesseis.

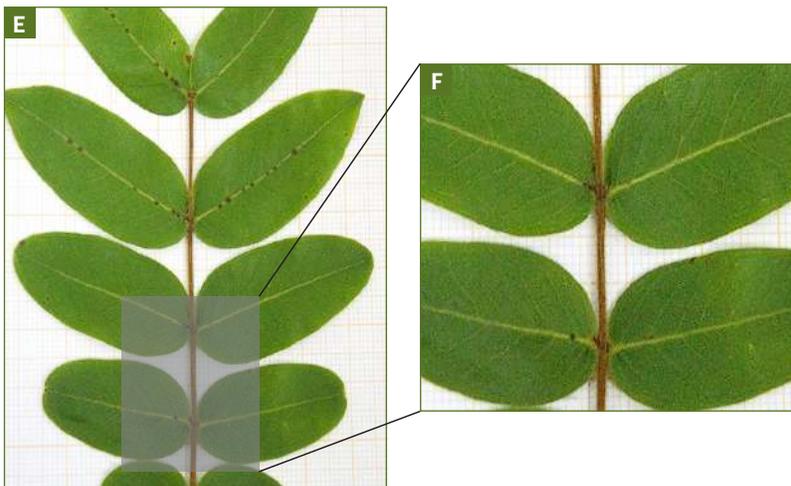
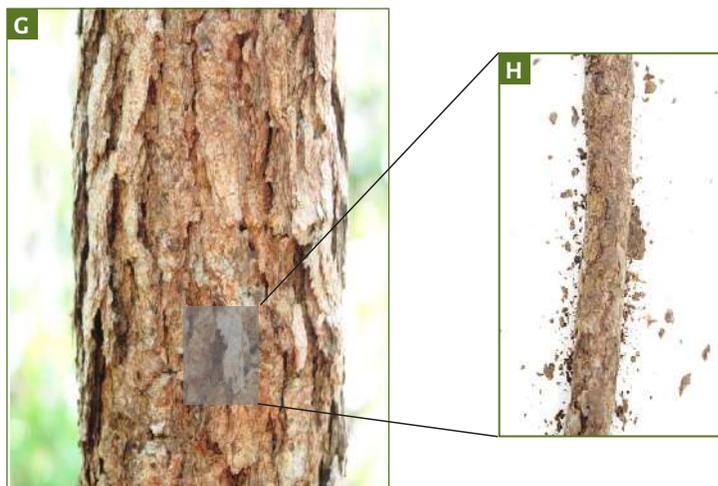


Figura 15: Tronco com deiscência pulverulenta de *Callisthene major*. G: Tronco com ritidoma marrom-acinzentado e H: Tronco com deiscência pulverulenta.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 7 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Callisthene major* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 7: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Callisthene major*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,60	
Marcha de carbonização	500°C	550°C
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,41	0,42
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	33,33
	RGC (%)	51,16
	RGNC (%)	18,54
		28,13
		50,23
		21,65

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )		0,60
AQI do carvão	MV (%)	26,30
	CF (%)	71,46
	Cinzas (%)	2,23
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )		7311,89

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

Pode-se notar que a madeira *C. major* foi classificada como sendo de média densidade básica (Tabela 7) conforme Silveira *et al.* (2013). Rodrigues *et al.* (2010) observaram densidade de 0,75 g.cm<sup>-3</sup> para a espécie *C. major*.

O carvão de *C. major* apresentou média densidade aparente, ou seja, dentro do recomendado para produção de carvão, devido a madeira ter sido classificada de média densidade básica (Tabela 7). De acordo com Neves *et al.* (2011) quando se refere a qualidade do carvão é desejável que a madeira apresente elevada densidade básica, pois quanto maior a densidade básica da madeira, maior será a densidade energética do carvão vegetal.

Zanuncio *et al.* (2015) observaram valores médios de densidade aparente do carvão para gênero *Eucalyptus* spp. entre 0,30 e 0,35 g.cm<sup>-3</sup>. Em estudo realizado com cinco espécies tropicais Silva *et al.* (2018) encontraram valores médios de densidade aparente do carvão, na marcha de carbonização de 500°C entre 0,39 e 0,74 g.cm<sup>-3</sup>, valores superiores aos encontrados para *C. major*.

Constatou-se que ocorreu um decréscimo no rendimento em carvão e em gases condensáveis com o aumento da temperatura final de carbonização. Comportamento inverso foi observado para o rendimento em gases não condensáveis (Tabela 7). Elyounssi *et al.* (2010) e Vieira *et al.* (2013) relataram que o rendimento gravimétrico é influenciado por parâmetros de processo como a temperatura e, quanto maior a temperatura final, menor o rendimento em massa, em razão do maior grau de volatilização da matéria orgânica, que resulta em menor rendimento em carvão e acréscimo nos rendimentos em líquido pirolenhoso.

Silva *et al.* (2018) estudaram o carvão proveniente de cinco espécies tropicais e observaram rendimento em carvão variando entre 33,9 e 37,8% para temperatura final de carbonização de 500°C.

Zanuncio *et al.* (2015), em seu estudo realizado para a espécie *C. citriodora* e espécies do gênero *Eucalyptus* spp. obtiveram valores médios em rendimento do carvão para *C. citriodora* de 30,02% e para as espécies do gênero *Eucalyptus* spp. os valores médios ficaram entre 31,34 e 34,88%, respectivamente. Valores próximos aos obtidos para *C. major*.

Jesus *et al.* (2017) avaliaram o rendimento em gases condensáveis e não condensáveis de espécies do gênero *Eucalyptus* spp. e observaram valores variando de 38,75 a 40,48% para rendimento em gases condensáveis e de 19,70 a 21,92% para o rendimento em gases não condensáveis.

Constatou-se que a espécie *C. major* apresentou alto percentual em rendimento em gás condensável, o mesmo pode ser utilizado para diversos fins como por exemplo para produção de mudas (Tabela 7). Silva *et al.* (2017) avaliaram o licor pirolenhoso para produção de mudas de *Oeceoclades maculata* e observaram que o uso do licor pirolenhoso em pequenas dosagens apresentou-se significativo no desenvolvimento dos tecidos vegetativos e na formação radicular e foliar de *O. maculata*, devido o mesmo apresentar elementos minerais essenciais ao desenvolvimento estrutural da planta

Pode-se notar que os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas não apresentaram valores aceitáveis para o carvão de *C. major* e para as temperaturas finais de carbonização de 500 e de 550°C (Tabela 7), segundo a Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Observa-se que o teor de carbono fixo aumentou com a diminuição do rendimento em carvão. O contrário pode ser observado para os teores de materiais voláteis e cinzas. Reis *et al.* (2012) constataram uma tendência no aumento do teor de carbono fixo com o decréscimo do rendimento em carvão. De acordo com Protásio *et al.* (2011), Assis *et al.* (2012) e Reis *et al.* (2012) sabe-se que essas duas variáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior o teor de carbono fixo, menor o rendimento gravimétrico do carvão vegetal.

Silva *et al.* (2018) obtiveram valores médios na temperatura final de carbonização de 500°C para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas entre 22,5 a 38,3%, 60,4 a 76,3% e de 1,4 a 3,0%, valores superiores aos descritos neste estudo para *C. major*.

Os materiais voláteis variaram de 18,68 a 26,59%, o teor de cinzas de 0,31 a 0,88%, o de carbono fixo de 73,1 e 80,64% para espécies do gênero *Eucalyptus* spp. (ZANUNCIO *et al.* 2015). Valores inferiores para os teores de materiais voláteis e cinzas para *C. major* e para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

O poder calorífico aumentou com a redução do rendimento gravimétrico, teor de materiais voláteis e cinzas e acréscimo do carbono fixo de *C. major*, na temperatura final de 550°C (Tabela 4). Protásio *et al.* (2011) e Vale *et al.* (2001) observaram que quanto menor o rendimento gravimétrico maior e teor de materiais voláteis, consequentemente, maior será o poder calorífico do carvão vegetal, assemelhando-se aos resultados observados nesse trabalho.

Observa-se que o poder calorífico superior apresentou valores aceitáveis para as marchas de carbonização de 500 e 550°C para espécie *C. major* (Tabela 7), conforme a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

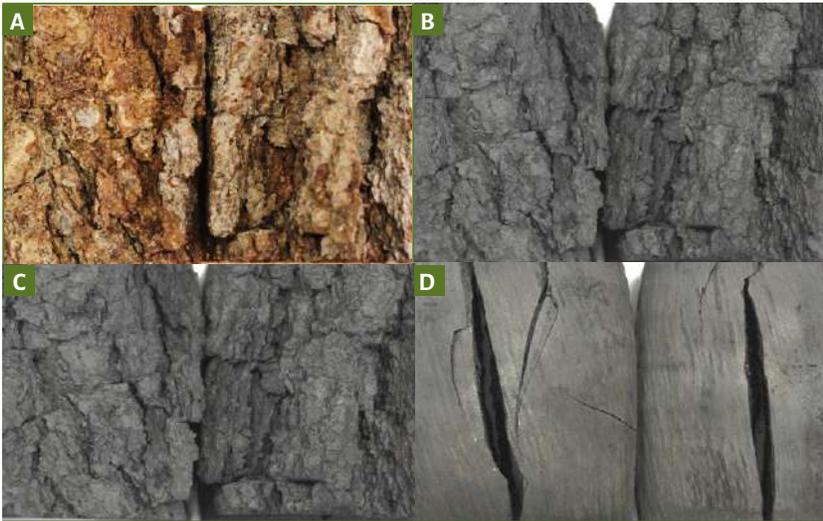
Silva *et al.* (2018) observaram valores médios para o poder calorífico de cinco espécies tropicais entre 7062,43 a 7502,40 kcal.kg<sup>-1</sup>, valores próximos aos encontrados nesta pesquisa para a espécie avaliada.

Zanuncio *et al.* (2015) denotaram média de 7545,41 kcal.kg<sup>-1</sup> para o poder calorífico do carvão de espécies do gênero *Eucalyptus* spp., valor superior ao observado para *C. major*.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão com casca da espécie *C. major* apresentou fissuras estreitas, descontinuas e sinuosas, mantendo a característica da casca antes da carbonização (Figura 16-B).

Figura 16: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Callisthene major*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



De acordo com Silva (2012) o ritidoma do tronco da espécie *C. major* é marrom-acinzentado, com fissuras estreitas, descontínuas e sinuosas.

## 2.14 *Caryocar Brasiliense*

### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Pequi

**Nome científico:** *Caryocar brasiliense* Cambess.

**Família:** Caryocaraceae

A espécie *C. brasiliense* apresenta folhas compostas, trifoliolada, opostas, cruzadas, ápices arredondados a abtusos e bases cuneadas ou assimétricas, margens crenadas, nervação broqui ou semicraspedódroma, nervuras 1, 3 e 3 impressas na face adaxial e salientes na face abaxial (Figura 17-A-B), estípulas axilares e estípelas caducas, folíolos coriáceos, concolores e pilosos, o tronco apresenta ritidoma acinzentado, fissuras verticais e cristas sinuosas (SILVA, 2012; CARVALHO, 2008; BORGES *et al.*, 2015).

## DICAS DE CAMPO

O carvão com casca da espécie *C. major* apresentou fissuras estreitas, descontinuas e sinuosas, mantendo a característica da casca antes da carbonização (Figura 17-B).

Figura 17: A) Face adaxial e B) Face abaxial da folha de *Caryocar brasiliense*. A e B: Folha composta trifoliolada.

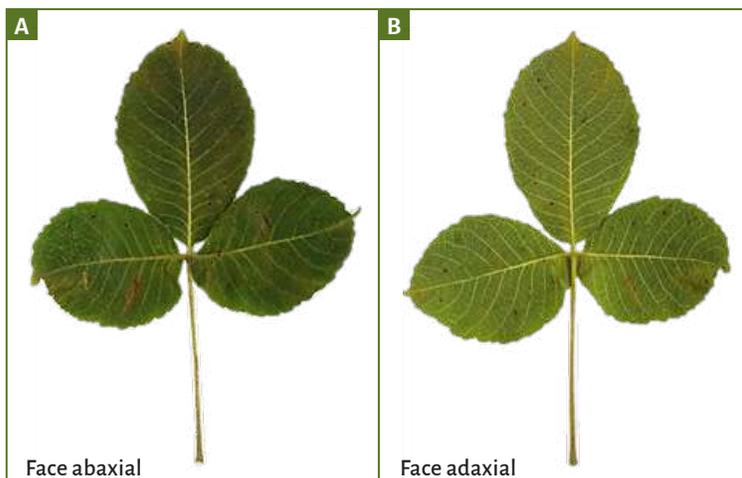


Figura 18: Ramos com folhas compostas, gema terminal triangular e estípula axilar *Caryocar brasiliense*. C: Ramos com folhas compostas, D: Gema terminal triangular e E: Estípula triangular.

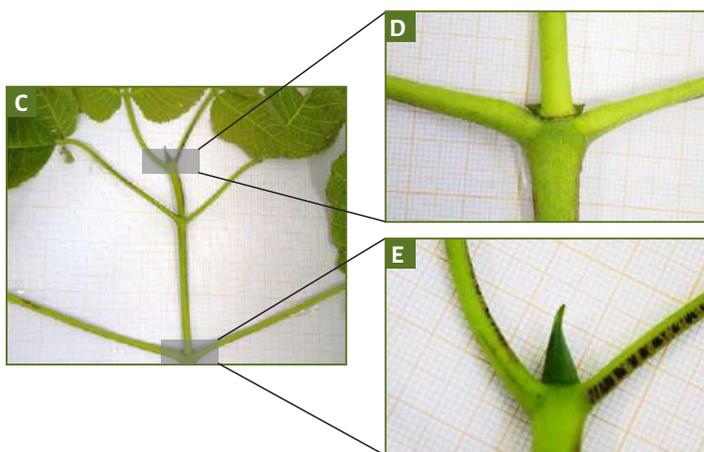
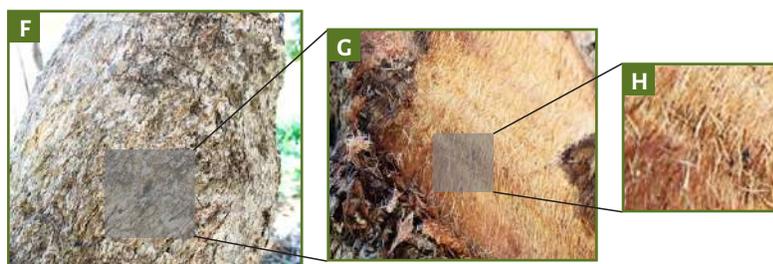


Figura 19: Tronco com espículas na casca viva *Caryocar brasiliense*. F: Tronco, G: Corte na casca vida e H: Casca viva com espículas.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 8 encontram-se os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Caryocar brasiliense* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 8: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Caryocar brasiliense*

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,56		
Marcha de carbonização	500°C	550°C	
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,42	0,41	
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	33,93	32,14
	RGC (%)	44,80	43,96
	RGNC (%)	21,28	23,89
	MV (%)	27,93	24,90
AQI do carvão	CF (%)	71,46	73,98
	Cinzas (%)	0,61	1,12

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

Em relação a madeira de *C. brasiliense* a mesma foi classificada como sendo de média densidade básica (Tabela 8), conforme (SILVEIRA *et al.* 2013). Carvalho, (2008) obteve valor médio  $0,61 \text{ g.cm}^{-3}$  para *C. brasiliense*, respectivamente.

Verificou-se que o carvão da espécie *C. brasiliense* apresentou valores aceitáveis de densidade aparente, sendo recomendado para produção de energia (Tabela 8). Elevados valores de densidade aparente maximizam a densidade energética e elevam a resistência mecânica do carvão vegetal (PROTÁSIO *et al.*, 2011).

Araújo *et al.* (2018) avaliaram a densidade aparente de *C. macrophyllum* espécie nativa do cerrado, e observaram média de  $0,55 \text{ g.cm}^{-3}$ , valor superior ao observado para *C. brasiliense*.

Na literatura são relatados valores de densidade relativa aparente variando entre  $0,26$  a  $0,49 \text{ g.cm}^{-3}$  para o carvão vegetal de vários clones e espécies do gênero *Eucalyptus* spp. (NEVES *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2010).

O rendimento em carvão vegetal e em gases não condensáveis diminuíram com o acréscimo da temperatura final de carbonização, devido a este comportamento o rendimento em licor pirolenhoso aumentou (Tabela 8). Jesus *et al.* (2017) relataram que o rendimento gravimétrico é afetado pela elevação da temperatura e taxa de aquecimento.

Araújo *et al.* (2018) estudaram o carvão de *Cenostigma macrophyllum*, espécie nativa do cerrado, no estado do Piauí e obtiveram valores médios em rendimento em carvão de 36%, rendimento em licor de 38,66% e rendimento em gases não condensáveis de 25,34%, na marcha de carbonização de  $500^{\circ}\text{C}$ . Valores superiores foram observados nesta pesquisa para rendimento em licor pirolenhoso da espécie *C. brasiliense*. Nones *et al.* (2015) observaram para a espécie *Eucalyptus benthamii* média de 35% para rendimento em carvão vegetal.

