

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RAMIRO FARIA FRANÇA

**ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA E DO CARVÃO DE ESPÉCIES DA  
CAATINGA**

CURITIBA  
2015

RAMIRO FARIA FRANÇA

**ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA E DO CARVÃO DE ESPÉCIES DA  
CAATINGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Florestal. Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Profa. Dra. Graciela Inéz Bolzon de Muñiz

Coorientadora: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

CURITIBA  
2015

Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR  
Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR

França, Ramiro Faria

Estrutura anatômica da madeira e do carvão de espécies da caatinga /  
Ramiro Faria França. – 2015  
100 f. : il.

Orientador: Profa. Dra. Graciela Inéz Bolzon de Muñiz

Coorientadores: Profa. Dra. Silvana Nisgoski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências  
Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa:  
Curitiba, 09/02/2015.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais

1. Madeira - Caatinga. 2. Biomassa vegetal. 3. Carvão vegetal - Caatinga. 4.  
Madeira - Anatomia. 5. Teses. I. Muñiz, Graciela Inéz Bolzon de. II. Nisgoski,  
Silvana. III. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. IV.  
Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.81



Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

## ATA SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO


Defesa nº. 1077

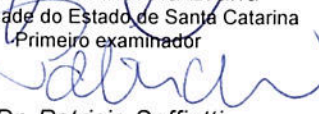
Ata da Sessão Pública, de exame de dissertação para obtenção do grau de **mestre** em Engenharia Florestal, área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**

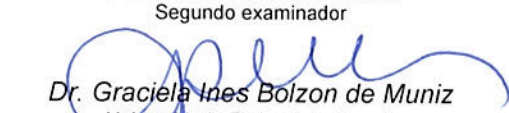
Ao(s) nove dia(s) do mês de fevereiro de , às quatorze horas, nas dependências do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, reuniu-se a banca examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, composta pelo Dr. Martha Andreia Brand, primeiro examinador, pelo Dr. Patricia Soffiatti, segundo examinador, e pelo Dr. Graciela Ines Bolzon de Muniz, orientador e presidente da banca examinadora, com a finalidade de julgar a dissertação do(a) candidato(a) Ramiro Faria França, intitulada "**ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA E DO CARVÃO DE ESPÉCIES DA CAATINGA**", para obtenção do grau de mestre em Engenharia Florestal. O desenvolvimento dos trabalhos seguiu o roteiro de sessão de defesa estabelecido pela coordenação do curso, com abertura, condução e encerramento da sessão solene de defesa feitos pelo orientador Dr. Graciela Ines Bolzon de Muniz. Após haver analisado o referido trabalho e argüido o(a) candidato(a), os membros da banca examinadora deliberaram pela "**APROVAÇÃO**" do(a) acadêmico(a), habilitando-o ao título de Mestre em Engenharia Florestal, na área de concentração em **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**. Curitiba, **09 de fevereiro de 2015**, desde que apresente a versão definitiva da dissertação conforme regimento interno do programa.

  
Reinaldo Mendes de Souza  
Secretário do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal



  
Dr. Martha Andreia Brand  
Universidade do Estado de Santa Catarina  
Primeiro examinador

  
Dr. Patricia Soffiatti  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

  
Dr. Graciela Ines Bolzon de Muniz  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora

  
Antonio Carlos Batista  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

*Dedico esse trabalho a todos os professores, estudantes e demais pesquisadores, engenheiros e biólogos que tem a madeira como base de seus trabalhos, um material fantástico, que nos proporciona novas experiências a cada nova espécie e a cada novo teste realizado.*

## **AGRADECIMENTOS**

Às orientadoras, Professora Dra. Graciela Inéz Bolzon de Muñiz e Professora Dra. Silvana Nisgoski, pelo total apoio, acompanhamento e valiosas sugestões para que este trabalho chegasse nesta forma ao final desta da jornada.

À Universidade Federal do Paraná, pela estrutura disponibilizada para realização deste projeto e de seus servidores, os secretários da Pós Graduação em Engenharia Florestal, Reinaldo e David.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela concessão de bolsa e aporte de recursos financeiros.

Aos amigos do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira, André Simon, Letícia Soler, Rayra Borzi, Richard Molleken e Rodrigo Moraes pelo auxílio na aquisição dos dados e realização dos ensaios.

Aos companheiros de laboratório e Pós Graduação: A doutoranda Thaís Alves Pereira Gonçalves, especialista em anatomia do carvão vegetal que muito contribuiu e incentivou na realização deste projeto, doutorando Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori, pela ajuda nas adaptações das normas e no entendimento dos resultados, mestrando Felipe Zatt Schardosin, colega desde o início da graduação, pelos muitos momentos de discussão acerca deste e de muitos outros assuntos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMPRAPA Florestas, na figura dos pesquisadores: Dr. Washington Luis Magalhães Esteves e Dr. Edson Alves de Lima.

Ao Professor Dr. Luiz Carlos Marangon da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE pela coleta e envio das amostras para este estudo.

Aos demais docentes e discentes do Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, que de alguma forma contribuíram para este trabalho, especialmente aos da linha de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

A minha família, base de todo o meu esforço no prosseguimento dos estudos e sempre incentivadores, em todos esses anos de ausência, a continuidade neste caminho escolhido. Também a minha companheira, Tatiane, pela paciência, principalmente nos meses de concretização desta dissertação.

Ao Pai Celestial.

Muito Obrigado...

## BIOGRAFIA

Ramiro Faria França é natural da cidade de Avaré, interior do estado de São Paulo. Ingressou na Universidade Federal do Paraná – UFPR no ano de 2008 como aluno do curso de Engenharia Industrial Madeireira, realizou estágios no Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (Laboratório de Madeira e Produtos Derivados) e no Instituto Ambiental do Paraná (Departamento de Fiscalização e Licenciamento), concluindo o curso no início do ano de 2013 com trabalho de conclusão intitulado: “A extração de madeira nativa no estado do Paraná – O caso da *Araucaria angustifolia* (BERT.) O. KUNTZE”. Participa das atividades do Laboratório de Anatomia e Qualidade da Madeira (LANAQM) da UFPR desde 2009, atuando em projetos de identificação anatômica de madeiras e carvões vegetais com orientação das professoras, Dra. Graciela Inez Bolzon de Muniz e Dra. Silvana Nisgoski. Em 2013 ingressou no Programa de Pós Graduação (mestrado) em Engenharia Florestal da mesma instituição, seguindo a linha de pesquisa de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

## RESUMO

O objetivo deste trabalho é fornecer informações acerca da madeira e do carvão vegetal de seis espécies da Caatinga, avaliando o potencial destas para geração de energia e, com a descrição anatômica, viabilizar uma ferramenta para a identificação e fiscalização destas espécies no comércio de madeiras nativas do nordeste brasileiro. As espécies pesquisadas foram: *Luetzelburgia auriculata*, *Mimosa tenuiflora* e *Poincianella bracteosa* (Fabaceae); *Combretum leprosum* (Combretaceae); *Croton argyrophyloides* e *Jatropha mutabilis* (Euphorbiaceae), todas provenientes de uma região no interior do estado da Paraíba. As amostras foram divididas, parte para análise da madeira e parte para carbonização. Foram realizados os estudos anatômicos das madeiras e dos carvões, bem como a avaliação das propriedades físicas e químicas das espécies. A análise do carvão demonstrou que é possível realizar a identificação das espécies mesmo após o regime de carbonização: a anatomia da madeira se conserva com alterações quantitativas no carvão vegetal. O valor médio do poder calorífico superior encontrado foi de 4475 kcal/kg em madeiras, geralmente com altos teores de cinzas e de 6760 kcal/kg em carvões vegetais. Algumas espécies apresentaram resultados satisfatórios do ponto de vista de geração de energia e recomenda-se a continuação de pesquisas nesta linha com outras espécies da Caatinga.