Os teores de matérias voláteis e carbono fixo na marcha de carbonização de  $550^{\circ}\text{C}$  apresentaram valores recomendados para produção de carvão (Tabela 8), conforme a Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

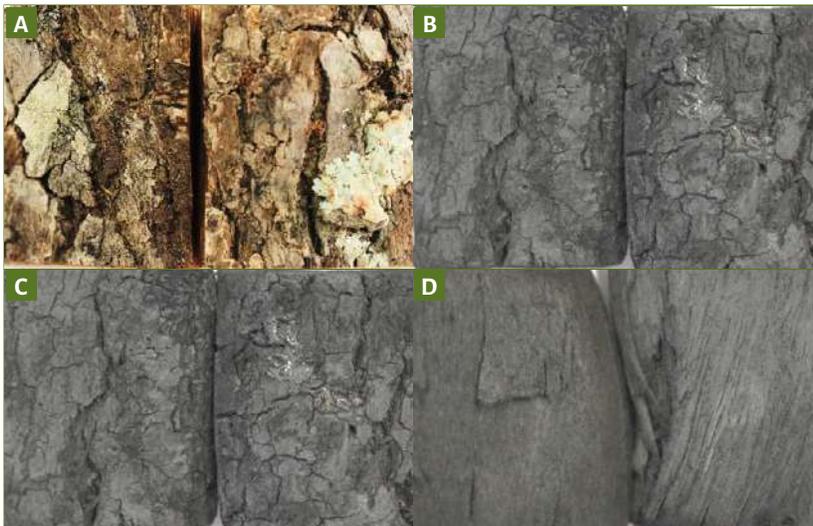
Pode-se observar que o acréscimo na temperatura final de carbonização ocasionou o decréscimo no teor de voláteis e o aumento no teor de carbono fixo e cinzas (Tabela 8). Elevados teores de cinzas auxiliam na redução do poder calorífico do carvão vegetal, uma vez que os minerais não participam da combustão, mas são determinados na massa do combustível (BRAND, 2010).

Araújo *et al.* (2018) observaram médias para teor de materiais voláteis de 20,24%, carbono fixo de 78,17% e cinzas de 1,58%, para temperatura final de 500°C para espécie *C. macrophyllu*. Nones *et al.* (2015) observaram valores médios de materiais voláteis de 29,70%, carbono fixo de 69,30% e cinzas de 1% para *E. benthamii*, valores inferiores aos obtidos para *C. brasiliense*.

Observou-se incremento no poder calorífico superior com aumento da temperatura de carbonização. O que está relacionado ao acréscimo do teor de carbono fixo (PROTÁSIO *et al.*, 2013). O poder calorífico para o carvão de *C. brasiliense* apresentou valores aceitáveis para produção de energia em ambas as marchas de carbonização avaliadas nesta pesquisa, estando de acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Araújo *et al.* (2018) observaram média de 7771 kcal.kg<sup>-1</sup> na marcha de carbonização de 500°C para PCS, para espécie nativa do cerrado *C. macrophyllum*, valor superior ao encontrado neste estudo para *C. brasiliense* e marcha de carbonização de 500°C. Nones *et al.* (2015) constataram média de 6802 kcal.kg<sup>-1</sup> para poder calorífico superior de *E. benthamii*, valor inferior ao obtido nesta pesquisa para *C. brasiliense*.

Figura 20: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Caryocar brasiliense*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



#### DICAS DE CAMPO

O carvão com casca de *C. brasiliense* apresentou fissuras verticais e cristas sinuosas, mantendo a característica morfológica do ritidoma do tronco (Figura 20-B).

Conforme Silva (2012) o tronco de *C. brasiliense* apresenta ritidoma acinzentado, fissuras verticais e cristas sinuosas.

#### 2.15 *Curatella americana* L. (LIXEIRA)

##### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Lixeira

**Nome científico:** *Curatella americana* L.

**Família:** Dilleniaceae

O ritidoma de *C. americana* cinza-prateado, com escamas ou lamina irregulares sobrepostas e deiscentes, as folhas são simples, alterna espiraladas, suborbiculares, largo-elípticas ápices arredondados, truncados e bases agudas, assimétricas, margens onduladas, serradas e macronadas, nervação cráspedódroma, nervura principal salientes em ambas as faces, pecíolos estreitos alados, sem Estípulas, folhas escabrosas, rígido-coriácea, quebradiças, discolors e pilosas (SILVA, 2002; GAMA *et al.*, 2013; AMARAL *et al.*, 2016).

#### DICAS DE CAMPO

A espécie *C. americana* apresenta folha com pilosidade áspera (Figura 21-A-B), base assimétrica (20-D), espículas na margem da folha (Figura 21-F) e tronco suberoso em escamas (Figura 22-H).

Figura 21: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Curatella americana*. A e B: Folha com pilosidade áspera.

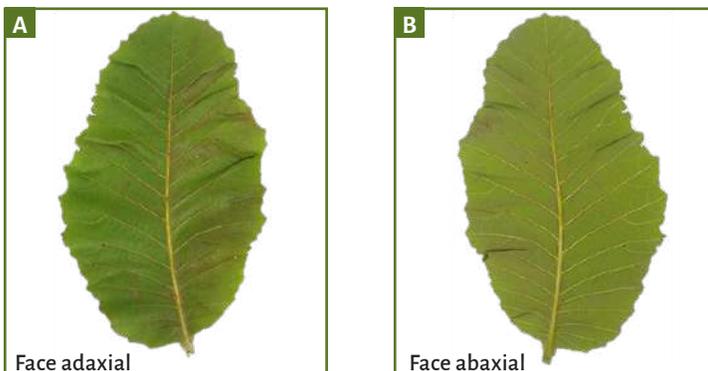


Figura 22: Folha com base assimétrica de *Curatella americana*. D: Base assimétrica.

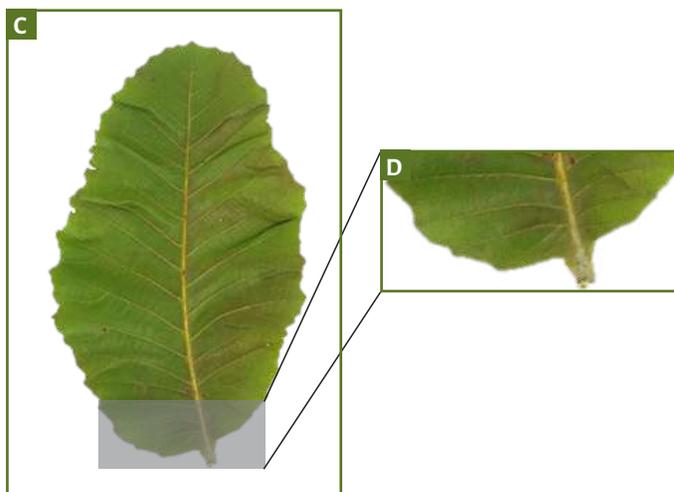


Figura 23: Espículas na borda da folha de *Curatella americana*, E: Folha simples e F: Espículas na borda da folha.

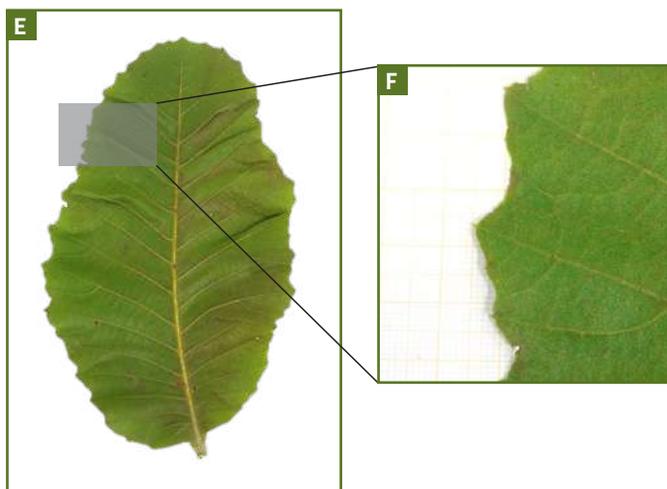
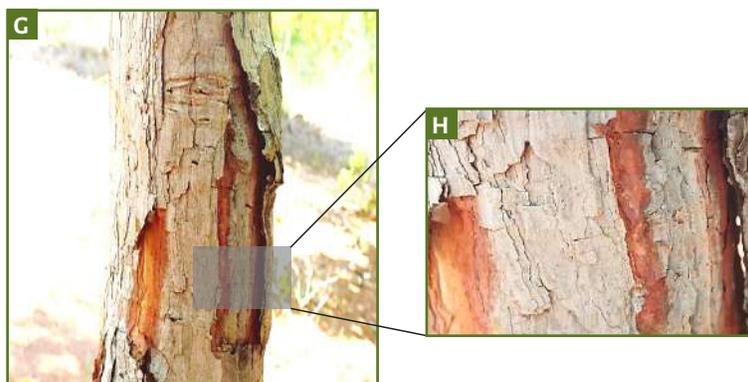


Figura 24: Tronco suberoso deiscente em escamas de *Curatella americana*.  
G: Tronco possui ritidoma espesso e H: Tronco deiscente em placas.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 9 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Curatella americana* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 9: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Curatella americana*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,49		
Marcha de carbonização	500°C	550°C	
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,41	0,33	
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	29,41	33,33
	RGC (%)	38,67	41,63
	RGNC (%)	31,92	25,04
AQI do carvão	MV (%)	27,23	26,78
	CF (%)	72,46	72,55
	Cinzas (%)	0,31	0,67
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )	7345,28	7348,18	

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *C. americana* foi classificada como sendo de baixa densidade básica da madeira (Tabela 9), de acordo com (SILVEIRA *et al.*, 2013). Em estudo realizado por Jati *et al.* (2014), verificando a densidade básica de espécies da savana do norte da Amazônia, observou para o fuste da *Curatella americana* uma densidade de 0,67 g.cm<sup>-3</sup>.

Trugilho *et al.* (2001) apontam como espécies potenciais para produção de carvão vegetal aquelas que apresentam densidades básicas variando de 0,52 a 0,59 g.cm<sup>-3</sup>, sendo o valor encontrado para a espécie em estudo inferior ao recomendado.

Pode-se observar que com o aumento da temperatura final de carbonização houve um decréscimo na densidade parente do carvão de *C. americana*, uma possível explicação para este fato é devido a perda da massa ser maior que a redução das dimensões do carvão, provocando a diminuição na densidade aparente do carvão vegetal (Tabela 9). Trugilho *et al.* (2001) observaram um decréscimo na densidade aparente do carvão com a elevação da temperatura final de carbonização e que ocorre uma maior perda da massa até 600 °C.

Couto *et al.* (2015) encontraram em estudo realizado para clones do gênero *Eucalyptus* spp. com sete anos de idade, valor médio de 0,49 g.cm<sup>-3</sup>, superior ao observado para *C. americana*. Arantes *et al.* (2013) avaliaram *E. grandis* e *E. urophylla* e obtiveram resultados para densidade aparente do carvão de 0,36 g.cm<sup>-3</sup>.

O rendimento em carvão e em licor pirolenhoso aumentou com o acréscimo na temperatura final de carbonização e o inverso ocorreu para o rendimento em gases não condensáveis, sendo este um comportamento inesperado (Tabela 9), visto que, o aumento da temperatura de carbonização provoca a decomposição dos constituintes químicos da madeira e consequentemente a diminuição do rendimento em carvão (JESUS *et al.*, 2017).

Castro *et al.* (2015) estudaram espécies nativas da Região Amazônica e obtiveram valores médios para rendimento gravimétrico do carvão entre 31,77 e 33,63%, valores próximos aos encontrados neste estudo para a espécie avaliada.

Os valores dos rendimentos em licor pirolenhoso estão abaixo da média encontrada por Oliveira *et al.* (2010) para *Eucalyptus pellita* (57,99%). Vieira *et al.* (2013) observaram o rendimento em gases não condensáveis de 23% para *E. microcorys* na marcha de carbonização de 500°C, respectivamente.

Ao observar os parâmetros da análise química imediata do carvão apenas o teor de cinzas apresentou valores aceitáveis para a espécie e temperaturas finais de carbonização (Tabela 9). A Resolução SAA recomenda teor de cinzas inferior a 1,5% (SÃO PAULO, 2015).

Verificou-se que com o aumento da temperatura final de carbonização houve uma redução nos teores de materiais voláteis e cinzas, pois segundo Oliveira *et al.* (2010) a temperatura e a taxa de aquecimento são parâmetros que interferem diretamente nesses percentuais.

Arantes *et al.* (2013) observaram médias de teor de materiais voláteis de 26,72 e 27,30%, carbono fixo de 73,07 e 72,54% e cinzas de 0,21 e 0,16% para *E. grandis* e *E. urophylla*, valores próximos aos obtidos neste estudo para *C. americana*.

O poder calorífico superior apresentou-se com valor médio considerado aceitável (Tabela 9). Uma possível explicação é devido o teor de cinzas ter sido baixo pois a mesma influi indiretamente no poder calorífico do combustível, a cinza diminui o carbono fixo do carvão e conseqüentemente ocorre a diminuição do poder calorífico além disto as cinzas não participam do processo de combustão (BRAND, 2010).

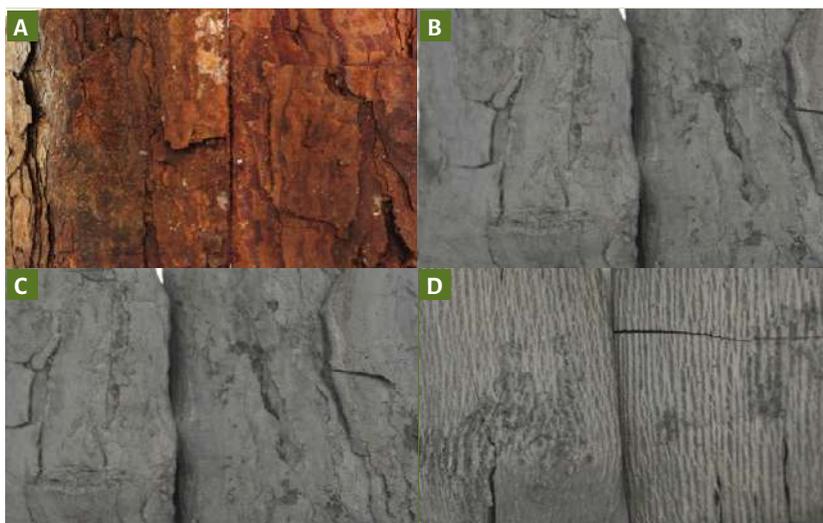
Pode-se observar que o poder calorífico apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 500 e 550°C para *C. americana* (Tabela 9), conforme a Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Oliveira *et al.* (2010) avaliando a qualidade do carvão vegetal de *E. pellita* observaram valores superiores a este trabalho para as marchas de carbonização de 500 e 550 °C com médias de 8237,00 e 8172,00 kcal.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão com casca de *C. americana* apresentou lamina irregulares sobrepostas e deiscentes, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 25-B).

Figura 25: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Curatella americana*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Silva (2012) o tronco da espécie *Curatella americana* possui ritidoma cinza-prateado, escamas ou laminas irregulares sobrepostas e deiscente.

## 2.16 *Erythroxylum deciduum* A. ST. HIL. (FRUTA-DE-POMBA)

### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Fruta-de-pomba

**Nome científico:** *Erythroxylum deciduum* A. St. Hil.

**Família:** Erythroxylaceae

Os ramos de *E. deciduum* apresenta com escamas similares a estípula, ritidoma de cor acinzentada ou castanho, com fissuras cristas sinuosas, as folhas alternas, simples, nervuras secundarias salientes na face abaxial (Figura 26-A-B), estípulas presentes e margem foliar plana (SILVA, 2012; CHAVES, 2006; LOILA *et al.*, 2015).

### DICAS DE CAMPO

A espécie *E. deciduum* apresenta folhas com ápices obtusos (Figura 25-D), ramentas ao longo dos ramos (Figura 26-F), , folhas mais velhas emitem som quando amassadas, casca interna ferrugínea (Figura 27-H) e ramos mais velhos com deiscência pulverulenta (Figura 27-I).

Figura 26: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Erythroxylum deciduum*.

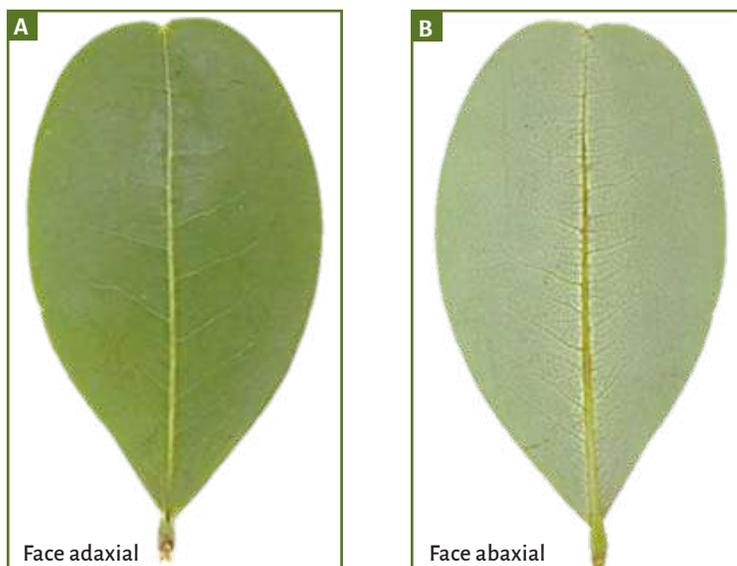


Figura 27: Folhas com ápices obtusos de *Erythroxylum deciduum*. D: Ápices obtusos.

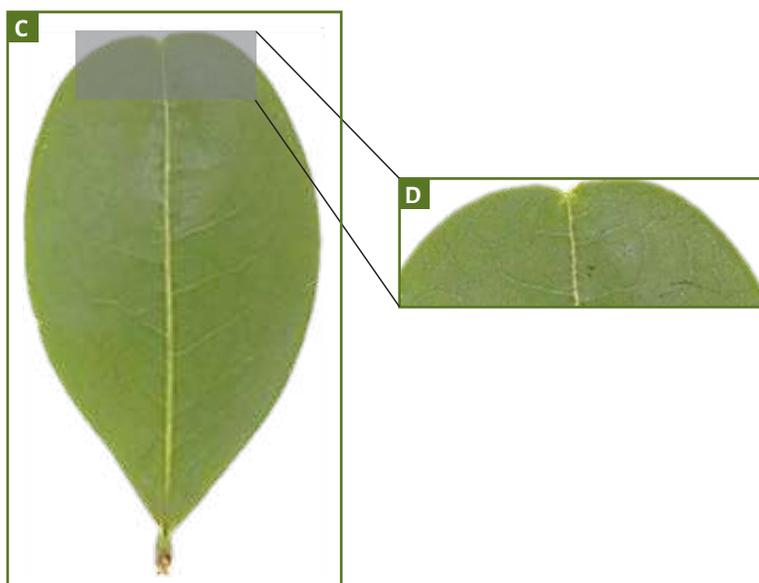


Figura 28: Ramentas ao longo do ramo de *Erythroxylum deciduum*.  
E: Ramo com folhas e F: Ramentas ao longo do ramo.

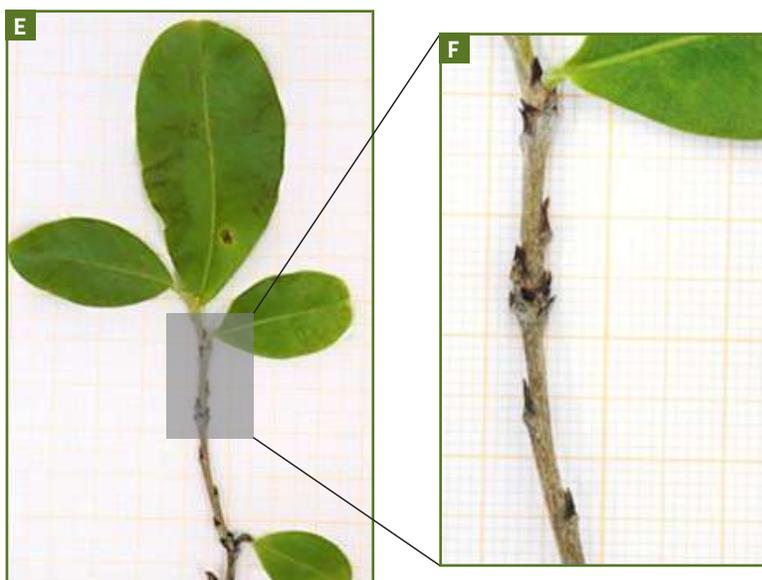
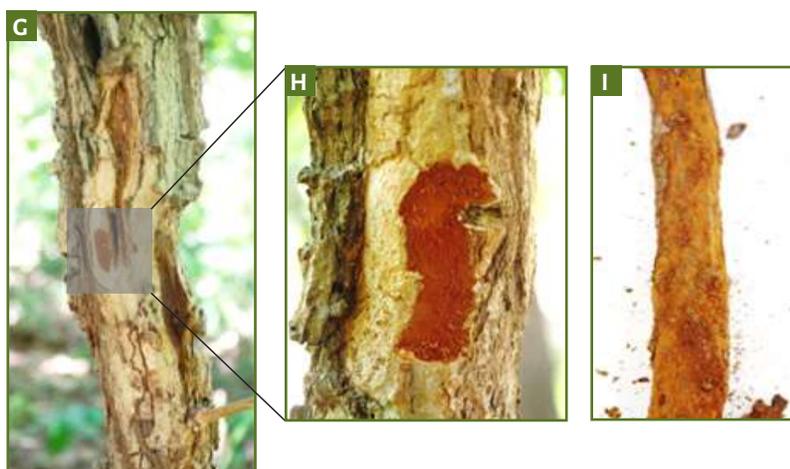


Figura 29: Casca interna ferrugínea e ramos mais velhos com deiscência pulverulenta de *Erythroxylum deciduum*. G: Tronco, H: Casca interna ferrugínea e I: Ramos velhos com deiscência pulverulenta.



## Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Erythroxylum deciduum* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 10: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Erythroxylum deciduum*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,60		
Marcha de carbonização	500°C	550°C	
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,43	0,43	
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	30,30	28,13
	RGC (%)	51,16	50,23
	RGNC (%)	18,54	21,65
	MV (%)	27,41	22,36
AQI do carvão	CF (%)	71,96	76,74
	Cinzas (%)	0,62	0,89
Pode calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )	7328,57	7487,74	

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

Verificou-se que a madeira de *E. deciduum* apresentou-se de média densidade básica (Tabela 10) conforme (SILVEIRA *et al.* 2013).

Verificou-se que a média de densidade aparente do carvão de *E. deciduum* para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 10) estão conforme Brand *et al.* (2015) que recomendaram para a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>.

Costa *et al.* (2014) avaliaram espécies do Cerrado na temperatura final de carbonização de 450°C e observaram variação de 0,255 a 0,475 g.cm<sup>-3</sup> de densidade aparente do carvão vegetal. Trugilho *et al.* (2001) encontrou variação de 0,399 a 0,491 g.cm<sup>-3</sup> em clones do gênero de *Eucalyptus* spp. Os valores obtidos por esses autores foram próximos ao encontrado neste estudo.

O rendimento total em gases condensáveis e em carvão diminuiu com o acréscimo da temperatura final de carbonização e resultado contrário foi constatado para rendimento em gases não condensáveis, ao se aumentar a temperatura final de carbonização no processo de pirólise (Tabela 10). De acordo com Araújo *et al.* (2018) a redução do rendimento em carvão ocorreu devido à perda de massa resultante da degradação térmica dos constituintes do lenho a partir do incremento da temperatura final de carbonização.

Aranes *et al.* (2013) observaram para *E. grandis* e *E. urophylla* valores médios para rendimento em carvão 33,68 e de 34,35%, rendimento em licor de 48,27 e 46,69% e para rendimento em gases não condensáveis 18,05 e 18,24%, valores inferiores aos observados nesta pesquisa para o rendimento em licor de *E. deciduum*.

Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas apresentaram valores recomendados na marcha de carbonização de 550°C e para espécie avaliada (Tabela 10). De acordo com a Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015 (SÃO PAULO, 2015).

Gouvea *et al.* (2015) avaliaram o carvão do híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* e obtiveram valores médios para o teor de materiais voláteis de 21,53%, carbono fixo de 78,13% e cinzas de 0,34%. Brand *et al.* (2013) estudaram o carvão de *Miconia cinnamomifolia* na temperatura final de carbonização de 450°C e observaram valores médios de 30,47% para o teor de materiais voláteis, de 68,18% o teor de carbono fixo e cinzas de 1,3%.

O poder calorífico aumentou com a diminuição do rendimento gravimétrico, teor de materiais voláteis e cinzas e com o acréscimo do carbono fixo de *E. deciduum*, na temperatura final de 550°C. Protaísio *et al.* (2011) e Vale *et al.* (2002) constataram que quanto menor o rendimento gravimétrico maior o teor de carbono fixo e menores serão os valores de materiais voláteis, conseqüentemente, maior será o poder calorífico do carvão vegetal, assemelhando-se ao resultado observado nesse trabalho.

O poder calorífico apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 500 e 550°C para *E. deciduum* (Tabela 10). Conforme a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

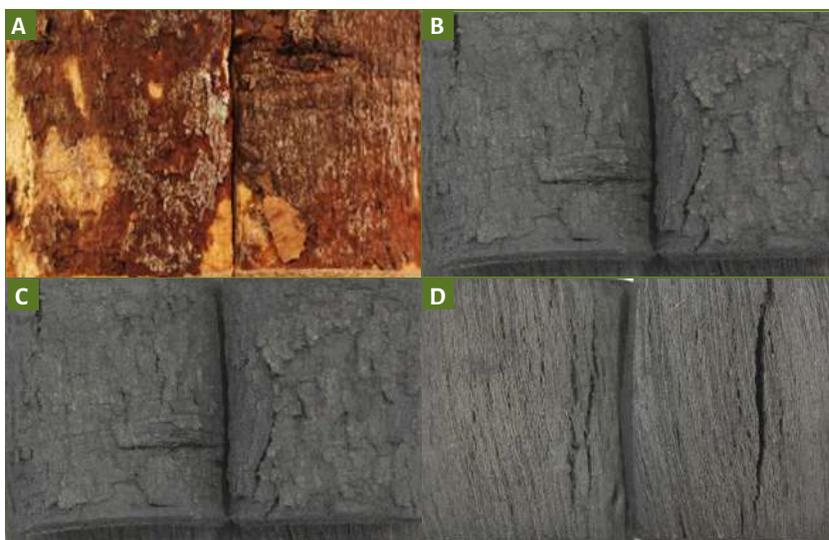
Neves *et al.* (2011) encontraram valores de 7643 e 7665 kcal.kg<sup>-1</sup> para o carvão de clones do gênero *Eucalyptus* spp. de diferentes pro-

cedências, enquanto Rosa *et al.* (2012) para amostras de carvão vegetal de várias origens encontraram valores entre 7400 a 7800 kcal.kg<sup>-1</sup>, superiores aos obtidos para a espécie avaliada nesta pesquisa.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão da casca de *E. deciduum* apresentou fissuras e cristas sinuosas, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 30-B).

**Figura 30:** Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Erythroxylum deciduum*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Silva (2012) afirma que o tronco da espécie *E. deciduum* apresenta ritidoma acinzentado ou castanho, com fissuras cristas sinuosas.

## 2.17 *Hirtella glandulosa* SPRENG. (VERMELHÃO)

### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Vermelhão

**Nome científico:** *Hirtella glandulosa* Spreng.

**Família:** Crysoalanaceae

A espécie *H. glandulosa* apresenta copa com ramos terminais cilíndricos, pilosos, ferrugíneos, tronco com ritidoma fissurado veios profundos vináceos, folha simples, alternas, dísticas, elípticas, oblongas a ovadas, ápices agudos a acuminados e bases obtusas, agudas a arredondadas, margens inteiras e ciliadas, nervação broquidódroma, nervuras secundárias impressas na face adaxial e salientes na face abaxial, pecíolos pilosos e glandulosos, folhas coriáceas, discolors, glândulas basais e laminares ao longo das margens (LORENZI, 2002; SILVA, 2012; SOTHERS *et al.*, 2015).

#### DICAS DE CAMPO

O A espécie *H. glandulosa* apresenta folha com ápice acuminado, pecíolos pilosos (Figura 30-D), na face abaxial veludosa (Figura 31-G), nervuras impressas (Figura 29-A), discolors (Figura 29-A-B), casca suberosa (Figura 32-H) e casca bege-rosada (Figura 32-J).

Figura 31: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Hirtella glandulosa*. A: Nervuras impressas. A e B: Folhas discolors.

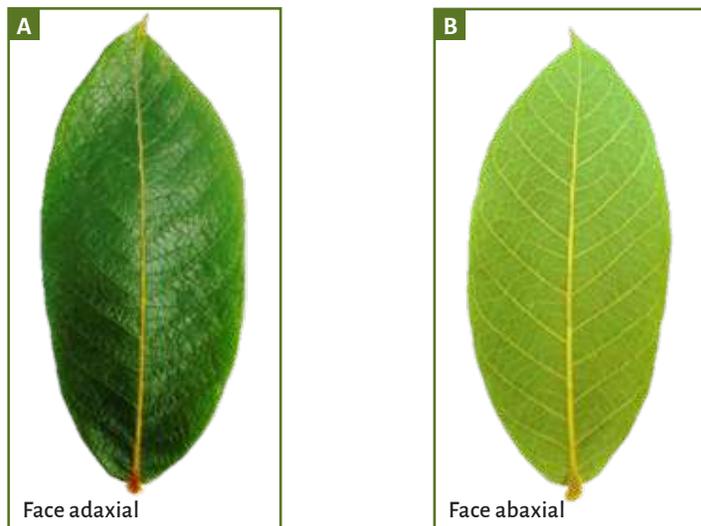


Figura 32: Folha com ápice acuminado de *Hirtella glandulosa*.  
D: Ápice acuminado e E: Pecíolos pilosos.

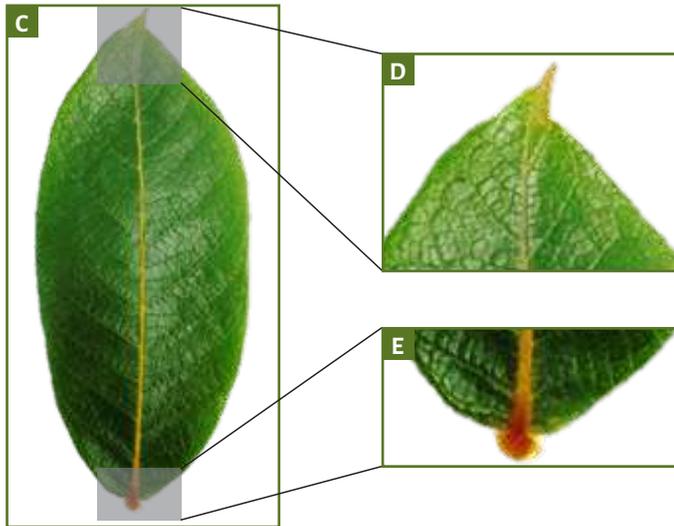


Figura 33: Face abaxial veludosa de cor ferrugínea *Hirtella glandulosa*.  
F: Face abaxial e G: Face abaxial veludosa e de cor ferrugínea.

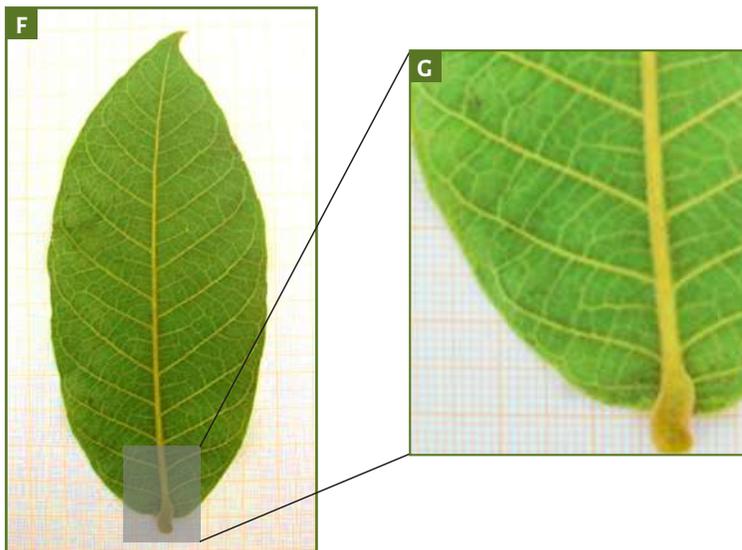
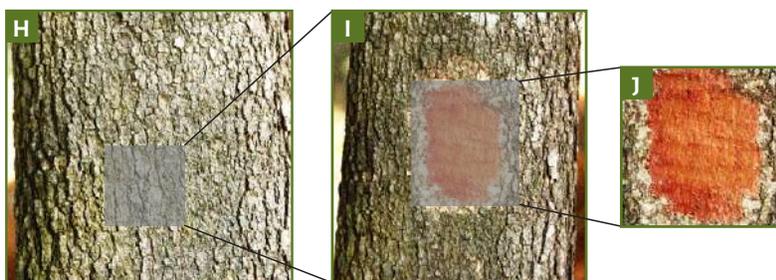


Figura 34: Casca interna bege-rosada de *Hirtella glandulosa*. H: Tronco com casca suberosa, I: Casca interna e J: Casca interna bege-rosada.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 11 são apresentados o valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Hirtella glandulosa* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 11: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Hirtella glandulosa*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )		0,66	
Marcha de carbonização		500°C	550°C
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )		0,54	0,54
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	31,43	30,00
	RGC (%)	48,04	49,52
	RGNC (%)	20,53	20,48
AQI do carvão	MV (%)	27,29	25,67
	CF (%)	70,10	69,76
	Cinzas (%)	2,60	4,57
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )		7266,71	7255,29

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

Em relação a madeira de *H. glandulosa* a mesma foi classificada como sendo de média densidade básica (Tabela 11), conforme (SILVEIRA *et al.* 2013). Rodrigues *et al.* (2010) observaram densidade de  $0,95 \text{ g.cm}^{-3}$  para a espécie *H. glandulosa*, superior ao encontrado nesta pesquisa para espécie supracitada. No Brasil, as principais espécies utilizadas para produção de carvão vegetal são do gênero *Eucalyptus* spp., que possui densidade básica da madeira variando de  $0,42$  a  $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$  (SILVA *et al.*, 2015; SOARES *et al.*, 2015), valores inferiores aos observados para a madeira de *H. glandulosa* (Tabela 11).