Palavras – chave: Anatomia do lenho, energia da biomassa, madeiras nativas, carbonização.

## ABSTRACT

The objective of this study is to provide information about wood and charcoal of six species from Caatinga, evaluating the potential of these for power generation and, with the aid anatomical description, develop a tool for the identification and supervising these species in native wood trade in Northeastern of Brazil. The studied species were *Luetzelburgia auriculata*, *Mimosa tenuiflora* and *Poincianella bracteosa* (Fabaceae); *Combretum leprosum* (Combretaceae); *Croton argyrophylloides* and *Jatropha mutabilis* (Euphorbiaceae), all from a region in the state of Paraiba, Brazil. The samples were divided for the wood analysis and carbonization process. The anatomical studies of woods, charcoals and the evaluation of the physical and chemical properties of the species were made. The analysis of charcoal has shown that it is possible to identify species even after the carbonization regime, as wood anatomy is conserved with quantitative changes in charcoal. The average of the gross calorific value was 4475 kcal/kg for the wood, usually with high ash content and 6760 kcal/kg for charcoals. Some species showed satisfactory results of power generation and is recommended the continuous with other species of the Caatinga.

Keys – words: Wood anatomy, biomass energy, native woods, carbonization.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – MAPA DA CAATINGA.....	17
FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DAS ESPÉCIES.....	34
FIGURA 3 – ECORREGIÕES PARA O BIOMA CAATINGA.....	35
FIGURA 4 – REGIME DE CARBONIZAÇÃO ADOTADO. ....	37
FIGURA 5 – CILINDRO ROTATIVO UTILIZADO NO TESTE DE TAMBORAMENTO. .....	40
FIGURA 6 – SECÇÕES DE <i>Luetzelburgia auriculata</i> . ....	41
FIGURA 7 – SECÇÕES DE <i>Mimosa tenuiflora</i> . ....	42
FIGURA 8 – SECÇÕES DE <i>Poincianella bracteosa</i> . ....	43
FIGURA 9 – SECÇÕES DE <i>Combretum leprosum</i> .....	44
FIGURA 10 – SECÇÕES DE <i>Croton argyrophyloides</i> .....	46
FIGURA 11 – SECÇÕES DE <i>Jatropha mutabilis</i> .....	47
FIGURA 12 – SECÇÕES TRANSVERSAIS (MADEIRA) .....	48
FIGURA 13 – FOTOMICROGRAFIA DE CORTES RADIAIS.....	51
FIGURA 14 – ARRANJO RADIAL DOS VASOS.....	52
FIGURA 15 – RAIOS UNISSERIADOS. SECÇÕES TANGENCIAIS .....	54
FIGURA 16 – FOTOMICROGRAFIA DE CORTES RADIAIS DE <i>Combretum leprosum</i> . ....	55
FIGURA 17 – SECÇÕES TRANSVERSAIS (MADEIRA E CARVÃO).....	59

FIGURA 18 – SECÇÕES TRANSVERSAIS (MADEIRA E CARVÃO).....	60
FIGURA 19 – POROSIDADE EM ANÉIS POROSOS (CARVÃO) .....	63
FIGURA 20 – RACHADURAS PRESENTES NO CARVÃO VEGETAL.. .....	65
FIGURA 21 – VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR E DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS SEIS ESPÉCIES DA CAATINGA. .....	71

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ANÁLISES E NORMATIZAÇÃO.....	38
TABELA 2 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DE VASOS. ....	49
TABELA 3 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DOS RAIOS. ....	53
TABELA 4 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVA DE FIBRAS .....	56
TABELA 5 – ALTERAÇÕES QUANTITATIVAS NA ANATOMIA DO CARVÃO VEGETAL. ....	61
TABELA 6 – VALORES DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA MADEIRA. ....	66
TABELA 7 – RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS PARA AS SEIS MADEIRAS DA CAATINGA. ....	72
TABELA 8 – VALORES DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO CARVÃO. ....	73

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	16
2.1. BIOMA CAATINGA .....	16
2.2. CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO.....	24
2.3. MADEIRA PARA ENERGIA.....	29
2.4. ESPÉCIES ESTUDADAS .....	31
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	34
3.1. CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DE COLETA.....	34
3.2. MATERIAL .....	36
3.3. MÉTODOS .....	36
3.3.1. Carbonização .....	36
3.3.2. Caracterização anatômica.....	37
3.3.3. Caracterização físico-química .....	38
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	41
4.1. DESCRIÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA.....	41
4.2. ANÁLISE DA ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA .....	48
4.2.1. Chave dicotômica para identificação das espécies da Caatinga.....	56
4.3. ANÁLISE ANATÔMICA DO CARVÃO VEGETAL .....	59
4.4. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA.....	66
4.4.1. Madeira.....	66
4.4.2. Carvão Vegetal.....	73
<b>5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS</b> .....	76
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	78
<b>APÊNDICES</b> .....	95

## 1 INTRODUÇÃO

A madeira se destaca como material para geração de energia, sempre aliada ao fogo vem sendo utilizada desde tempo remotos, como combustível. Através dos séculos, com os avanços tecnológicos, passou a ser transformada e o carvão vegetal foi obtido como uma otimização do processo de geração de calor por materiais lenhosos, destacando-se dentro da oferta de energia mundial. No Brasil, em 2013, a participação na oferta interna de energia de lenha e carvão aproximou-se dos 10% do total.

O Brasil possui histórico de uso descontrolado de seus bens naturais, desde o período colonial, citando, por exemplo, a madeira nobre, cujo nome refere-se ao nosso país, o Pau Brasil. Mesmo com a evolução das legislações ambientais o problema ainda persiste. O caso não é somente de coibir o uso de madeiras nativas, mas sim, de conhecer ainda mais nossos produtos florestais e incentivar o manejo sustentável das florestas nativas, fazendo do país, um bom exemplo no que se refere à correta utilização recursos.

Ao longo dos anos, com novas alternativas para geração de energia, combustíveis fósseis e o aumento da industrialização, a madeira ainda tem importante participação no total da oferta de energia para o país. Embora modificada pelo avanço tecnológico, a produção de carvão vegetal ainda guarda características rudimentares, levando a grandes desmatamentos em diferentes biomas brasileiros, inclusive a Caatinga.

Mesmo com a existência de plantios voltados para geração de energia, a demanda não é totalmente atendida por essas áreas e as florestas nativas continuam como opção. A produção de carvão vegetal quase sempre está aliada as

más condições de trabalho impostas aos colaboradores e ao uso indiscriminado de madeira ilegal.

Quanto à qualidade deste importante insumo energético, grande parte dos estudos ocorre em níveis laboratoriais e com espécies exóticas, especialmente as do gênero *Eucalyptus*. Trabalhos de vários autores já demonstraram a influência das características da madeira e dos parâmetros de controle da carbonização para obtenção de um carvão vegetal adequado à utilização doméstica ou siderurgia.

Este trabalho teve o intuito de caracterizar a madeira e o carvão vegetal de seis espécies da Caatinga, o único bioma exclusivamente brasileiro, indicando espécies com bom potencial para geração de energia e descrevendo a estrutura anatômica destas madeiras como ferramenta de auxílio no controle do comércio de madeiras nativas.

Como objetivos específicos, pretende-se:

- Descrever as estruturas, o arranjo anatômico da madeira e do carvão das espécies de forma qualitativa e quantitativa e avaliar as variações;
- Determinar valores de propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira e do carvão e verificar o padrão de comportamento;

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. BIOMA CAATINGA

A Caatinga destaca-se entre os biomas presentes no país (Figura 1) por ser dentre eles o único que ocorre exclusivamente dentro do território brasileiro, para Kiill *et al* (2009) grande parte do patrimônio biológico desse ecossistema não é encontrado em nenhum outro lugar do mundo. Compreendida entre os paralelos de 2° 54'S a 17° 21'S (ANDRADE *et al*, 2005), situa-se toda entre a Linha do Equador e o Trópico de Capricórnio (SAMPAIO, 2010), maior que os países de Espanha e Portugal juntos (FRANCA-ROCHA *et al*, 2007) ocupa uma área de aproximadamente 844 mil km<sup>2</sup> na Região Nordeste (Figura 1), estando presente nos estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte e Piauí (MMA, 2014) e na parte nordestina de Minas Gerais, no vale do Jequitinhonha (LEAL *et al*, 2005). Atualmente, ainda quase 40% da área original é recoberta de vegetação nativa (SILVA e SAMPAIO, 2008).

A ocupação da Caatinga corresponde a 54% da Região Nordeste e 11% do território brasileiro (SILVA, 2006; ANDRADE *et al*, 2005; ALVES, *et al*, 2009), limitada a leste e oeste pelas florestas Atlântica e Amazônica, respectivamente, e ao sul pelo Cerrado (LEAL *et al*, 2005). Apresenta chuvas concentradas em um único período com duração que varia de 3 a 5 meses. (DRUMOND *et al*, 2000). Frequentemente é submetida a dois períodos secos anuais, com um longo déficit hídrico seguido de chuvas intermitentes, e outro com seca curta seguido de chuvas torrenciais que podem faltar durante anos (ALVES, 1997). As temperaturas são altas e pouco variáveis, espacial e temporalmente, com médias anuais entre 25°C e 30°C,

entre os meses mais frios e quentes a diferença média é de poucos graus (SAMPAIO, 2010).



FIGURA 1 – MAPA DA CAATINGA.  
FONTE: WORLD WIDE FUND FOR NATURE (2014).

Caatinga, expressão do Tupi cujo significado é “vegetação branca” ou “floresta branca” (MAIA, 2012), é um termo genérico empregado para designar um complexo de vegetação decídua e xerófila, constituída de vegetais lenhosos, cactáceas e bromeliáceas. As famílias mais frequentes são Fabaceae (ex Leguminosae) com os gêneros *Acacia*, *Caesalpinia*, *Mimosa*, *Senna*; Apocynaceae; Cactaceae e Euphorbiaceae, com grande diversidade dos gêneros *Croton*, *Cnidoscolus* e *Jatropha* (DRUMOND *et al*, 2000; ANDRADE *et al*, 2005; QUEIROZ, 2006).

A vegetação no Nordeste é influenciada pelo gradiente climático, do litoral em direção ao interior do continente ela perde em altura e ganha em espécies decíduas e sua fisionomia toma contornos de floresta seca (SILVA *et al*, 2012). Para Amorim

(2009) essa vegetação é também caracterizada por um conjunto de adaptações a deficiência hídrica, a rápida renovação das copas no início da época de chuvas e a perda das folhas durante parte da estação seca são algumas das características mais marcantes.

Segundo Giuliatti *et al* (2004) a Caatinga é o bioma mais desvalorizado e mal conhecido botanicamente, isso porque tem sido sempre colocada em segundo plano quando se refere a políticas para o estudo e a conservação da biodiversidade do Brasil (SILVA *et al*, 2004), embora sempre tenha sido um dos mais ameaçados devido aos anos de uso inadequado e insustentável dos solos e recursos naturais (VELOSSO *et al*, 2002). Acreditava-se que a Caatinga seria o resultado da degradação de formações vegetais mais exuberantes, como a Mata Atlântica ou a Floresta Amazônica. Esse pensamento sempre produziu à falsa ideia de que o bioma seria homogêneo, com biota pobre em espécies e em endemismos, estando pouco alterada ou ameaçada, desde o início da colonização do Brasil (ALVES, 2007).

Para Silva *et al* (2012) dois grandes problemas fundamentais ocorrem no semiárido brasileiro, onde a Caatinga é predominante. O primeiro é a escassez e irregularidade da disponibilidade de água, a desertificação resultante de fatores climáticos (COSTA *et al*, 2009), o segundo é a excessiva pressão sobre os recursos naturais, principalmente a cobertura vegetal.

Na Região Nordeste existe limitações para aplicação da vegetação presente para fins industriais devido às ramificações, fustes tortuosos e retorcidos e com isso a utilização é restrita para estacas, lenha e carvão (OLIVEIRA *et al*, 2006). Basicamente, a exploração da vegetação da Caatinga visa à produção de energia, principalmente na forma de lenha, seja como finalidade principal, seja como produto

da abertura de áreas para agricultura itinerante (SILVA e SAMPAIO, 2008) ou para produção de carvão vegetal (ARAÚJO *et al*, 2004). Segundo Sampaio (2010) a produção de lenha, com cortes repetidos em ciclos muito curtos, em algumas áreas mais críticas, como próximas de centros consumidores, está reduzindo a diversidade florística. Na época de seca, a população rural, tem na vegetação a única fonte de sobrevivência, utilizando-a para fabricação de carvão, lenha, estacas e mourões (XAVIER *et al*, 2005).

O semiárido brasileiro é considerado a região árida mais habitada do mundo, com cerca de 20 milhões de habitantes, tendo a menor expectativa de vida, menor renda *per capita* e maior índice de analfabetismo do Brasil. O “sertanejo”, habitante rural da Caatinga, desenvolveu uma estrutura sociocultural peculiar e tem forte relação com o uso dos recursos naturais disponíveis (DRUMOND *et al*, 2008; GIULETTI *et al*, 2006).

No Nordeste, o setor florestal gera cerca de 170 mil empregos diretos e 500 mil indiretos, sendo que 35% do seu parque industrial têm a lenha como fonte de energia primária, além de atender a 70% da demanda energética dos domicílios da região (ALVES JUNIOR *et al*, 2013). A lenha obtida da Caatinga tende a representar uma considerável fonte de renda e emprego, particularmente para os pequenos produtores. A exploração desses recursos se dá de três maneiras: o desmatamento legal, que prevê o uso alternativo do solo para abertura de áreas para agropecuária, o manejo florestal autorizado pelos órgãos competentes e o desmatamento ilegal (GOMES *et al*, 2013; PAREYN, 2010).

A localização da Caatinga, próximo a dois grandes pólos guseiros, um no Maranhão e Pará, conhecido como Pólo de Carajás, e outro em Minas Gerais na região sudeste (UHLIG *et al*, 2008), e a outras indústrias que utilizam carvão vegetal

em grande quantidade favorece o consumo deste material. Na maioria das vezes o carvão é de origem ilegal, produzido a partir de madeiras nativas deste bioma.