O carvão de *H. glandulosa* apresentou-se de média densidade aparente, para as temperaturas finais de carbonização de  $500$  e  $550^\circ\text{C}$  (Tabela 11) estão conforme Brand *et al.* (2015) que recomendaram para a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a  $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$ .

Silva *et al.* (2015) obtiveram média para densidade aparente do carvão de  $0,54 \text{ g.cm}^{-3}$  para híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, valor próximo ao observado para o carvão de *H. glandulosa*.

Observou-se que ocorreu um decréscimo no rendimento em carvão e em gases condensáveis com o aumento da temperatura final de carbonização. Comportamento inverso foi encontrado para o rendimento em gases não condensáveis (Tabela 11).

Silva *et al.* (2015) estudaram híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e obtiveram rendimento em carvão de  $33,6\%$ , rendimento em licor de  $44,19\%$  e de gases não condensáveis de  $28,39\%$ , valores próximos aos observados nesta pesquisa para *H. glandulosa*.

Pode-se observar para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas na marcha de carbonização de  $500$  e  $550^\circ\text{C}$  (Tabela 11) que os mesmos não atenderam aos valores indicados pela Resolução SAA, pois devido os teores materiais voláteis e cinzas terem sido altos o teor carbono fixo baixo para a espécie *H. glandulosa*, corroborando com Silva *et al.* (2018) que afirmam que os parâmetros supracitados são normalmente inversamente proporcionais.

Silva *et al.* (2015) encontraram médias para teor de materiais voláteis de  $22,82\%$ , carbono fixo de  $76,85\%$  e cinzas de  $0,33\%$  para híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, valores inferiores aos obtidos para teor de cinzas de *H. glandulosa*.

O poder calorífico aumentou com a diminuição do rendimento gravimétrico, teor de materiais voláteis e cinzas de *H. glandulosa*, na

temperatura final de 550°C (Tabela 11). Protásio *et al.* (2011) e Vale *et al.* (2001) observaram que quanto menor o rendimento gravimétrico maior o teor de carbono fixo e menores serão os valores de materiais voláteis, conseqüentemente, maior será o poder calorífico do carvão vegetal, assemelhando-se aos resultados observados nesse estudo.

O poder calorífico não apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 500 e 550°C para *H. glandulosa* (Tabela 11), de acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015). Silva *et al.* (2015) observaram valores médios para poder calorífico superior de 7215 kcal.kg<sup>-1</sup> para *E. benthamii*, próximos ao observado para *H. glandulosa*.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão da casca de *H. glandulosa* apresentou casca externa com fissuras, mantendo as características da casca antes da carbonização. (35-B).

Figura 35: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Hirtella glandulosa*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal



Silva (2012) observou para o tronco de *H. glandulosa* ritidoma com fissuras.

## 2.18 *Magonia pubescens* ST. HIL. (TINGUI)

### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Tingui

**Nome científico:** *Magonia pubescens* St. Hil.

**Família:** Sapindaceae

A espécie *M. pubescens* ritidoma cinza-amarelado, áspero, trincado, com escamas deiscentes que deixam depressões arredondadas, alterna, folhas compostas com folíolos nervação broquidódroma, nervuras salientes em ambas as faces, com lenticelas lineares, adulto escamoso, face adaxial brilhante, pubérula ou pubescente apenas sobre as nervuras principais, com tricomas glandulares esparsos, face abaxial opaca, glabriúscula ou pubescente (LORENZI, 2002; SILVA, 2012; SOMNER *et al.*, 2015).

#### DICAS DE CAMPO

A espécie *M. pubescens* apresenta folhas compostas (Figura 34-A-B), nervuras salientes em ambas as faces (Figura 34-A-B), nervura principal impressa e secundárias bem visíveis (Figura 35-D) e tronco com deiscência em placas arredondadas deixando depressões (Figura 36-F).

Figura 36: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Magonia pubescens*.

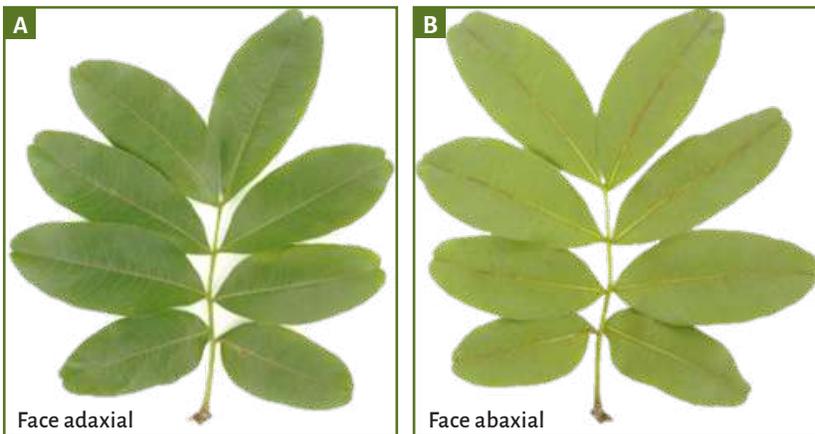


Figura 37: Folha com nervura impressas na face adaxial de *Magonia pubescens*. C: Folha e D: Nervuras impressas na face adaxial do folíolo.

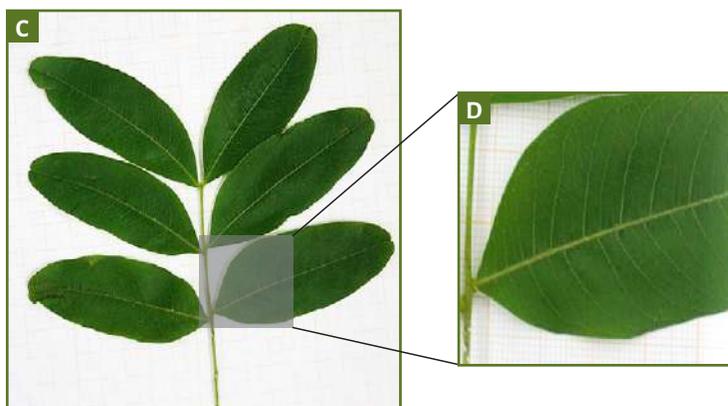
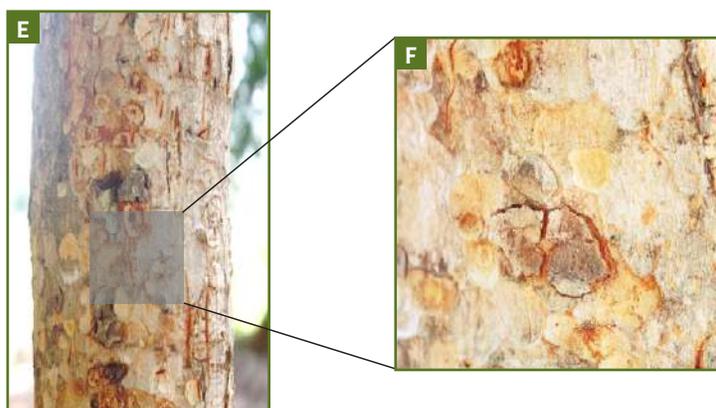


Figura 38: Tronco com deiscência em placas de *Magonia pubescens*. E: Tronco e F: Tronco com deiscência em placas.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 12 encontram-se os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Magonia pubescens* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 12: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Magonia pubescens*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,78		
Marcha de carbonização	500°C	550°C	
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,64	0,63	
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	31,81	30,23
	RGC (%)	44,61	45,67
	RGNC (%)	23,56	24,09
	MV (%)	27,67	23,6
AQI do carvão	CF (%)	69,35	73,38
	Cinzas (%)	2,97	3,01
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )	7241,74	7375,78	

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *M. pubescens*, foi classificada como sendo de alta densidade básica (Tabela 12), de acordo com (SILVEIRA *et al.* 2013). Carvalho, (2008) observou valor médio para densidade básica madeira da madeira de *M. pubescens* de 0,84 g.cm<sup>-3</sup>, valor superior ao obtido nesta pesquisa para *M. pubescens*.

Segundo Oliveira *et al.* (2012) a variação das densidades básicas dentro das mesmas espécies pode ser explicada pela diferença de fatores edáficos, topográficos, climáticos, pela incidência de fogo, pela fenologia e pela forma de dispersão das espécies.

O carvão de *M. pubescens* foi classificado como sendo de alta densidade aparente, isto pode ter ocorrido devido á densidade da básica da mesma ter sido classificada como sendo alta densidade. Segundo Santos *et al.* (2011) 60% da massa da madeira é degradada durante o processo de carbonização para produção de carvão vegetal, desta forma, quanto maior a densidade básica madeira, maior será a densidade aparente do carvão.

Pode-se notar que a média de densidade aparente do carvão de *M. pubescens* para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C estão conforme Brand *et al.* (2015) recomendaram que para a densidade aparente do carvão não seja inferior a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>.

O rendimento total em carvão vegetal apresentou valor dentro do recomendado para a espécie e as machas de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 12), pois conforme Arantes *et al.* (2013) e Soares *et al.* (2014), o rendimento em carvão deve ser superior a 30%.

Oliveira *et al.* (2010), em estudo realizado com diferentes marchas de carbonização para espécie de *Eucalyptus pellita* observaram na marcha de carbonização de 500°C um rendimento médio em carvão de 31,09% e na marcha de carbonização de 550°C de 30,13%. Os valores médios para as respectivas marchas de carbonização foram próximos aos obtidos neste estudo.

Observa-se aumento no rendimento em licor pirolenhoso e em gases não condensáveis para *M. pubescens* que apresentou porcentagem superior na marcha de carbonização de 550°C (Tabela 112), sendo este um comportamento inesperado, visto que, o aumento da temperatura de carbonização diminui o rendimento em gases não condensáveis e aumenta o rendimento em licor.

Marchesan *et al.* (2019) contataram valores totais em gases condensáveis variando 44,51 e 50% e valores totais em gases não condensáveis entre 19,05 e 23,38% para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, plantado no sul do Tocantins, valores próximos aos obtidos neste estudo para espécie *M. pubescens*.

Constatou-se para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas na marcha de carbonização de 550°C (Tabela 12) que os mesmos atenderam aos valores indicados pela Resolução SAA-40 de 14 de dezembro de 2015 (SÃO PAULO, 2015).

Verificou-se que com o aumento da temperatura final de carbonização houve uma redução nos teores de materiais voláteis e cinzas e acréscimo em carbono fixo (Tabela 12), pois segundo Oliveira *et al.* (2010) a temperatura e a taxa de aquecimento são parâmetros que interferem diretamente nesses teores.

Assis *et al.* (2012) estudaram carvão híbrido do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e observaram teores de materiais voláteis de 19,93%, carbono fixo de 79,52% e cinzas de 0,55%, valores inferiores ao observado nesta pesquisa para teor de voláteis e cinzas.

Observa-se que com acréscimo na temperatura final de carbonização houve um aumento no poder calorífico superior devido a ter

ocorrido redução de voláteis e aumento no carbono fixo (Tabela 9). O teor de voláteis, carbono fixo e cinzas influi diretamente no poder calorífico do combustível (BRAND, 2010).

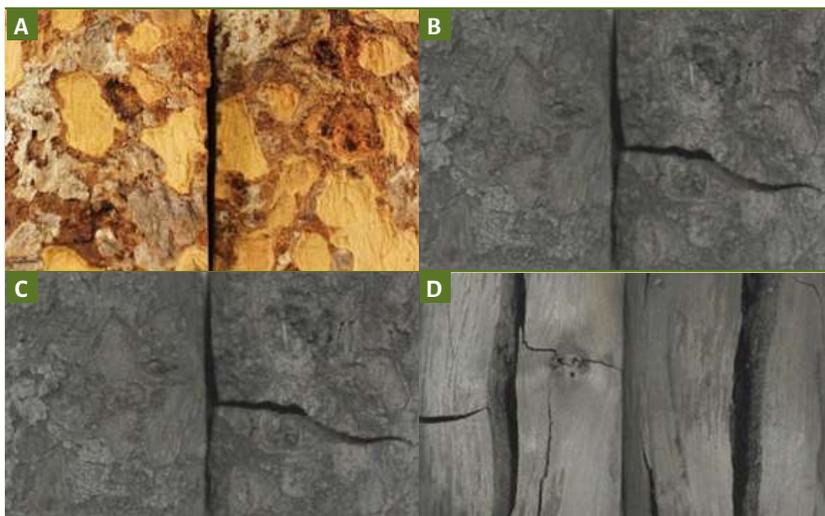
O poder calorífico apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 550°C para *M. pubescens* (Tabela 12). Conforme a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Assis *et al.* (2012) avaliaram carvão vegetal híbrido do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* o valor médio para poder calorífico de 7543 kcal.kg<sup>-1</sup>, valor superior ao obtido neste estudo *M. pubescens*.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão da casca da espécie *Magonia pubescens* apresentou escamas deiscidas, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 39-B).

**Figura 39:** Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Magonia pubescens*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Silva (2012) descreveu as características vegetativas da espécie *M. pubescens* e observou o ritidoma cinza-amarelado, áspero, trincado, com escamas deiscidas que deixam depressões arredondadas.

## 2.19 *Palicourea rigida* KUNTH (BATE-CAIXA)

### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Bate-caixa

**Nome científico:** *Palicourea rigida* Kunth

**Família:** Rubiaceae

A espécie *P. rigida* apresenta copa com ramos terminais espessos e suberosos, subdivididos pela inserção das folhas, estípulas terminais bífidas, folhas regularmente espaçadas nos ramos, tronco com ritidoma acinzentado, com fissuras verticais profundas e cristas agudas e sinuosas, folhas simples, opostas, cruzadas, elípticas a largo-elípticas, ápices obtusos a arredondados e bases arredondadas ou cordadas, margens espessadas, inteiras, revolutas, cartilagosas e amareladas, nervação broquidódroma amarelada, bem marcada face adaxial e muito saliente na face abaxial, inclusive as folhas sesséis ou curto pecioladas, Estípula s interpeciolares bífidas, ou suas cicatrizes nos ramos maduros, folhas rígido-coriáceas, quebradiças, discolores, lustrosas, pálidas, pilosas ou glabras na face abaxial (SILVA, 2012; TAYLOR, 2015).

#### DICAS DE CAMPO

A espécie *P. rigida* apresenta folhas discolores, nervação broquidódroma (Figura 38-A-B), ápices obtusos, bases arredondadas (39-D-E), com margem revoluta (Figura 40-G), ramos mais velhos com cicatrizes peciolares (Figura 41-H-I), tronco suberoso (Figura 42-J) e casca viva fibrosa (Figura 42-M).

Figura 40: A) Face adaxial e B) Face abaxial da folha de *Palicourea rigida*. A e B: Folhas discolores e nervação broquidódroma.

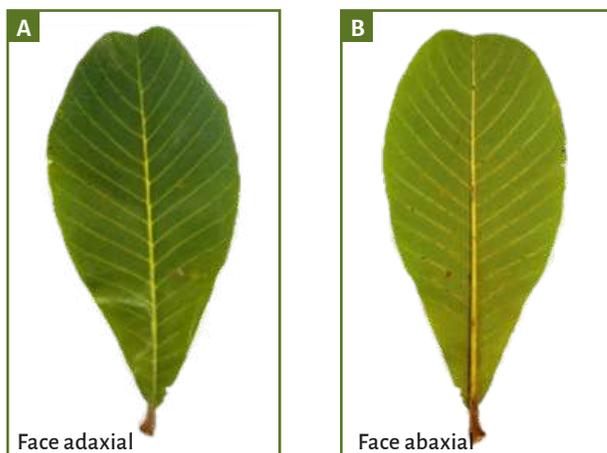


Figura 41: Folhas ápice obtusos e bases arredondadas *Palicourea rigida*. D: Ápice obtusos. E: Bases arredondadas.

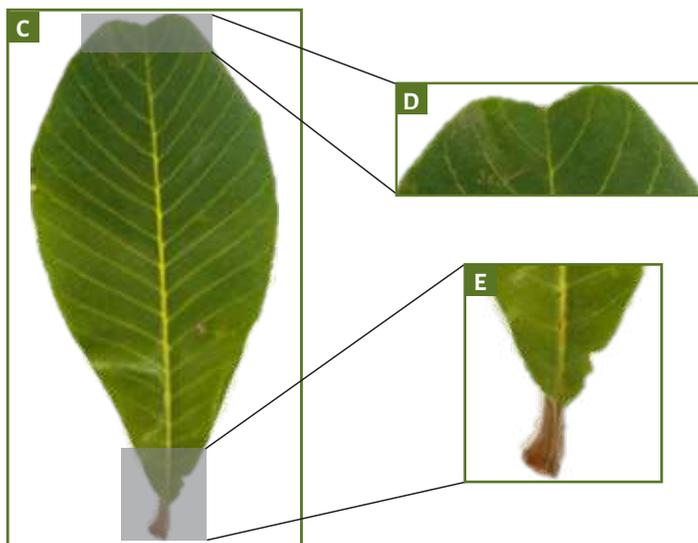


Figura 42: Face adaxial com margem revoluta de *Palicourea rigida*. F: Folha simples face adaxial e G: Margem revoluta.