Sampaio *et al* (2007) cita operações para o controle da produção de carvão no estado da Bahia, envolvendo órgãos estaduais e federais para coibir as práticas ilegais. A implantação de carvoarias, o corte da vegetação nativa e o transporte de produtos florestais sem as devidas autorizações são práticas constantes na região.

No caso da lenha, o custo do transporte em relação ao valor do produto é alto, assim, as distâncias entre produtores e consumidores normalmente não ultrapassam 300 km. No caso do carvão vegetal, cujo transporte é menor em relação ao preço final, é comum encontrar fluxos com preços compensatórios a grandes distâncias, de até 800 km ou mais (RIEGELHAUPT e PAREYN, 2010). Considerando a escassez de matéria prima próxima a centros consumidores, Brito (1990) já citava um distanciamento maior dos pontos de produção de carvão vegetal, muitas vezes localizados a 1000 km dos centros de consumo.

No Nordeste, o padrão espacial da oferta de lenha e carvão é definido pelo fato de que são criadas “bacias” fornecedoras ao redor dos centros de consumo, os quais ampliam seus raios de compra até o ponto em que o preço do produto na origem, somado ao custo do transporte, atinja a disposição de pagamento por parte do consumidor (RIEGELHAUPT E PAREYN, 2010).

Dois dos três maiores estados produtores de carvão vegetal em 2005 estavam localizados no nordeste brasileiro. Bahia, Mato Grosso do Sul e Maranhão foram os estados que mais produziram, respectivamente, 26,9%, 18,8% e 16,9% da produção nacional (IBGE<sup>1</sup>, 2006).

Um diagnóstico apresentado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA (2005) detectou que 67% das indústrias

visitadas, que produziam ferro-gusa no pólo de Carajás, apresentavam problemas com a origem do carvão consumido. A diferença estimada foi de 7,8 milhões de metros cúbicos de carvão vegetal entre o consumo real e o declarado pelas siderúrgicas no período de 2000 a 2005 (UHLIG *et al*, 2008).

Vital e Pinto (2009) defendem que a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa depende da reposição da madeira utilizada para fabricação de carvão, oriunda tanto de florestas plantadas quanto de florestas nativas. Para Costa *et al* (2014) a grande demanda por carvão vegetal para o suprimento das indústrias siderúrgicas como biorredutor e fornecedor de energia é um dos fatores que mais contribuem com o desmatamento e as indústrias que utilizam desse combustível terão prazo até 2020 para aumentar o uso de carvão oriundo de fontes sustentáveis, como florestas plantadas e madeira nativa proveniente de planos de manejo sustentável.

Santiago *et al* (2002) cita que aproximadamente 38% da energia do Rio Grande do Norte é derivada de biomassa (lenha) e este fato é comum em quase todos os estados da região Nordeste. Com o crescimento dos setores de produção de cerâmica e agroindústrias, que requerem grande quantidade de energia, as condições ambientais são prejudicadas pelos problemas de desmatamento e desertificação causados para obtenção desta lenha. A Caatinga funciona como grande fonte de energia primária e dentre as diversas formas de utilização de recursos vegetais, o emprego como combustíveis é um dos que possui o maior impacto sobre a vegetação local (SILVA, 2006; ROQUE e LOIOLA, 2013).

A demanda de lenha no estado da Paraíba era de 3.983.634 st/ano, o que causava um desmatamento de mais de 42 mil ha/ano de mata nativa, sendo que desse valor, em torno de 83% era utilizado no setor domiciliar, na forma de lenha e

carvão vegetal (SUDEMA<sup>1</sup>, 2004 *apud* MEDEIROS NETO, 2012). De acordo com Santos e Pessoa (2006), em pesquisa realizada na região do Seridó paraibano, o desmatamento da vegetação nativa no estado para a venda de lenhas às olarias e panificadoras, junto às fragilidades dos ecossistemas locais tem contribuído para o aparecimento do fenômeno da desertificação na região.

No estado de Sergipe, o estudo de Machado *et al* (2010) concluiu que a base energética das cerâmicas encontrava-se num quadro insustentável, pois metade da demanda era dependente de lenha procedente de vegetação nativa da Caatinga sem plano de manejo e/ou espécies exóticas frutíferas sem plantio de reposição.

No Estado de Pernambuco, outra região inserida no bioma Caatinga e que merece destaque no consumo de lenha é a região do Araripe, onde se encontra um arranjo produtivo local, o Pólo Gesseiro do Araripe. Localizado no extremo oeste do Estado, a cerca de 700 km da capital Recife (IBGE<sup>2</sup>, 2006).

A cadeia de produção do gesso no pólo gesseiro encontra graves problemas quanto aos combustíveis que fazem movimentar suas máquinas e que é responsável pela sua produtividade. A indústria extrativa mineral necessita de energia elétrica, de derivados de combustíveis fósseis (como gasolina, diesel, óleo BPF) e de lenha - extraída da própria Caatinga local ou regional (ARAÚJO, 2010).

O pólo concentra 40% das reservas de gipsita do mundo estimadas em 1,2 bilhões de toneladas. O Estado de Pernambuco se destaca no cenário nacional e internacional atendendo a quase totalidade da demanda de gesso do mercado nacional (PERNAMBUCO, 2007).

---

<sup>1</sup> SUDEMA – Superintendencia de Administração do Meio Ambiente. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 268p. 2004.

A matriz energética da indústria do gesso do Araripe é muito diversificada, porém grande parte, aproximadamente 73% do total corresponde ao uso de lenha, sendo a principal fonte de energia para as empresas da região. Por volta de 53% da lenha empregada não apresenta procedência definida, o que demonstra que são provenientes de uso alternativo do solo, sem fazer parte de um planejamento com maiores critérios ambientais (CAMPELLO, 2013). Segundo Barros *et al* (2010) em torno de 94% do total de lenha é extraído sem manejo.

De acordo com a estimativa de Pernambuco (2007) foram gastos cerca de 1,3 milhão de estéreos de lenha (e carvão vegetal correspondente a lenha) para atender a necessidade energética anual dos setores industrial/comercial e de serviço da região, sendo que 99,7% desse total foi utilizado pelas unidades de produção industrial.

Alternativas ao desmatamento de florestas nativas as áreas destinadas aos reflorestamentos ainda são muito pequenas na região nordeste. Riegelhaupt e Pareyn (2010) citam alguns fatores que determinam a dificuldade em se implantar esses plantios. O clima semiárido, caracterizado por uma seca sazonal, as exóticas testadas na região apresentavam sucesso relativo em termo de sobrevivência e crescimento em anos normais, mas não tem resistido às secas extraordinárias. O alto custo do reflorestamento e a concorrência por outros usos do solo completam as causas. Solos de boa qualidade não são abundantes na Caatinga, e estão atualmente ocupados por lavouras anuais de frutíferas.

Paula (1993) já citava a importância de se produzir madeiras na Caatinga para fins energéticos, com espécies adaptadas a períodos prolongados de estiagem. Apesar da importância da Caatinga como fonte de energia, é grande a carência de

informações quanto ao aspecto tecnológico dos energéticos produzidos (PAES *et al*, 2012).

Visto que os reflorestamentos apresentam limitações, Silva (2006) considera que o manejo florestal sustentado da Caatinga é a alternativa mais indicada, permitindo o uso múltiplo dos recursos florestais com custos reduzidos e seu imediato extrativismo, além de preservar as características ecológicas do meio ambiente, diminuindo o desequilíbrio ecológico.

Barros *et al* (2010), através de experimento para produção de lenha em plantios homogêneos, constatam valores de produção de 52,28 m<sup>3</sup>/ha e 42,76 m<sup>3</sup>/ha de madeira aos 6,5 anos de idade para as espécies de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., respectivamente.

Estudos com espécies nativas da Caatinga resultaram em espécies que apresentam bom potencial para a produção de carvão vegetal e podem ser consideradas aptas à produção sustentável de biomassa para geração de energia, como é o caso da *Mimosa tenuiflora* (OLIVEIRA *et al*, 2006).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA E CARVÃO

A anatomia da madeira além de auxiliar na identificação de espécies, possibilita informações acerca da estrutura do lenho, permitindo estabelecer uma relação entre esses atributos com as características gerais da madeira, como massa específica, permeabilidade e resistência mecânica (EVANGELISTA *et al*, 2010). Além de contribuir para a taxonomia, análises da anatomia e das características físicas e químicas da madeira são fundamentais em um estudo que tenha como objetivo o conhecimento de espécies florestais a serem utilizadas para fins

energéticos, especialmente para a produção de lenha, pratica comum nas comunidades rurais do nordeste do Brasil (SILVA *et al*, 2011).

A utilização mais racional dos recursos florestais depende do conhecimento, entre outros, da estrutura e organização dos elementos celulares que determinam sua aptidão para o uso comercial. As dimensões, as frequências e o arranjo dos elementos celulares têm grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira (OLIVEIRA *et al*, 2006).

A utilização de madeira para produção de energia, apesar de não ser restritiva, depende de características internas do lenho (TRUGILHO *et al.*, 2005). As propriedades combustíveis dependem também da disponibilidade, teor de umidade e estado fisiológico da madeira (THÉRY-PARISOT, 2010).

O carvão vegetal é um subproduto florestal resultante da pirólise da madeira, também conhecida como carbonização ou destilação seca da madeira (Castro *et al.*, 2007), que é um processo de decomposição físico-química irreversível (CARDOSO *et al*, 2010). O processo de carbonização pode ser definido como a decomposição térmica da madeira na ausência ou na presença controlada de ar ou oxigênio, resultando em duas fases: sólida, que é o carvão vegetal e uma gasosa, composta por gases condensáveis e não condensáveis (ARANTES *et al.*, 2013).

Uma característica relacionada ao uso de carvão vegetal é a variabilidade nas suas propriedades. O produto sofre grande influência da madeira utilizada e do sistema de produção (TRUGILHO *et al*, 2001; OLIVEIRA *et al*, 2006; VIEIRA, *et al*, 2013).

As propriedades morfológicas, físicas e químicas do carvão vegetal podem ser diferentes dependendo de duas variáveis principais associadas com os processos de aquecimento: as relacionadas com a fonte de calor, como

temperatura, tempo de exposição e taxa de aquecimento e as variáveis relacionadas ao material, a madeira, como espécie, tamanho, condutividade térmica e porosidade (BRAADBAART e POOLE, 2008).

Alterações químicas, físicas e anatômicas são pronunciadas da medula em direção a casca e essas modificações influem significativamente na qualidade dos produtos obtidos da madeira, corroborando o fato de que o carvão vegetal sofrerá expressiva modificação em relação à madeira de origem, já que está intimamente relacionado com as suas características químicas, anatômicas e físicas (TRUGILHO *et al*, 2005).

Com o aumento da temperatura as alterações iniciais identificadas são: um escurecimento da madeira que adquire a cor preta, perda de massa, encolhimento e possível distorção dos elementos anatômicos resultante da formação e perda de voláteis, conversão química contínua e progressiva da celulose, hemicelulose e lignina em grupos de moléculas predominantemente aromáticas, formando desta forma um produto quimicamente distinto, enriquecido em carbono (BRAADBAART e POOLE, 2008).

O rendimento energético de um processo de carbonização depende da constituição química da madeira. Tradicionalmente, o enxofre e as cinzas são as principais impurezas de um combustível (QUIRINO *et al*, 2004).

Para Brand (2010) os combustíveis necessitam de algumas características para se tornarem aptos para a geração de energia. O poder calorífico é a mais importante para viabilizar o uso de certo material, esta medida resulta da quantidade de calor total que é liberado durante a combustão completa de uma unidade de massa ou de volume de um combustível.

O poder calorífico de um material, a massa específica, a análise imediata e o teor de umidade são indicados por Brito e Barrichelo (1979) como importantes propriedades da madeira com finalidade de geração de energia.

O poder calorífico superior é aquele em que a combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. Já no poder calorífico inferior tem-se a energia de fato disponível por unidade de massa, depois de descontadas as perdas com a evaporação da água presente. Analisando o poder calorífico superior de madeiras de mais de 140 espécies verifica-se um valor médio de 4685 kcal/kg (QUIRINO *et al*, 2004).

A análise imediata fornece os percentuais de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas. O teor de voláteis resulta na facilidade de se queimar um material, combustíveis com baixos índices de voláteis deverão queimar-se mais morosamente, é uma característica inversamente proporcional ao carbono fixo e com exceção do carvão, vegetal ou mineral, todos os combustíveis sofrem a volatilização na forma gasosa da maior parte de seus componentes químicos antes de se queimarem. O teor de cinzas é oriundo de substâncias inorgânicas, que não participam das reações de combustão e que aparecem como cinzas após o fim do processo (BRAND, 2010).

A diferença das propriedades do carvão vegetal com relação à madeira é resultado direto das condições de aquecimento, isto é, temperatura e tempo de exposição à fonte de calor. Estudos indicam que diversas propriedades são afetadas pela temperatura durante o processo, tais como perda de massa, alteração dimensional, adsorção, densidade e a resistividade elétrica (BRAADBAART *et al*, 2009; KIM e HANNA, 2006).

A temperatura final de carbonização e a temperatura de aquecimento, características do processo, são fatores que influenciam no rendimento da carbonização, nas propriedades e na heterogeneidade química do carvão (VIEIRA *et al*, 2013). Nishimiya *et al* (1998) analisando a estrutura química do carvão vegetal, concluíram em seu trabalho que há alterações como geração de ligações duplas em carbono e anéis aromáticos causadas pela temperatura de carbonização.

Diferenças nas propriedades do carvão vegetal são verificadas com a variação da temperatura, por exemplo, valores de rendimento gravimétrico decrescem na medida em que a temperatura final do regime de carbonização aumenta (TRUGILHO e SILVA, 2001; VIEIRA *et al*, 2013). Pinheiro *et al* (2005) verificaram em seu trabalho que quanto menor a temperatura e menor a taxa de aquecimento, maior é o rendimento da carbonização e que a temperatura ótima do processo está na faixa de 300° C a 450°C.

GONÇALVES *et al* (2012) comprova, em sua análise com cinco espécies do cerrado brasileiro, a preservação das características qualitativas dos elementos celulares da madeira e do carvão depois de uma carbonização a 400°C, havendo alterações nas características quantitativas após o regime adotado. Com a preservação, é possível a identificação do carvão com base nas suas estruturas constituintes (MUNIZ *et al*, 2012a; MUNIZ *et al*, 2012b).