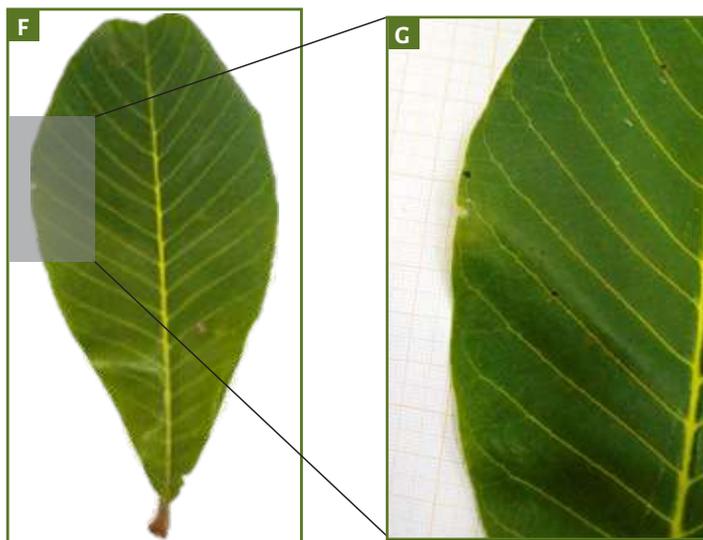


Figura 43: Ramos mais velhos com cicatrizes peciolares de *Palicourea rigida*. H: Ramos com cicatrizes peciolares e I: Cicatrizes peciolares nos ramos mais velhos.

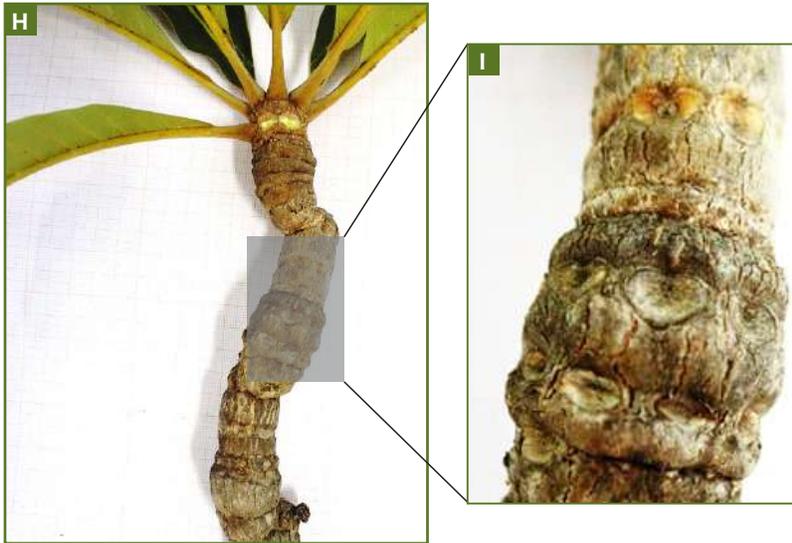
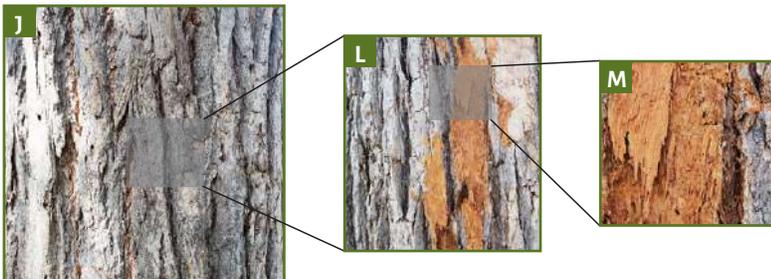


Figura 44: Tronco suberoso com casca viva fibrosa de *Palicourea rigida*. J: Tronco, L: Tronco suberoso e M: Casca viva fibrosa.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 13 são apresentados valores **médios** de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Palicourea rigida* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 13: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Palicourea rigida*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )		0,58	
Marcha de carbonização		500°C	550°C
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )		0,44	0,53
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	34,48	32,69
	RGC (%)	41,57	43,30
	RGNC (%)	23,95	24,01
AQI do carvão	MV (%)	25,90	24,44
	CF (%)	70,74	68,84
	Cinzas (%)	3,350	5,15
Poder calorífico do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )		7288,72	7276,61

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *P. rigida* foi classificada como sendo de média densidade básica entre (Tabela 13), conforme (SILVEIRA *et al.*, 2013). Lorenzi, (2016) encontrou valor médio para densidade básica da madeira de *P. rigida* de 0,43 g.cm<sup>-3</sup>, valor inferior ao observado neste estudo.

O carvão de *P. rigida* apresentou média densidade aparente para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 13) estão conforme Brand *et al.* (2015) que recomendaram que a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>.

Em estudo realizado por Costa *et al.* (2014), os autores observaram valores médios entre 0,25 a 0,47 g.cm<sup>-3</sup> de densidade aparente do carvão para cinco espécies nativas do Cerrado. Vale *et al.* (2010) obtiveram valores médios para densidade aparente do carvão de cinco espécies nativas do Cerrado variando de 0,28 a 0,43 g.cm<sup>-3</sup>. Os valores observados pelos autores supracitados foram próximos ao encontrado para *P. rigida*.

Constatou-se que ocorreu um decréscimo no rendimento em carvão e em gases condensáveis com o aumento da temperatura final de carbonização. Comportamento inverso foi denotado para o rendimento em gases não condensáveis (Tabela 13). Costa *et al.* (2014) caracterizaram cinco espécies do Cerrado e observaram valores médios para o rendi-

mento gravimétrico variando de 30,88 a 34,39%. Arantes *et al.* (2013) observaram para *E. grandis* e *E. urophylla* valores médios para rendimento em carvão de 33,68 e de 34,35%, rendimento em licor de 48,27 e 46,69% e para rendimento em gases não condensáveis de 18,05 e 18,24%, valores inferiores aos observados nesta pesquisa para o rendimento em licor e superior para o rendimento em gases não condensáveis de *P. rigida*.

Observa-se para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas na marcha de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 13) que os mesmos não atenderam aos valores indicados pela Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015 (SÃO PAULO, 2015).

Nota-se que o teor de materiais voláteis diminuiu e o carbono fixo aumentou de acordo com o aumento da temperatura final da pirólise, uma explicação para isto é devido o teor de materiais voláteis ter diminuído, ocorrendo maior fixação de carbono fixo no carvão (Tabela 13). Segundo Trugilho *et al.* (2001) isto ocorre pelo fato do aumento da temperatura final de carbonização acarretar a liberação dos materiais voláteis.

Brand *et al.* (2013) em estudo sobre o carvão de *Miconia cinnamomifolia* na temperatura final de carbonização de 450°C, observaram valor médio de 30,47% para o teor de materiais voláteis, de 68,18% o teor de carbono fixo e cinzas de 1,3%, valores próximos aos obtidos nesta pesquisa para *P. rigida*.

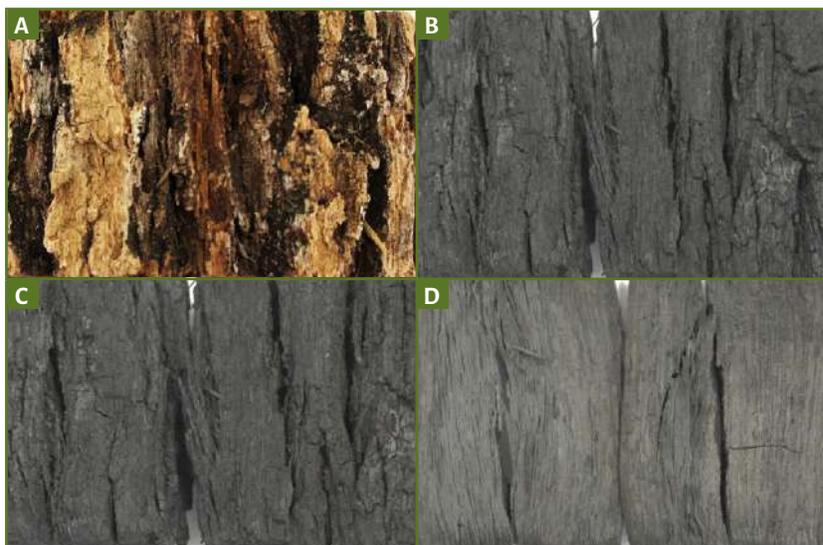
Pode-se notar acréscimo do poder calorífico com o aumento da temperatura, isto ocorreu devido o teor de carbono fixo ter sido maior e o teor de materiais voláteis menor na marcha de carbonização de 550°C (Tabela 13). De acordo com Brand (2010) o poder calorífico afetado pelos teores de carbono fixo e voláteis.

De acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015) o poder calorífico não apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 500 e 550°C para *P. rigida* (Tabela 13). Costa *et al.* (2014) encontraram valores médios de poder calorífico entre 7135 a 7730 kcal.kg<sup>-1</sup> para cinco espécies do Cerrado. Estes valores foram próximos ao observado para a espécie *P. rigida*.

#### DICAS DE CAMPO

Pode-se notar que o carvão da casca de *P. rigida* apresentou fissuras verticais profundas e cristas agudas, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 45-B).

**Figura 45:** Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Palicourea rigida*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Segundo o descrito por Silva (2012) a espécie *P. rigida* apresenta ritidoma acinzentado com fissuras verticais profundas e cristas agudas sinuosas.

## 2.20 *Qualea parviflora* MART. (PAU-TERRA-ROXO)

### Descrição dendrológica

**Nome popular:** Pau-terra-roxo

**Nome científico:** *Qualea parviflora* Mart.

**Família:** Vochysiaceae

A espécie *Q. parviflora* apresenta tronco com ritidoma acinzentado, dividido em blocos retangulares por fissuras profundas, folhas simples, oposta ou verticiladas, por nó, na rebrotação, oblongas ou elípticas, ápices e base agudos a obtusos, margens inteiras, nervação broquidódroma, nervuras salientes na face abaxial, as intersecundárias, salientes ou imersas na face abaxial, estípulas reduzidas a glândulas, folhas discolores, glaba e pilosas (SILVA, 2012; FRANÇA, 2015).

### DICAS DE CAMPO

A espécie *Q. parviflora* apresenta folha discolores (Figura 46-A-B), ápices agudos e bases obtusos (47-D-E), nervuras impressas na face adaxial (Figura 48-G) e tronco suberoso e deiscente (Figura 49-H-I).

Figura 46: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Qualea parviflora*. A e B: Folha discolores.

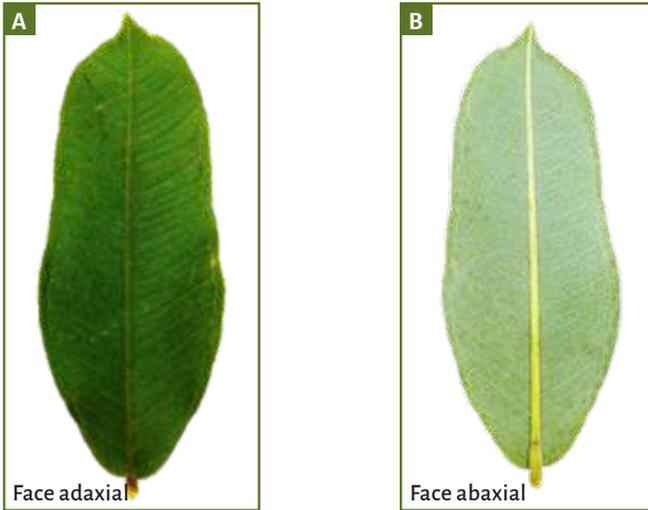


Figura 47: Folha com ápices agudos e bases obtusos de *Qualea parviflora*. D Ápices agudos e E: Base obtusos.

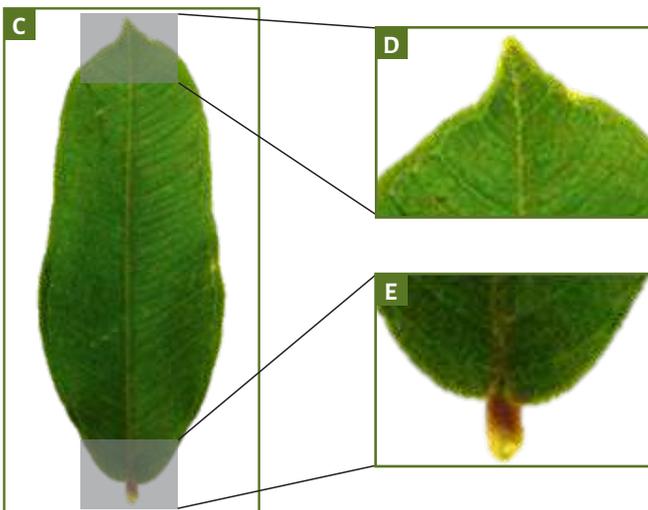


Figura 48: Nervuras na face adaxial impressas de *Qualea parviflora*. F: Folha simples face adaxial e G: Nervuras na face adaxial impressas.

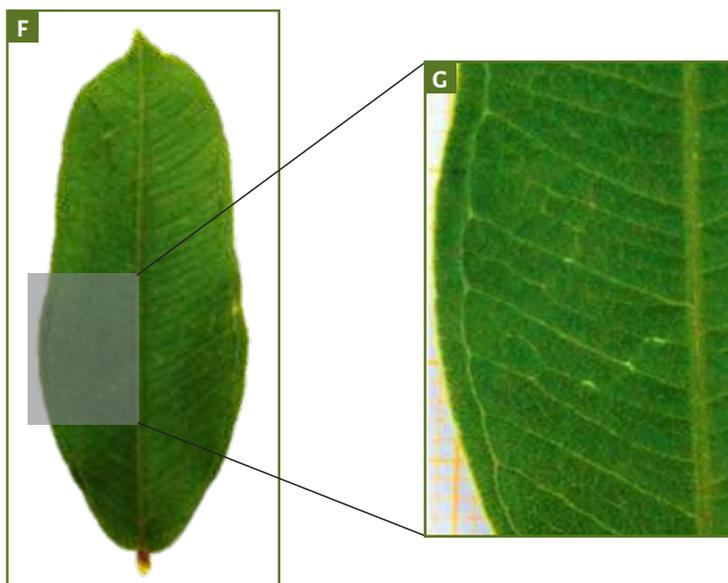
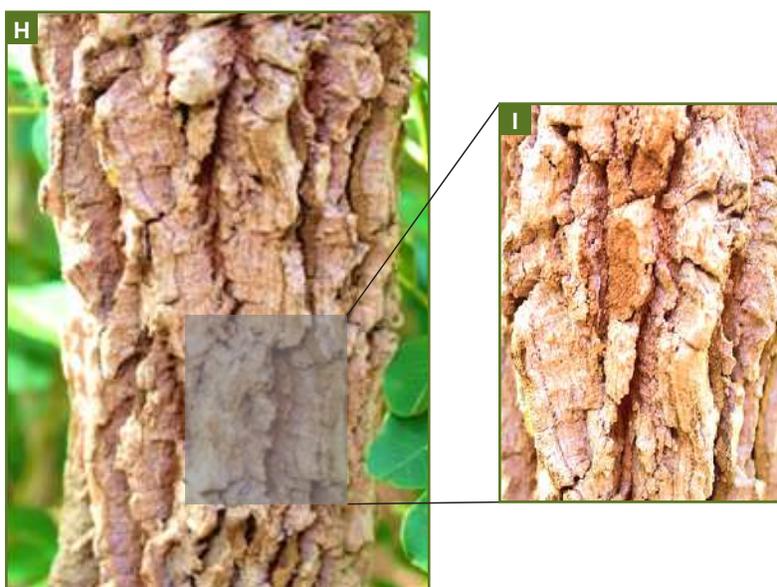


Figura 49: Tronco suberoso e deiscente *Qualea parviflora*. H: Tronco e I: Tronco suberoso e F: Tronco suberoso e deiscente.



## Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 14 encontram-se valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Qualea parviflora* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 14: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Qualea parviflora*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )	0,80		
<b>Marcha de carbonização</b>	500°C	550°C	
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )	0,55	0,59	
<b>Rendimentos da pirólise</b>	RTC (%)	32,50	31,95
	RGC (%)	43,62	44,11
	RGNC (%)	23,87	23,92
<b>AQI do carvão</b>	MV (%)	32,3	27,80
	CF (%)	66,18	70,94
	Cinzas (%)	1,5	1,24
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )	7136,44	7294,86	

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *Q. parviflora*, foi classificada como sendo de alta densidade básica (Tabela 14), de acordo com (SILVEIRA *et al.*, 2013). Protásio *et al.* (2014) observaram a densidade básica da madeira de *Q. parviflora*, e obtiveram média de 0,69 g.cm<sup>-3</sup>, valor inferior ao observado para a espécie em estudo.

O carvão apresentou alta densidade aparente, isto ocorreu devido a madeira ter sido classificada de alta densidade da básica (Tabela 14). Pode-se notar que a média de densidade aparente do carvão de *Q. parviflora*. e para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C estão conforme Brand *et al.* (2015) determinaram que a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>. Segundo Neto *et al.* (2014) 60% da massa da madeira é degradada durante o

processo de carbonização para produção de carvão vegetal, e conseqüentemente, quanto maior a densidade básica madeira, maior será a densidade aparente do carvão.