Nisgoski *et al* (2014), estudando a influência de diferentes temperaturas na anatomia do carvão, concluíram que diferentes temperaturas de carbonização afetam a estrutura da parede das células.

A antracologia é descrita por Scheel-Ybert (2004) como o estudo e interpretação dos restos lenhosos carbonizados provenientes de solos ou de sítios arqueológicos. Esta ciência é reconhecidamente confiável para reconstituição

paleoecológica. Os estudos relacionados à anatomia do carvão vegetal ainda estão direcionados a outros objetivos, como, a avaliação do comportamento das estruturas celulares da madeira após a carbonização e também como auxílio à identificação taxonômica de espécies visando à fiscalização e controle acerca da utilização de carvão ilegal (GONÇALVES, *et al*, 2008; MUNIZ *et al*, 2012a; MUNIZ *et al*, 2012b; NISGOSKI *et al*, 2012; MUNIZ *et al*, 2013).

A característica mecânica do carvão vegetal, friabilidade, se refere a capacidade de resistência à formação de pó ou partículas devido a atritos e choques provocados durante o manuseio do material (BARROS, 2009). Segundo Andrade e Machado (2004) a alta friabilidade do carvão vegetal faz com que este sofra uma considerável degradação durante sua produção e utilização, gerando grandes quantidades de finos. Coutinho e Ferraz (1988) comprovam que a quantidade de finos gerados aumenta com o acréscimo na temperatura de carbonização.

### 2.3 MADEIRA PARA ENERGIA

No Brasil, a madeira é muito utilizada como fonte de energia (TRUGILHO *et al*, 2001). De acordo com Balanço Energético Nacional (EPE, 2013) as fontes renováveis colaboram com 42,4% na repartição da oferta interna de energia. Inserido nessa classificação a participação de lenha e carvão vegetal representa 9,1% do total. A fim de comparação, o carvão mineral representa 5,4%, a oferta interna é liderada por petróleo e derivados, 39,2%. Em comparação com o ano anterior, houve variação de -1% na oferta de energia de lenha e carvão vegetal. Machado *et al* (2010) cita a lenha como parte significativa da base energética dos países em desenvolvimento, chegando a representar até 95% da fonte de energia em vários países.

Nos últimos dez anos, no território brasileiro, o consumo de lenha permaneceu praticamente constante nos setores residencial, industrial e agropecuário. As grandes mudanças ocorreram no setor de transformação, onde a lenha é transformada em carvão vegetal (UHLIG *et al*, 2008).

Em 2005, o comércio de lenha no Brasil totalizou aproximadamente 76 milhões de toneladas, gerando 3 bilhões de reais para a economia. O consumo de carvão vegetal representou 43,3% do total do consumo de lenha, gerando 1,7 bilhão de reais em vendas (GOLDEMBERG, 2010).

O Brasil destaca-se no setor mundial como maior produtor e consumidor de carvão vegetal sendo o único país no mundo no qual este material tem aplicação industrial em larga escala, tendo como principal finalidade, as siderúrgicas (OLIVEIRA *et al*, 2010).

Grande parte da produção no país é destinado para consumo interno, estimulado pelas siderúrgicas que nos últimos anos tem consumido cerca de 85% da produção total (DUBOC *et al*, 2008).

A produção brasileira é de grande importância econômica e ocorre basicamente de duas diferentes maneiras: tradicional, empregando lenha de floresta nativa, e moderna, carbonizando lenha de floresta plantada (SILVA *et al*, 2007). A origem da matéria prima para a produção de carvão vegetal é um problema, a produção a partir de florestas plantadas não atendem a demanda, o que implica em uma maior pressão sobre as florestas nativas (DUBOC *et al*, 2008).

O carvão vegetal é o mais importante combustível redutor do minério de ferro, em operações siderúrgicas e metalúrgicas, segundo DUBOC *et al* (2008) chega a representar cerca de 60% a 70% do custo de produção do ferro-gusa. O carvão vegetal apresenta inúmeras vantagens quando comparado com o carvão mineral,

principalmente no que se refere a qualidade do meio ambiente, sendo um material renovável e menos poluente (ARANTES *et al*, 2013).

Mesmo com um aumento significativo de uso de madeiras de reflorestamento para produção de carvão, uma grande parte é oriunda de florestas nativas e derrubadas ilegais. Por outro lado, a produção artesanal de carvão vegetal é o meio de vida de muitos brasileiros, que utilizam das árvores ao redor de suas residências para carbonização (MUNIZ *et al*, 2012a).

## 2.4 ESPÉCIES ESTUDADAS

- *Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke – Fabaceae Lindl.

Espécie arbórea do nordeste brasileiro, denominada popularmente de pau-mocó ou pau serrote, na Caatinga, é considerada pequena ou média, geralmente de 3 a 7 m de altura. Em outros ambientes alcança 22 metros de altura, sendo utilizada para acabamentos internos na construção civil, e para geração de energia (NOGUEIRA *et al*, 2012; MAIA, 2012; LIMA, 2011).

- *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. – Fabaceae Lindl.

É uma árvore com altura entre 2,5 e 10 metros, com tronco de até 30 cm de diâmetro, de madeira muito pesada, com boa resistência mecânica e grande durabilidade, dentre suas formas de utilização destaca-se o uso para mourões, lenha e carvão (LIMA, 2011).

O gênero *Mimosa* consta entre os cinco mais diversificados da flora do Brasil, de acordo com Martinelli e Moraes (2013) são 244 espécies endêmicas das quais 25 já estão ameaçadas de extinção.

Silva (2006) destaca que a subfamília Mimosoideae apresenta cerca de 80 gêneros com mais de 3.200 espécies, distribuídas nas regiões tropicais, subtropicais e temperadas-quentes e cita que a *Mimosa tenuiflora* possui elevado potencial madeireiro para o nordeste.

- *Poincianella bracteosa* (Tul.) L. P. Queiroz. – Fabaceae Lindl.

A espécie apresenta boa capacidade de brotação, tem porte médio e não possui espinhos. A espécie é utilizada de diversas formas pelos habitantes da Caatinga. Ferraz *et al* (2012) citam que a madeira é utilizada de formas distintas, por exemplo, uso energético como lenha e carvão bem como em edificações rurais. De acordo com Maia (2012) o nome popular, catingueira, pau de porco, pau de rato, é devido ao cheiro desagradável das folhas. A árvore chega a 12 metros de altura, tem caule retilíneo e uma de suas utilizações é como coque metalúrgico.

- *Combretum leprosum* Mart. – Combretaceae R. Br.

Conhecida popularmente como mufumbo, mofumbo ou pente de macaco, é uma espécie arbustiva de rápido crescimento, árvore pequena de 2 a 4 metros, sendo possível ser encontrada em qualquer área na Caatinga e sendo característica da região setentrional. Madeira utilizada para caixotaria, miolo de painéis compensados, lenha e carvão (MAIA-SILVA *et al*, 2012; MAIA, 2012; VELLOSO *et al*, 2002).

- *Croton argyrophylloides* Müll. Arg. – Euphorbiaceae Juss.

É um arbusto também conhecido como marmeleiro prateado devido à cor das folhas. Trata-se de uma espécie que além do uso da madeira é muito utilizada para fins medicinais (FARIAS, 2006; ALBUQUERQUE e ANDRADE, 2002).

O gênero *Croton* é o de maior dispersão no nordeste brasileiro, figura na lista de Martinelli e Moraes (2013) entre os 20 gêneros mais diversificados da flora brasileira, sendo o de maior destaque dentro da família Euphorbiaceae, com mais de 130 espécies endêmicas.

- *Jatropha mutabilis* Benth. – Euphorbiaceae Juss.

É uma espécie monóica, endêmica da Caatinga, encontrada desde o Piauí até a Bahia, sendo encontrada em terreno arenoso. O gênero *Jatropha* é formado por 175 espécies tropicais e subtropicais (SANTOS *et al*, 2005). Pertence a família Euphorbiaceae, segundo Alves (1998) considerada por diversos autores como uma das maiores famílias de angiospermas, com cerca de 7.800 espécies, dividida em 300 gêneros em 5 subfamílias.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO DE COLETA

As amostras utilizadas para o presente estudos são provenientes de uma área de Caatinga, região do município de Coremas, Estado da Paraíba, localizada à 390 km da capital, João Pessoa. O município está inserido na microrregião de Piancó (Figura 2), pertencente a mesorregião do Sertão Paraibano no semiárido brasileiro.

De acordo com Oliveira *et al* (2009), a microrregião de Piancó, possui 9.207 km<sup>2</sup> e é uma das áreas mais afetadas pelo processo de desertificação no estado, com cerca de 33% de sua área em estágio severo de desertificação.

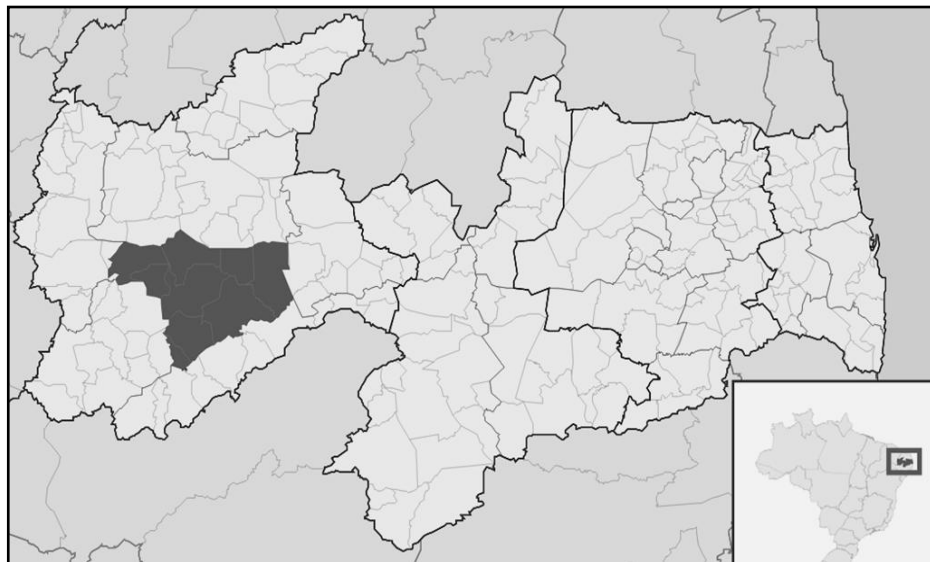


FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE COLETA DAS ESPÉCIES. EM DESTAQUE MICRORREGIÃO DE PIANCÓ/PB.  
FONTE: WIKIPEDIA (2014).

Velloso *et al* (2002), após um estudo com especialistas de diferentes áreas como botânica, pedologia e geologia, define grandes divisões ecogeográficas dentro da Caatinga, denominadas ecorregiões (Figura 3). Dentro desta classificação, o local de coleta das árvores se enquadra na região denominada de Depressão Sertaneja

Setentrional sendo que grande parte desta ainda possui vegetação nativa (40% a 50%).

Com tamanho de 206.700 km<sup>2</sup>, nesta ecorregião predomina o relevo suave-ondulado, solos com fertilidade média a alta, altitudes de 20 – 500 m nas áreas de depressão, com elevações de 500m a 800m. Clima quente e semi-árido, a chuva nesta região ocorre de maneira mais concentrada do que no resto da Caatinga, precipitação média anual em torno de 500mm a 800mm (VELLOSO *et al*, 2002).

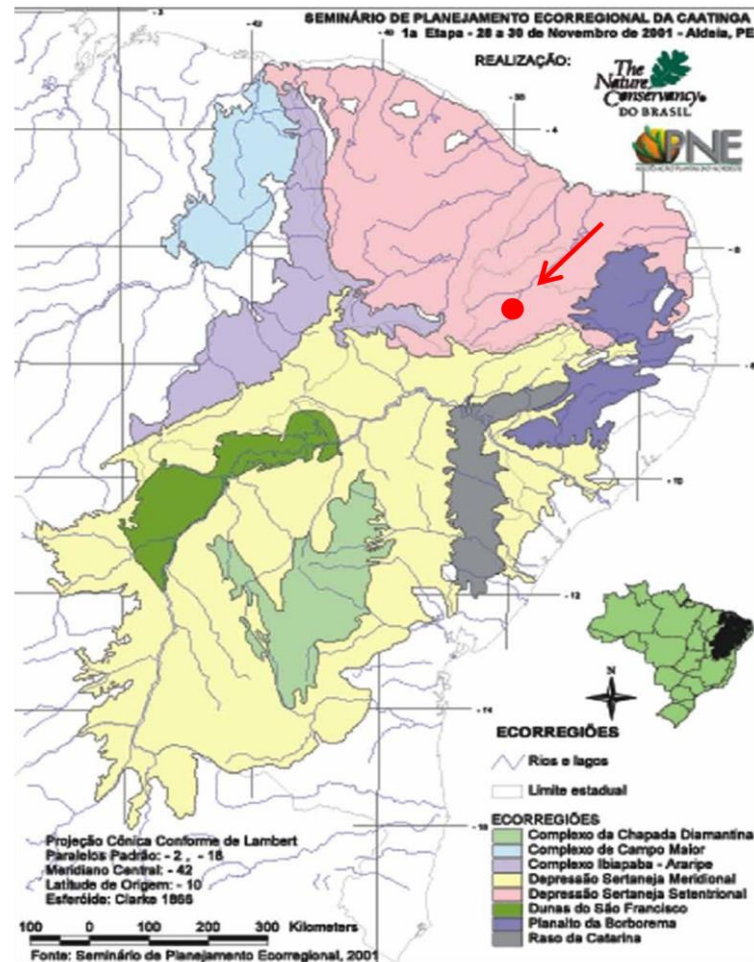


FIGURA 3 – ECORREGIÕES PARA O BIOMA CAATINGA. EM DETALHE (SETA) LOCAL DE COLETA DAS AMOSTRAS, INSERIDA NA DEPRESSÃO SERTANEJA SETENTRIONAL. FONTE: Velloso *et al* (2002)

## 3.2 MATERIAL

As espécies<sup>2</sup> utilizadas foram:

- *Luetzelburgia auriculata* (Allemão) Ducke – Fabaceae Lindl.;
- *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. – Fabaceae Lindl.
- *Poincianella bracteosa* (Tul.) L.P. Queiroz – Fabaceae Lindl.;
- *Combretum leprosum* Mart. – Combretaceae R. Br.;
- *Croton argyrophyloides* Müll. Arg. – Euphorbiaceae Juss.
- *Jatropha mutabilis* Benth. – Euphorbiaceae Juss.