Protásio *et al.* (2011) observaram valor médio de densidade aparente de  $0,41 \text{ g.cm}^{-3}$  para o carvão de *Q. parviflora*, inferior ao observado neste estudo para *Q. parviflora*. Reis *et al.* (2012) relatam densidade aparente do carvão do clone de *Eucalyptus urophylla* de  $0,32 \text{ g.cm}^{-3}$ . Protásio *et al.* (2013) encontraram densidade aparente média de  $0,40 \text{ g.cm}^{-3}$  para o carvão vegetal de dois clones de *Eucalyptus* spp. Os valores para este estudo de densidade aparente apresentaram-se superior quando comparados com o gênero *Eucalyptus* spp.

Nota-se que ocorreu um decréscimo no rendimento em carvão e em gases condensáveis com o aumento da temperatura final de carbonização. Comportamento inverso foi observado para o rendimento em gases não condensáveis (Tabela 14). Protásio *et al.* (2011) estudaram o carvão vegetal da espécie nativa do Cerrado *Qualea parviflora* e observaram valores para rendimento em carvão de 34,60%, rendimento em licor de 40,97% e de gases não condensáveis de 24,47%, próximos aos observados nesta pesquisa para *Q. parviflora*. Marchesan *et al.* (2019) encontram valores totais em gases condensáveis variando de 44,51 e 50% e valores totais em gases não condensáveis entre 19,05 e 23,38% para o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, plantando no sul do Tocantins, valores inferiores aos obtidos neste estudo para espécie *Q. parviflora*.

Constatou-se para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas na marcha de carbonização de 550 e 550°C (Tabela 14) que os mesmos não atenderam aos valores indicados pela Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015 (SÃO PAULO, 2015).

Verificou-se que com o aumento da temperatura final de carbonização houve uma redução nos teores de materiais voláteis e cinzas e acréscimo em carbono fixo (Tabela 14). Assis *et al.* (2012) estudaram carvão híbrido do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e observaram materiais voláteis de 19,93%, carbono fixo de 79,52% e cinzas de 0,55%, valores superiores ao observado nesta pesquisa para teor de voláteis e cinzas. Protásio *et al.* (2011) estudaram carvão *Q. parviflora* e observaram materiais voláteis de 21,18%, carbono fixo de 75,89% e cinzas de 2,93%, valores próximos ao observado nesta pesquisa para a mesma espécie.

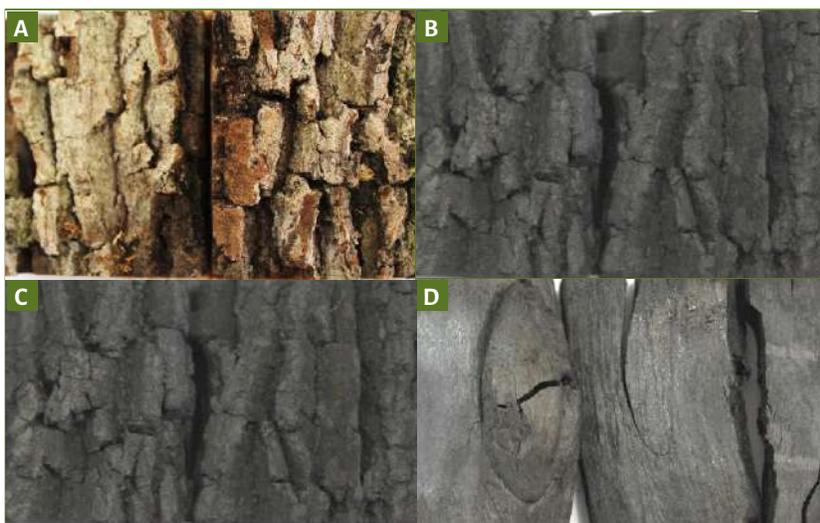
Observa-se que com acréscimo na temperatura final de carbonização houve um aumento no poder calorífico superior devido ter ocorrido redução de voláteis e aumento no carbono fixo (Tabela 14). O poder calorífico não apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 500 e 550°C para *Q. parviflora* (Tabela 11). De acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Assis *et al.* (2012) avaliaram o carvão vegetal híbrido do cruzamento de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* valor médio para poder calorífico de 7543 kcal.kg<sup>-1</sup>, superior aos obtidos neste estudo para a *Q. parviflora*. Protásio *et al.* (2011) encontram para o carvão vegetal de *Q. parviflora* valor médio para poder calorífico de 7229,10 kcal.kg<sup>-1</sup>, próximos aos encontrados neste estudo para mesma espécie.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão com casca da espécie *Q. parviflora* apresentou blocos retangulares com fissuras profundas, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 50-B).

Figura 50: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Qualea parviflora*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Conforme Silva (2012) as características vegetativas da espécie *Q. parviflora* são ritidoma acinzentado blocos retangulares por fissuras profundas.

## 2.21 *Vatairea macrocarpa* - BENTH DUCKE (ANGELIM-AMARGOSO)

### Descrição dendrológica

**Nome científico:** Angelim-amargoso

**Nome científico:** *Vatairea macrocarpa* (Benth) Ducke

**Família:** Fabaceae Papilionoideae

A espécie *V. macrocarpa* apresenta ramos terminais pilosos, ferrugíneos, folhas agrupadas, tronco com ritidoma acinzentado, dividido em blocos retangulares ou quadrangulares por fissuras profundas, folhas compostas, imparipinadas, alternas, espiraladas, 3 a 9 folíolos, alternos ou opostos, largo-elíptico a sub-orbiculares, ápices retusos ou curto-acuminados e bases arredondadas, cordadas ou assimétricas, margens inteiras, onduladas e espessadas, nervação broquidódroma, nervuras imersas na face abaxial, salientes, raque e pecíolo acanalados, pulvinos cilíndricos, estípulas caducas, estípelas persistentes, folíolos cartáceos, discolores e pilosos (LORENZI, 2002; SILVA, 2012; CARDOSO, 2015).

#### DICAS DE CAMPO

A espécie *V. macrocarpa* apresenta folhas compostas com ápices dos folíolos imparipinadas e discolores (Figura 51-A-B), estípulas persistentes nos ramos jovens (Figura 52-D) e manchas ferrugíneas na face abaxial dos folíolos (Figura 53-F).

Figura 51: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Vatairea macrocarpa*. A e B: folhas compostas com ápices dos folíolos imparipinadas e discolores.

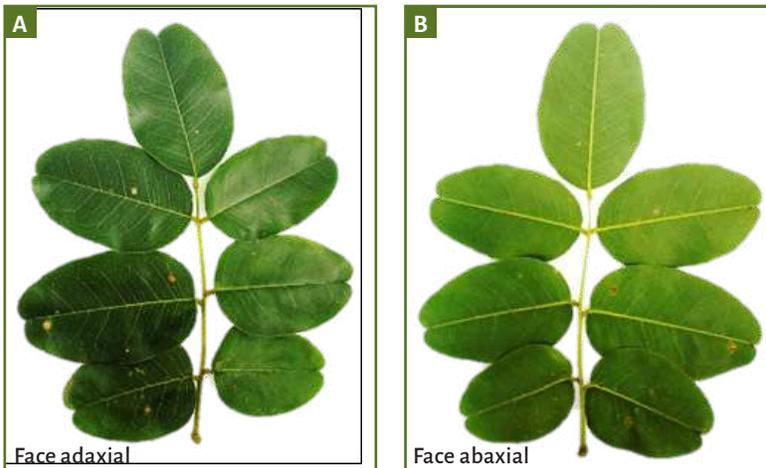


Figura 52: Estípulas persistentes nos ramos jovens de *Vatairea macrocarpa*. C: Ramos jovens e D: Estípulas persistentes.

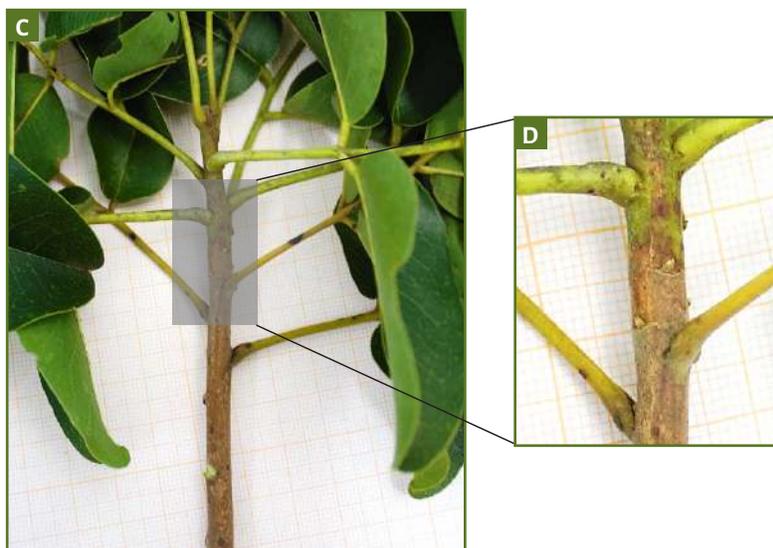
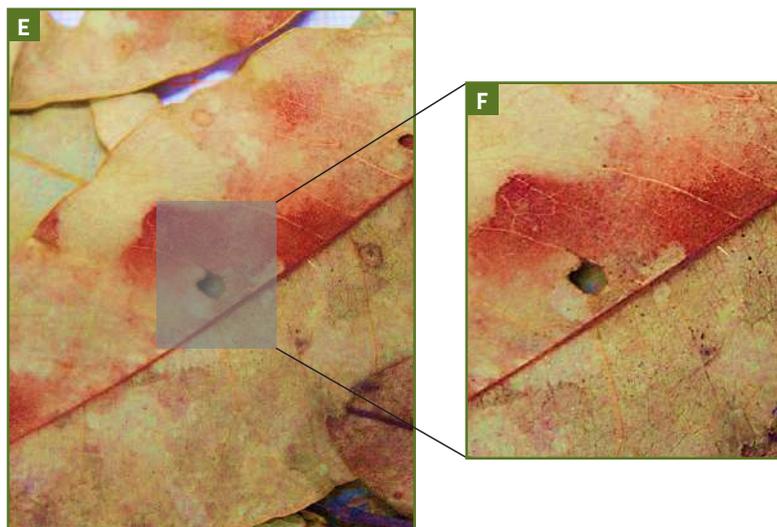


Figura 53: Manchas aleatórias de cor ferrugínea na face abaxial dos folíolos de *Vatairea macrocarpa*. E: Face abaxial dos folíolos e F: Manchas ferrugíneas.



## Caraterização do carvão vegetal

Na Tabela 15 são apresentados valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Vatairea macrocarpa* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 15: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Vatairea macrocarpa*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )		0,65	
Marcha de carbonização		500°C	550°C
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )		0,58	0,58
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	31,34	33,84
	RGC (%)	46,32	48,38
	RGNC (%)	22,34	17,78
AQI do carvão	MV (%)	21,21	23,85
	CF (%)	75,26	75,16
	Cinzas (%)	0,52	0,57
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )		7438,21	7448,93

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *V. macrocarpa* foi classificada como sendo de média densidade básica (Tabela 15), conforme (SILVEIRA *et al.*, 2013). Lorenzi, (2016) observou valor médio de 0,88 g.cm<sup>-3</sup>, valor superior ao observado nesta pesquisa para *V. macrocarpa*.

Verificou-se que o carvão de *V. macrocarpa* apresentou média densidade aparente para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 15), estando conforme (BRAND *et al.*, 2015). Costa *et al.* (2014) avaliaram espécies do Cerrado na temperatura final de carbonização de 450°C e observaram variação de 0,25 a 0,47 g.cm<sup>-3</sup> de densidade aparente do carvão vegetal. Trugilho *et al.* (2001) encontrou variação de 0,39 a 0,49 g.cm<sup>-3</sup> em clones do gênero *Eucalyptus*

spp. Os valores obtidos por esses autores foram próximos ao encontrado neste estudo.

O rendimento em carvão e em gases não condensáveis diminuiu com o acréscimo da temperatura final de carbonização e resultado contrário foi constatado no rendimento em licor, que aumentou com acréscimo a temperatura final de carbonização no processo de pirólise da madeira (Tabela 15). Arantes *et al.* (2013) observaram para *E. grandis* e *E. urophylla* valores médios para rendimento em carvão de 33,68 e de 34,35%, rendimento em licor de 48,27 e 46,69% e para rendimento em gases não condensáveis de 18,05 e 18,24%, valores próximos aos observados nesta pesquisa para o rendimento em carvão e licor pirolenhoso de *V. macrocarpa*.

Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas apresentaram valores recomendados nas marchas de carbonização de 500 e 550°C e para espécie avaliada (Tabela 15). De acordo com a Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015 (SÃO PAULO, 2015).

Gouvea *et al.* (2015) avaliaram o carvão do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e obtiveram valores médios para o teor de materiais voláteis de 21,53%, carbono fixo de 78,13% e cinzas de 0,34%, valores próximos aos encontrados neste estudo para *V. macrocarpa*. Brand *et al.* (2013) em pesquisa com o carvão de *Miconia cinnamomifolia* na temperatura final de carbonização de 450°C, observaram valor médio de 30,47% para o teor de materiais voláteis, de 68,18% para teor de carbono fixo e para as cinzas de 1,3%, valores inferiores aos encontrados para *V. macrocarpa*.

O poder calorífico aumentou com a diminuição do rendimento gravimétrico, teor de materiais voláteis e cinzas na temperatura final de 550°C (Tabela 15). Protásio *et al.* (2011) e Vale *et al.* (2002) constataram que quanto menor o rendimento gravimétrico, maior o teor de carbono fixo, menores serão os valores de materiais voláteis e, conseqüentemente, maior será o poder calorífico do carvão vegetal, assemelhando-se ao resultado observado nesse trabalho.

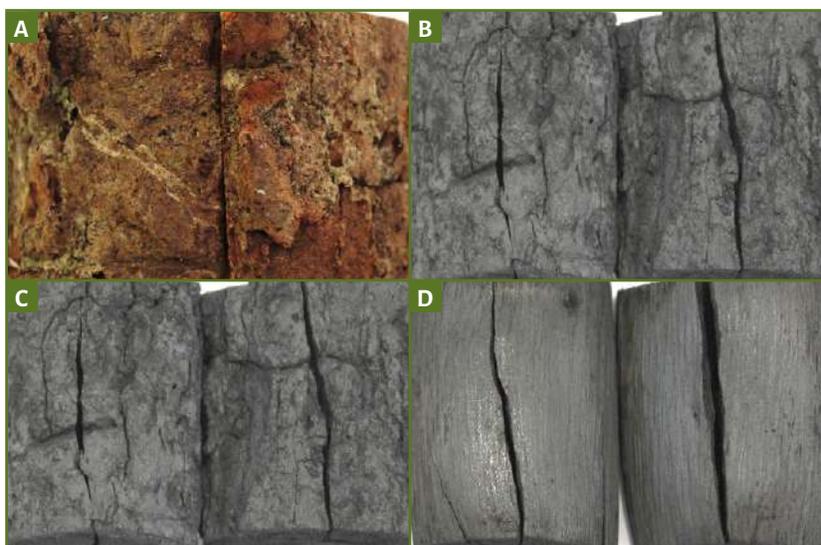
O poder calorífico superior apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 500 e 550°C para *V. macrocarpa* (Tabela 15), conforme a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

Neves *et al.* (2011) encontraram valores de 7643 e 7665 kcal.kg<sup>-1</sup> para o carvão de clones do gênero *Eucalyptus* spp. de diferentes procedências, enquanto Rosa *et al.* (2012) para amostras de carvão vegetal de várias origens encontraram valores entre 7400 a 7800 kcal.kg<sup>-1</sup>, superiores aos obtidos para a espécie avaliada nesta pesquisa.

#### DICAS DE CAMPO

O carvão da casca de *V. macrocarpa* apresentou-se dividido em blocos retangulares com fissuras profundas, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 54-B).

Figura 54: Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Vatairea macrocarpa*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Silva, (2012) descreveu as características dendrológicas da espécie *V. macrocarpa* e observou que o tronco apresenta ritidoma dividido em blocos retangulares por fissuras profundas.

2.22 *Xylopia aromatica* (LAM.) MART.  
(PIMENTA - DE- MACACO)

Descrição dendrológica

**Nome popular:** Pimenta - de- macaco

**Nome científico:** *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart.

**Família:** Annonaceae

A espécie *X. aromatica* apresenta folhas simples, alternas, sem estípula s, pilosas, ramos pendentes, ferrugíneos, com fibras longas ao serem destacados, ramos com pilosidade abundante a casca interna branco amarelada muito fibrosa, casca e folha com odor característico devido a óleos voláteis (LORENZI, 2002; SILVA, 2012).

DICAS DE CAMPO

A espécie *X. aromatica* apresenta folhas com ápice agudo (Figura 54-D), gema triangular na axila da folha e pilosidade ao longo dos ramos (Figura 55-E-F) e galhos da copa em formato zig-zag (Figura 58-G-F).

Figura 55: A: Face adaxial e B: Face abaxial da folha de *Xylopia aromatica*.



Figura 56: Folhas com ápice agudo de *Xylopia aromatica*. D: Ápice agudo.

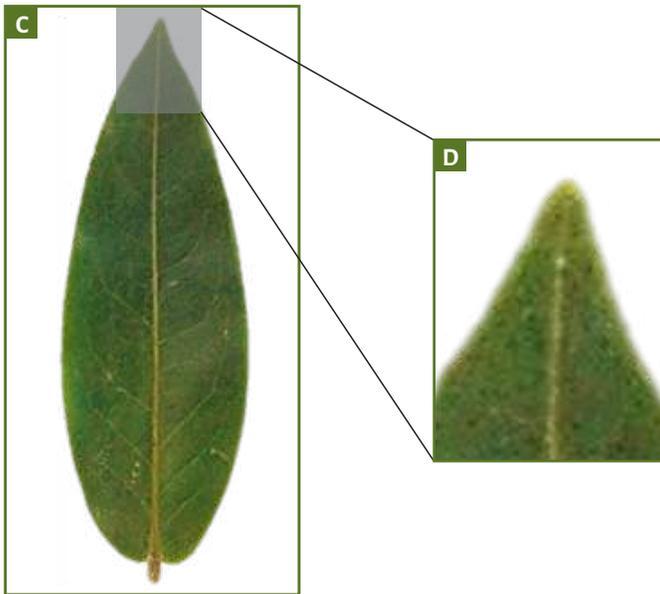


Figura 57: Gema triangular na axila da folha de *Xylopia aromatica*. E: Ramo com folhas e F: Gema triangular na axila e pilosidade ao longo dos ramos.



Figura 58: Galho da copa em formato zig-zag de *Xylopia aromatica*.

G: Galho da copa e H: Galhos da copa em formato zig-zag.



### Caracterização do carvão vegetal

Na Tabela 16 podem ser observados os valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimento total em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Xylopia aromatica* para as marchas de carbonização de 500 e 550°C.

Tabela 16: Valores médios de densidade básica da madeira, densidade aparente do carvão, rendimentos totais do processo de pirólise, valores médios dos teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), cinzas e do poder calorífico superior da espécie *Xylopia aromatica*.

Densidade básica da madeira (g.cm <sup>-3</sup> )		0,54	
Marcha de carbonização		500°C	550°C
Densidade aparente do carvão (g.cm <sup>-3</sup> )		0,40	0,42
Rendimentos da pirólise	RTC (%)	29,41	28,84
	RGC (%)	53,64	52,69
	RGNC (%)	16,95	18,47
AQI do carvão	MV (%)	28,41	20,09
	CF (%)	70,98	77,55
	Cinzas (%)	0,60	0,74
Poder calorífico superior do carvão (kcal.kg <sup>-1</sup> )		7296,22	7434,90

Legenda: AQI: Análise química imediata, RTC: rendimento total do carvão vegetal (%), RGC: rendimento em gás Condensável (%) e o RGNC: rendimento em gases não condensáveis (%).

A madeira de *X. aromatica* foi classificada como sendo de média densidade básica (Tabela 16), conforme (SILVEIRA *et al.*, 2013). Lorenzi, (2016) observou valor médio de 0,54 g.cm<sup>-3</sup>, o mesmo valor obtido para *X. aromatica* nesta pesquisa.

Pode-se observar que o carvão da espécie *X. aromatica* apresentou média densidade aparente para as temperaturas finais de carbonização de 500 e 550°C (Tabela 16) estão conforme Brand *et al.* (2015) que recomendaram para a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a 0,40 g.cm<sup>-3</sup>. Silva *et al.* (2015) obtiveram média para densidade aparente do carvão de 0,54 g.cm<sup>-3</sup> para híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*, valor próximo ao observado para o carvão de *X. aromatica*.

Observou-se que ocorreu um decréscimo no rendimento em carvão e em gases condensáveis com o aumento da temperatura final de carbonização, comportamento inverso foi observado para o rendimento em gases não condensáveis (Tabela 16). Silva *et al.* (2015) estudaram híbrido de *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla* obtiveram rendimento em carvão de 33,6%, rendimento em licor de 44,19% e de gases não condensáveis 28,39%, valores próximos aos observados nesta pesquisa para *X. aromática*.

Pode-se observar para os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas na marcha de carbonização de 550°C (Tabela 16), que os mesmos atenderam aos valores indicados pela Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015 (SÃO PAULO, 2015).

Os teores de matérias voláteis, carbono fixo e cinzas são inversamente proporcionais, devido a isto os mesmos não atenderam as recomendações do Resolução SAA na marcha de carbonização de 500°C (Tabela 16), pois os teores materiais voláteis e cinzas foram altos para a *X. aromatica*, corroborando com Silva *et al.* (2018) que afirmam que esses parâmetros são inversamente proporcionais. Silva *et al.* (2015) observaram valores médios para teor de materiais voláteis de 22,82%, carbono fixo de 76,85% e cinzas de 0,33% para híbrido *Eucalyptus grandis x Eucalyptus urophylla*.

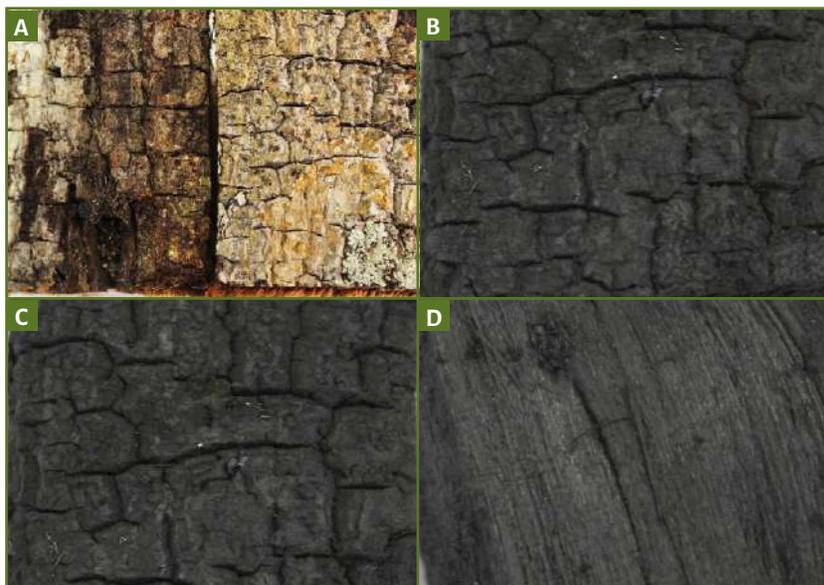
Constatou-se acréscimo do poder calorífico com o aumento da temperatura, isto ocorreu devido o teor de carbono fixo ter sido maior e o teor de materiais voláteis menor na marcha de carbonização de 550°C (Tabela 16). De acordo com Brand (2010) o poder calorífico é afetado pelos teores de carbono fixo e voláteis. Silva *et al.* (2015) observaram valores médios para poder calorífico superior a 7215 kcal. kg<sup>-1</sup>, valores próximos ao observado para *X. aromatica*. O poder calorífico apresentou valores aceitáveis nas marchas de carbonização de 550°C para *X. aromatica* (Tabela 13) de acordo com a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015).

#### DICAS DE CAMPO

Em relação ao carvão da casca de *X. aromatica* observou-se que a mesma apresentou-se com escamas irregulares, mantendo as características da casca antes da carbonização (Figura 59-B).

*continua...*

**Figura 59:** Comparação entre o ritidoma do tronco e o carvão com casca, comparação do carvão com casca com o carvão vegetal da espécie *Xylopia aromatica*. A: Ritidoma do tronco, B e C: Carvão com casca e D: Carvão vegetal.



Silva (2012) observou para o tronco de *X. aromatica* ritidoma acinzentado, trincado com escamas irregulares, respectivamente.



### 3 COMPARAÇÃO DOS ÍNDICES DE QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL DAS ESPÉCIES NATIVAS FLORESTAIS COM ESPÉCIES E CLONES DO GÊNERO *EUCALYPTUS* SSP. PLANTANDOS EM ÁREA DE CERRADO *SENSU STRICTO* NA REGIÃO DA AMAZÔNIA LEGAL

As madeiras mais utilizadas para produção de carvão vegetal são oriundas das espécies do gênero *Eucalyptus* ssp. Na região do sul do estado do Tocantins os plantios de espécies *Eucalyptus* ssp. estão sendo destinadas para produção de carvão vegetal. Marchesan *et al.*, (2020) estudaram madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* ssp. plantados em área de cerrado *sensu stricto* localizado na região de Amazônia legal e observaram que as madeiras são de baixa densidade básica (Tabela 17), ou seja, foram classificadas como sendo madeiras leves. As madeiras das espécies florestais avaliadas neste estudo foram consideradas como sendo de média a alta densidade básica da madeira. Desta forma as espécies florestais provenientes de cerrado *sensu stricto* apresentaram potencial energético para produção de carvão vegetal, tendo em vista que quanto maior for a densidade da madeira utilizada na produção de carvão, maior será o teor carbono fixo e poder calorífico.

Tabela 17: Valores médios de densidade básica da madeira do o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e para as espécies *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

Espécies	Densidade Básica da madeira (g/cm <sup>3</sup> )
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,465
<i>E. urophylla</i>	0,531
<i>E. camaldulensis</i>	0,512

Fonte: Marchesan *et al.*, (2020).

Conforme Marchesan *et al.*, (2020) a densidade aparente do carvão vegetal das madeiras do gênero *Eucalyptus* spp. não encontram-se dentro do recomendado por Brand *et al.*, (2015) que recomenda que a densidade aparente do carvão não deve ser inferior a 0,40 g/cm<sup>3</sup>. As espécies florestais provenientes do cerrado *sensu stricto* estudadas encontram-se com densidade aparente do carvão acima de 0,40 g/cm<sup>3</sup>, ou seja, dentro do recomendado pelo autor supracitado.

Tabela 18: Valores médios de densidade aparente do carvão (Da) para o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e para as espécies *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

Parâmetros	Espécies	Marchas de Carbonização	
		500°C	550°C
Densidade aparente (g/cm <sup>3</sup> )	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,305	0,297
	<i>E. urophylla</i>	0,393	0,353
	<i>E. camaldulensis</i>	0,360	0,337

Fonte: Marchesan *et al.*, (2020).

De acordo com Marchesan *et al.*, (2020) o rendimento em carvão vegetal para as madeiras das espécies do gênero *Eucalyptus* spp. apresentaram RG carvão dentro do recomendado estando acima de 30% (Tabela 19). O rendimento em licor pirolenhoso das madeiras do gênero *Eucalyptus* spp. apresentaram alto rendimento e baixos rendimentos em gases não condensáveis (Tabela 19). As madeiras de espécies florestais nativas do cerrado *sensu stricto* quando comparadas com as espécies gênero *Eucalyptus* spp. apresentaram RG carvão dentro do recomendado estando acima de 30% e o rendimento em licor pirolenhoso apresentaram alto percentual e baixos em rendimentos em gases não condensáveis.

Tabela 19: Rendimentos totais do processo de pirólise para o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e para as espécies *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

Espécies	Parâmetros	Marchas de Aquecimento	
		500 °C	550 °C
<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	RG carvão (%)	31,41	30,81
	RGC (%)	46,59	47,28
	RGNC (%)	22,00	21,92
<i>E. urophylla</i>	RG carvão (%)	34,78	35,7
	RGC (%)	41,33	43,3
	RGNC (%)	21,41	21,02
<i>E. camaldulensis</i>	RG carvão (%)	35,89	34,3
	RGC (%)	41,84	44,1
	RGNC (%)	22,16	22,07

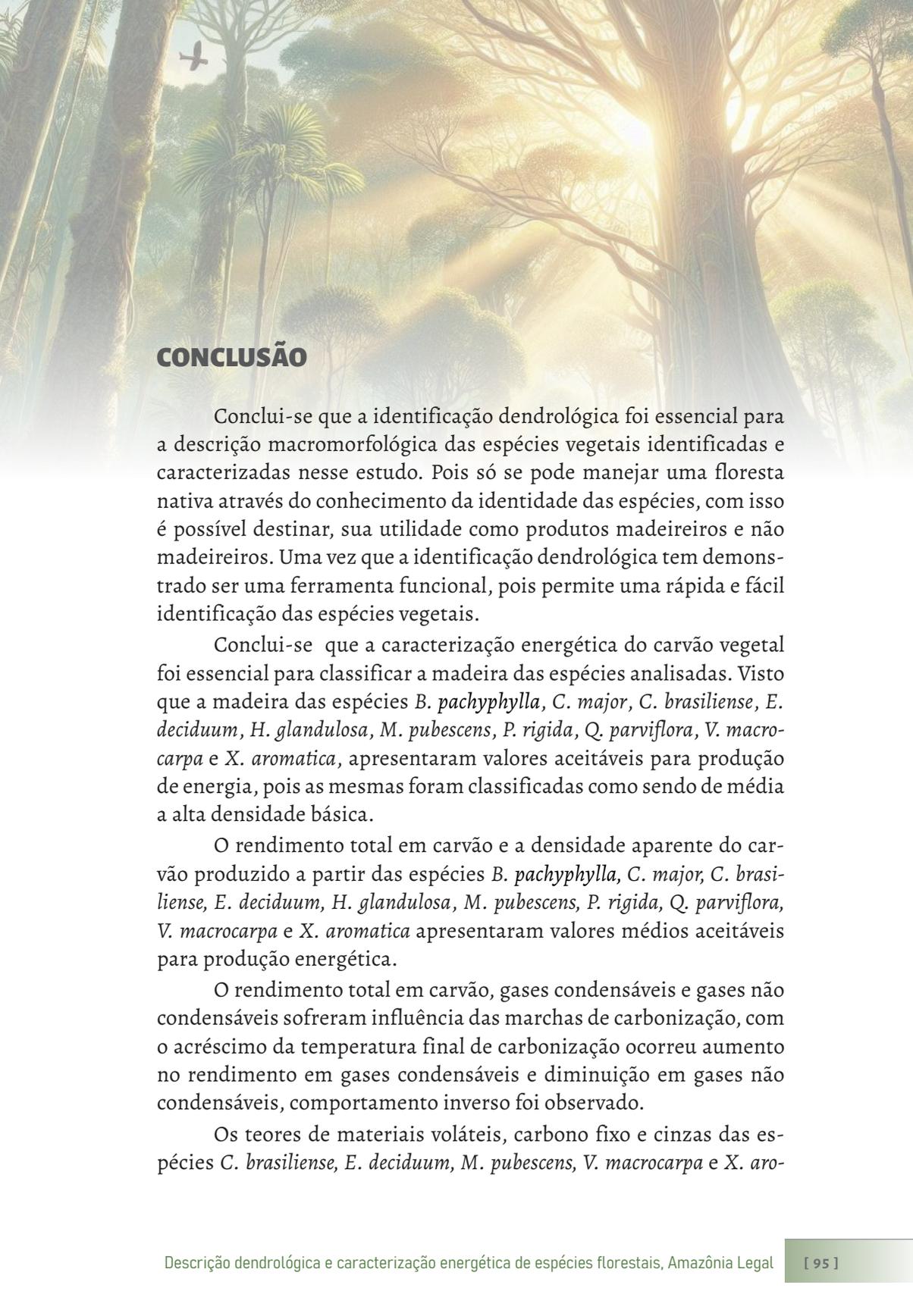
RG carvão= Rendimento Gravimétrico do carvão; RGC= Rendimento dos Gases Condensáveis; RGNC= Rendimento dos Gases não Condensáveis. Fonte: Marchesan *et al.*, (2020).

Os teores de MV e CF do carvão vegetal não encontram-se dentro do recomendado para as espécies do gênero *Eucalyptus* spp. (Tabela 20) conforme a Resolução SAA-40 de 14 dezembro de 2015 São Paulo, (2015) e de acordo com Marchesan *et al.*, (2020), os teores de cinzas foram considerados aceitáveis (Tabela 20), pois os mesmos compuseram-se em médias inferiores a 1,50%, definida pela resolução SAA-40, (2015) como ideal para um carvão de boa qualidade. O poder calorífico superior apresentou valores aceitáveis para o carvão vegetal das espécies do gênero *Eucalyptus* spp. (Tabela 20), conforme a metodologia de Vale *et al.* (2002) usando como parâmetro o valor de carbono fixo sugerido pela Resolução SAA (SÃO PAULO, 2015). As madeiras das espécies florestais avaliadas neste estudo apresentaram teores de MV, CF, Cinzas e PCS dentro do recomendado para Resolução SAA São Paulo, (2015), demonstrando o potencial energético do carvão vegetal dessas espécies.

**Tabela 20:** Valores médios de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF), Cinzas e poder calorífico superior (PCS) para o híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* e para as espécies *E. urophylla* e *E. camaldulensis*.

Parâmetros	Espécies	Marcha de carbonização	
		500°C	550°C
MV (%) do carvão	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	30,27	21,6
	<i>E. urophylla</i>	25,61	22,96
	<i>E. camaldulensis</i>	26,69	22,07
CF (%) do carvão	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	69,18	77,62
	<i>E. urophylla</i>	73,57	76,22
	<i>E. camaldulensis</i>	71,84	76,26
Cinzas (%) do carvão	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	0,55	0,79
	<i>E. urophylla</i>	0,82	0,82
	<i>E. camaldulensis</i>	1,47	1,68
PCS (kcal/kg) do carvão	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	7235,97	7516,78
	<i>E. urophylla</i>	7382,04	7470,11
	<i>E. camaldulensis</i>	7324,51	7471,47

Fonte: Marchesan *et al.*, (2020).



## CONCLUSÃO

Conclui-se que a identificação dendrológica foi essencial para a descrição macromorfológica das espécies vegetais identificadas e caracterizadas nesse estudo. Pois só se pode manejar uma floresta nativa através do conhecimento da identidade das espécies, com isso é possível destinar, sua utilidade como produtos madeireiros e não madeireiros. Uma vez que a identificação dendrológica tem demonstrado ser uma ferramenta funcional, pois permite uma rápida e fácil identificação das espécies vegetais.

Conclui-se que a caracterização energética do carvão vegetal foi essencial para classificar a madeira das espécies analisadas. Visto que a madeira das espécies *B. pachyphylla*, *C. major*, *C. brasiliense*, *E. deciduum*, *H. glandulosa*, *M. pubescens*, *P. rigida*, *Q. parviflora*, *V. macrocarpa* e *X. aromatica*, apresentaram valores aceitáveis para produção de energia, pois as mesmas foram classificadas como sendo de média a alta densidade básica.

O rendimento total em carvão e a densidade aparente do carvão produzido a partir das espécies *B. pachyphylla*, *C. major*, *C. brasiliense*, *E. deciduum*, *H. glandulosa*, *M. pubescens*, *P. rigida*, *Q. parviflora*, *V. macrocarpa* e *X. aromatica* apresentaram valores médios aceitáveis para produção energética.

O rendimento total em carvão, gases condensáveis e gases não condensáveis sofreram influência das marchas de carbonização, com o acréscimo da temperatura final de carbonização ocorreu aumento no rendimento em gases condensáveis e diminuição em gases não condensáveis, comportamento inverso foi observado.

Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas das espécies *C. brasiliense*, *E. deciduum*, *M. pubescens*, *V. macrocarpa* e *X. aro-*

*matica* apresentaram valores médios dentro do recomendado para produção de energia.

O poder calorífico das espécies *B. pachyphylla*, *C. major*, *C. brasiliense*, *C. americana*, *E. deciduum*, *M. pubescens*, *V. macrocarpa* e *X. aromatica* apresentaram valores médios aceitáveis para produção de energia.

Recomenda-se para produção de energia as espécies, *E. deciduum*, *M. pubescens*, *V. macrocarpa* e *X. aromatica* e a marcha de carbonização de 550°C, devido a mesma ter apresentado menor teor de materiais voláteis e cinzas, maior teor de carbono fixo e maior poder calorífico do carvão.

Com isso, conclui-se que a pesquisa realizada pode ser utilizada como ferramenta de auxílio por órgãos ambientais para fins de identificação de espécies nativas do Cerrado exploradas e carvão vegetal produzido ilegalmente.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1762-84**: standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia, 2007. 2 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2395**: standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials. Philadelphia, 2005. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9156**: determinação da densidade relativa aparente, relativa verdadeira e porosidade: método de ensaio. Rio de Janeiro, 1985. 8 p.

AGÊNCIA BRASIL. **Indústrias que usam carvão vegetal do Cerrado terão até 2013 para comprar o produto de áreas reflorestadas**. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/z13670.htm>. Acesso em: 25 jan. 2020.

AMARAL, D. D.; COSTA, S. V. N.; JARDIM, M. A. G.; SANTOS, J. U. M.; BASTOS, M. D. N. C. Curatella americana L. (Dilleniaceae): Primeira ocorrência nas restingas do litoral da Amazônia. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 14, n. 4, 2016.

ARAÚJO, A. C. C.; COSTA, L. J.; CARVALHO, B. P. P.; NETO, R. M. G.; ROCHA, M. F. V.; TRUGILHO, P. F. Propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de *Cenostigma macrophyllum*: subsídios ao uso sustentável. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

ARANTES, M. D. C.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; ANDRADE C. R. Características do carvão vegetal de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x 423 *Eucalyptus urophylla* S.T. BLAKE. **Cerne**, Lavras, MG. v. 19, n. 3, p. 423-431, jul./set. 2013.

AZEVEDO, F. P.; FRANÇA, F.; JUNQUEIRA, M. E. R. Estudos taxonômicos da família Vochysiaceae A. St.-Hil. no Município de Caetité, Bahia, Brasil. **IHERINGIA, Sér. Bot**, v. 70, n. 1, p. 25-38, 2015.

ASSIS, M. R.; PROTÁSIO, P.T., ASSIS, C. O.; TRUGILHO, P. F.; SANTANA, W. M. S. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 291, 2012.

BASTOS, L. A.; FERREIRA, I. M. Composições fitofisionômicas do bioma Cerrado. **Espaço em Revista**. v. 12, p. 97-108, 2010.

BORGES, J. C. A. Características Botânicas, Aspectos Nutricionais e Efeitos Terapêuticos do Pequi (*Caryocar brasiliense*). Revisão de Literatura. **Goiânia: Universidade Federal de Goiás**, 2011.

BRAND, M. A.; RODRIGUES, A. A.; OLIVEIRA, A. D.; MACHADO, M. S.; ZEN, L. R. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico comercializado na região serrana sul de Santa Catarina. **Revista Árvore**, v. 39, n. 6, p. 1165-1173, 2015.

BRAND, M. A.; CUNHA, A., CARVALHO, A.; BREHMER, D. R.; KÜSTER, L. C. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifol*

*lia* (De Candolle) Naudin (Jacatirãõ-açu) na agricultura familiar. Biguaçu, Santa Catarina. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.

BRAND, M. A. Energia de Biomassa Florestal. **Ed. Interciência**. Rio de Janeiro, 2010.

CÂNDIDO, J. B.; VIANA, R. H. O.; MORAIS, I. G.; AMORIM, M. V. D. M.; SOUZA, P. B. Chave de identificação dendrológica das espécies mais comuns de uma área de Cerrado sensu stricto, Gurupi, Tocantins. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 1, p. 347-362, 2019.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas. v. 3. 2008.

CARDOSO, D. B. O. S. **Vatairea in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://www.floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/florado-brasil/FB29902>. Acesso em: 26 jan. 2020.

CASTRO, J. P.; PERÍGOLO, D. M.; BIANCHI, M. L.; MORI, F. A.; SOUZA, A. F.; ALVES, I. C. N.; VASCONCELLOS, F. J. Uso de espécies amazônicas para envelhecimento de bebidas destiladas: análises física e química da madeira. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 319-327, 2015.

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

CHAVES, E. **Composição florística e descrição morfológica das espécies herbáceo-arbustivas de uma mata de galeria em Alto Paraíso, Goiás, Brasil**. Dissertação de Mestrado - Botânica, Universidade de Brasília, Brasília: 2006.

ELYOUNSSI, K.; BLIN, J.; HALIM, M. High-yield charcoal production by two-step pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, **Amsterdam**, v. 87, n. 1, p. 138-143, Nov. 2010.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético 2018**. Rio de Janeiro. 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>. Acesso em: 25 jan. 2020.

FERREIRA, R. Q. S.; CAMARGO, M. O.; TEIXEIRA, P. R.; DE SOUZA, P. B.; DE SOUZA, D. J. Diversidade florística do estrato arbustivo arbóreo de três áreas de cerrado sensu stricto, Tocantins. **DESAFIOS**, v. 4, n. 2, p. 69-82, 2017.

FIDALGO, O.; BONONI, Vera L R. **Técnicas de coleta, preservação e herborização do material botânico**. Instituto de Botânica. São Paulo, 1984. 61p. (manual 4).

FRANÇA, F. Vochysiaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB15288>. Acesso em: 26 jan. 2020.

GAMA, R.C.; APARÍCIO, W.C.S.; ESTIGARRIBIA, F.; GALVÃO, F.G.; FIGUEIREDO, K.C.E.S.; PEREIRA, L.C.B. Morfologia da *Curatella americana* L. na Universidade Federal do Amapá. Universidade Católica de Pernambuco - Recife - PE - Brasil - **Anais de eventos**. 11 a 14 de nov. 2013.

- GONÇALVES, D. J. P.; SHIMIZU, G. H.; YAMAMOTO, K.; SEMIR, J. Vochysiaceae na região do Planalto de Diamantina, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 68, n. 1, 2017.
- GOUVÊA, A. F. G.; TRUGILHO, P. F.; OLÍMPIA, A. C.; ASSIS, M. R.; COLODETTE, J. L.; GOMES, C. M. Avaliação do efeito da relação siringila/guaiacila da lignina de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 2, 2015.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Documento de Origem Florestal (DOF)**. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br/cadastros/dof>> Acesso em: 03 jan. 2019.
- IPNI - THE INTERNATIONAL PLANT NAMES INDEX. **Search the Data: Plant Names**. Disponível em: <http://www.ipni.org/ipni/plantnamesearchpage.do>. Acesso em: 03 jan. 2020.
- JATI, S. R.; FEARNside, P. M.; BARBOSA, R. I. **Densidade da madeira de árvores em savanas do norte da Amazônia brasileira**. 2014.
- JESUS, M. S. D.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 47, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 2017.
- LOIOLA, M. I. B.; LIMA, J. L. C. *Erythroxylaceae*. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB7698>. Acesso em: 18 jan. 2020.
- LUZ, C. L. S.; MITCHELL, J. D.; PIRANI, J. R.; PELL, S. K.; PELL, S. K.; PELL, S. K.; PELL, S. K.; PELL, S. K. **Anacardiaceae in Flora do Brasil 2020 em construção**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB4380>. Acesso em: 25 jan. 2020.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2 ed. 384 p. 2016.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum. 334 p. 2002.
- MARCHESAN, R.; MENDONÇA, D.; DIAS, A. C. C.; SILVA, R. C.; PEREIRA, J. F.; ALMEIDA, V. C. Quality of *Eucalyptus urograndis* charcoal produced in the southern region of Tocantins. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 49, n. 4, p. 691-700, 2019.
- MARCHESAN, R.; OLIVEIRA, D. N.; SILVA, R. C.; CARVALHO, L. A.; GOMES, R. T.; ALMEIDA, V. C. Quality of charcoal from three species of the *Eucalyptus* AND THE *Corymbia citriodora* species planted in the south of Tocantins. **Revista Floresta**, Curitiba, PR, v. 50, n. 3, p. 1643-1652, 2020.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMAN, M. 2005. Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. **Conservation International, Washington**. Cemex, 2004.
- MAMEDE, M. C. H.; FRANCENER, A. *Byrsonima*. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://reflora.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB19425>. Acesso em: 26 jan. 2020.

- MARTINELLI, G.; PIRANI, J. R.; ZAPPI, D. C.; CARVALHO, A. A.; SOUZA, S. D.; QUEIROZ, L. P.; MENEZES, M. New Brazilian Floristic List Highlights Conservation Challenges. **BioScience**, Oxford, v. 62, p. 39-45, 2012.
- MARINHO, J. F.; MACHADO, R. B.; HENRIQUES, R. P. B. Evolução do conhecimento e da conservação do Cerrado brasileiro. In: **Cerrado - conhecimento científico quantitativo como subsídio para ações de conservação**. Brasília: Thesauru. p. 13-31, 2010.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado 2013**. Brasília: MMA. 42-47 p. ISBN 978-85-7738-255-2, 2015.
- MORI, S. A.; SILVA, L. A. M.; LISBOA, G.; CORADIN, L. **Manual de manejo de Herbário fanerogâmico**. 3. ed. Ilhéus: Ceplac, 1989.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, fev. 2000.
- NATURATINS- Instituto Natureza do Tocantins. **Lista de espécies da flora a serem protegidas no estado do Tocantins**. Palmas-TO. 2021. Disponível em: <<https://central.to.gov.br/download/42799>> Acesso em: 02 de setembro de 2022.
- NEVES, T. A.; PROTÁSIO, 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**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 319 - 330, 2011.
- NETO, P. N. D. M.; OLIVEIRA, E. D.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão vegetal de duas espécies da caatinga. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 484-493, 2014.
- NONES, D. L.; BRAND, M. A.; CUNHA, A. B. D.; CARVALHO, A. F. D.; WEISE, S. M. K. Determinação das propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal produzido a partir de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**. Curitiba, PR. v. 45, n. 1, p. 57-64, jan./mar. 2015.
- OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros da qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.
- OLIVEIRA, G. M. V.; MELLO, J. M.; TRUGILHO, P. F.; SCOLFORO, J. R. S.; ALTOÉ, T. F.; SILVA-NETO, A. J.; OLIVEIRA, A. D. Efeito do ambiente sobre a densidade da madeira em diferentes fitofisionomias do estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 18, p. 345-352, 2012
- PROTÁSIO, P.; T., COUTO, A. M.; REIS, A. A.; TRUGILHO, P. F.; GODINHO, T. P. Potencial siderúrgico e energético do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. aos 42 meses de idade. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 33, n. 74, p. 137-149, 2013.
- PROTÁSIO, P. T.; SANTANA, J. D. D. P.; NETO, R. M. G.; JÚNIOR, J. B. G.; TRUGILHO, P. F.; RIBEIRO, I. B. Avaliação da qualidade do carvão vegetal de *Qualea parviflora*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 295-307, 2011.
- REIS, A. A.; PROTÁSIO, P.; T., MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. D. C. O. Composição da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 71, p. 277-290, 2012.

- RIBEIRO, J.F. & WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In Cerrado: ecologia e flora (S.M. Sano, S.P. Almeida & J.F. Ribeiro, eds.). **Embrapa Cerrados**, Planaltina. p.151 -212. 2008.
- RODRIGUES, V. H. P.; LOPES, S. D. F.; ARAÚJO, G. M. D.; SCHIAVINI, I. Composição, estrutura e aspectos ecológicos da floresta ciliar do rio Araguari no Triângulo Mineiro. **Hoehnea**, v. 37, n. 1, p. 87-105, 2010.
- ROSA, R. A.; ARANTES, M. D. C.; PAES, J. B.; ANDRADE, W. S. DE P.; MOULIN, J. C. Qualidade do carvão vegetal para o consumo doméstico. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**. Tocantins, v. 3, n. 2, p. 41-48, 2012.
- SÃO PAULO (Estado). **Resolução SAA-40 de 14 de dezembro de 2015**. Norma de Padrões Mínimos de Qualidade para Carvão Vegetal. São Paulo, 2015.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. Mapeamento de cobertura vegetal do bioma Cerrado: estratégias e resultados. **Embrapa Cerrado**. Planaltina DF. 2007.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. D. C. O.; VITAL, B. R.; CASTRO, R. V. O.; VIDAURRE, G. B.; TRUGILHO, P. F.; CASTRO, A. F. N. M. Influência das propriedades químicas e da relação siringil/guaiacil da madeira de eucalipto na produção de carvão vegetal. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 2, p. 657-669, 2016.
- SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; *et al.* Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Florestalis**, v. 39, 2011.
- SILVA, R. C.; 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**, 2018. v. 38. p. 1-10, dez. 2018.
- SILVA, C. J.; KARSBURG, I. V.; DIAS, P. C.; ARRUDA, T. P. Pyrolygneous liquor effect on in and ex vitro production of *Oeceoclades maculata* (Lindl). Lindl. 1. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 4, p. 947-954, 2017.
- SILVA, D. A.; MULLER, B. V.; 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, C. J. **Densidade básica e potencial energético de espécies lenhosas do Cerrado do estado de Tocantins**. 66 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 43, n. 2, p.179- 184, 2013.
- SILVA, M. C. C. J. **100 árvores do Cerrado sentido restrito**: Guia de campo. Ed. Sementes do Cerrado, Brasília. 304 p. 2012.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; HÖFLER, J.; PEREIRA, A. J. Análise das propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto em três idades. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 191-197, 2015.

SOARES, V. C.; BIANCHI, M. L.; TRUGILHO, P. F.; JÚNIOR PEREIRA, A.; HÖFLER, J. Correlações entre as propriedades da madeira e do carvão vegetal de híbridos de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 3, p. 543-549, 2014.

SOMNER, G.V.; FERRUCCI, M.S.; RODRÍGUEZ, A. P. **Magonia in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB20906>. Acesso: 18 jan. 2020.

SOTHERS, C.; ALVES, F.M.; PRANCE, G.T. **Chrysobalanaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB16788>. Acesso em: 26 jan. 2020.

SCARANO, Fabio Rubio. Biomas brasileiros: retrato de um país plural. **Casa da Palavra**. p. 56-91, 2012.

TAYLOR, C. **Palicourea in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. 2015. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/floradobrasil/FB20795>. Acesso em: 26 jan. 2020.

TEIXEIRA, C. **Chave de identificação baseada em caracteres vegetativos para a arborização urbana de Foz do Iguaçu-PR. 2015**. Monografia (Especialista em Gestão Ambiental em Municípios) – Pós-Graduação em Gestão Ambiental em Municípios, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná, 2015.

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

URBANETZ, C.; TAMASHIRO, J. Y.; KINOSHITA, L. S. Chave de identificação de espécies lenhosas de um trecho de Floresta Ombrófila Densa Atlântica, no Sudeste do Brasil, baseada em caracteres vegetativos. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 349-398, 2010.

VALE, A. T. D.; DIAS, Í. S.; SANTANA, M. A. E. Relação entre as propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.

VALE, A. T.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; NOGUEIRA, M. Relações entre a densidade básica da madeira, o rendimento e a qualidade do carvão vegetal de espécies do cerrado. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 25, n. 89, p. 89-95, 2001.

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*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, set. 2013.

VITAL, B. R., CARNEIRO, A. C., CRUZ, F. M., RIBEIRO, K. V. G., LOURES, N. G., NACIF, A. P. Manual de identificação do carvão vegetal. **Editores UFV- Universidade Federal de Viçosa**. 163p. 2014.



ISBN 978-65-5390-049-3



9 786553 900493