Nenhuma das espécies utilizadas no presente trabalho consta na Lista Oficial das Espécies da Flora Brasileira Ameaçadas de Extinção (MMA, 2008), o documento em vigor para o reconhecimento de espécies ameaçadas de extinção da flora do Brasil.

Foram coletados 4 (quatro) indivíduos de cada espécie e confeccionados discos com 2,5 cm de espessura, distribuídos de acordo com a altura do fuste, 0%, 25%, 50%, 75% e 100%.

## 3.3 MÉTODOS

### 3.3.1 Carbonização

Os discos foram fracionados em pedaços menores, seguindo partes para a carbonização. As amostras foram identificadas com lápis cópia e envolvidas por papel alumínio, impedindo a mistura de amostras no caso de quebra das mesmas. A carbonização foi realizada em forno mufla com controlador eletrônico microprocessado de temperatura e programação para rampas e patamares. O

---

<sup>2</sup> Nomes científicos verificados em Tropicos®, Missouri Botanical Garden: Tropicos.org (2014).

regime de carbonização adotado (Figura 4) foi o de rampas e patamares com temperatura final de 450° C. O tempo total de carbonização foi de 392 min, com uma taxa calculada de 1,1° C/min. Após o término do programa, as amostras permaneceram no forno por aproximadamente 12 horas para resfriamento.

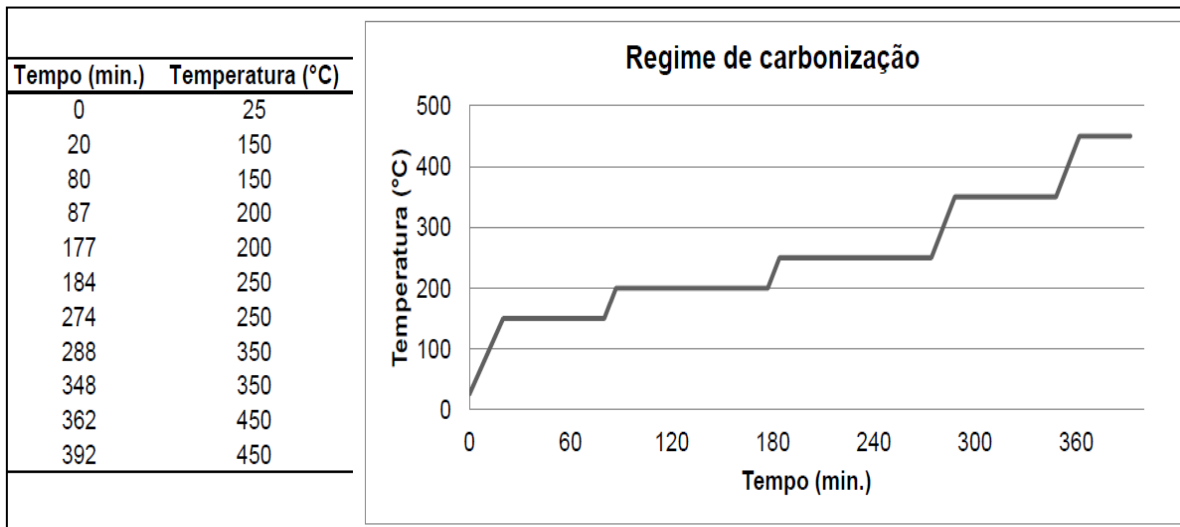


FIGURA 4 – REGIME DE CARBONIZAÇÃO ADOTADO.  
FONTE: O autor (2015).

### 3.3.2 Caracterização anatômica

Foram utilizadas técnicas usuais para confecção das lâminas histológicas e dos macerados foram utilizadas técnicas usuais.

Para descrição anatômica e medições dos elementos celulares seguiu-se a recomendação da IAWA (1989) com adaptações segundo Coradin e Muniz (1992), tendo como resultado de 25 repetições, a média e o desvio padrão. As características quantitativas mensuradas para comparação foram: Frequência de vasos por mm<sup>2</sup>, diâmetro de vasos, altura e largura de raios e frequência de raios por mm linear. Junto à descrição da anatomia das espécies há valores de comprimento de vasos, espessura da parede e comprimento das fibras.

As imagens microscópicas foram obtidas em microscópio óptico Olympus, modelo CX-40 e microscópio Leica, modelo DM 4000B, para medição dos elementos celulares utilizou-se a ocular micrométrica e o software Axion Vision Rel 4.7 (ZEISS).

No caso das amostras de carvão vegetal, os corpos de prova foram seccionados com auxílio de uma lâmina para estilete largo e analisados em Estereomicroscópio.

Para observação do material em microscópio eletrônico de varredura – MEV Hitachi TM-1000 confeccionou-se o corpo de prova com auxílio de um estilete bem afiado para seccionar o material em pequenos pedaços maciços, com dimensões de aproximadamente 0,5 cm.

Para comparação entre o comportamento dos elementos celulares após o regime de carbonização adotado, foi realizado teste de Tukey (95% de probabilidade) comprovando ou não diferença entre os dados avaliados.

### 3.3.3 Caracterização físico-química

As frações de madeira foram moídas em moinho de facas tipo Willey e posteriormente peneiradas para separação em diferentes granulometrias conforme norma TAPPI T 257 cm-02. Na tabela 1 constam as demais normas utilizadas conforme as respectivas análises.

TABELA 1 – ANÁLISES E NORMATIZAÇÃO

<b>Análises</b>	<b>Normas</b>
Solubilidade	T 207 om-93
Teor de extrativos totais	T 204 cm -97
Teor de lignina	T 222 om-98
Cinzas na madeira	T211 om-93

FONTE: O autor (2014)

Para determinação dos valores de densidade aparente, os corpos de prova foram pesados em balança analítica e suas dimensões medidas com paquímetro.

Para valores de densidade básica, os corpos foram secos em estufa por 48h (105° C ± 5°C) e dimensionados, posteriormente, saturados em água, com auxílio de uma bomba de vácuo para determinação do volume por imersão em água.

$$Densidade\ aparente = \frac{Massa(g)}{Volume\ (cm^3)}$$

$$Densidade\ básica = \frac{Massa\ seca\ (g)}{Volume\ saturado\ (cm^3)}$$

O poder calorífico das amostras foi determinado através de um calorímetro adiabático, de acordo com a NBR 8633 (1984).

Realizada a análise química imediata do carvão vegetal, segundo a norma NBR 8112 (1986): A norma preconiza para análise de cinzas que a amostra deve ser mantida em forno mufla até que o carvão se queime completamente, o tempo para tal foi de 6 horas. O teor de carbono fixo pode ser calculado por:

$$Teor\ de\ Carbono\ Fixo\ (\%) = (100 - (Cinzas\ (\%) + Voláteis\ (\%)))$$

Para determinação do índice de quebra e abrasão, ou friabilidade do carvão vegetal, os testes foram baseados na norma NBR 8740 (1985) com adaptações. O aparelho utilizado para o teste de tamboramento em laboratório foi o modelo MA791 – Marconi (Figura 5). A velocidade de rotação seguiu a recomendada pela norma, (25±1) rpm, o tempo de ensaio foi de 6 minutos. A principal alteração foi com relação a granulometria dos resíduos do carvão vegetal, onde foram considerados finos os fragmentos que atravessaram a peneira de 4,75mm (Padrão ISO), equivalente a 4 Mesh na série Tyler. A norma estabelece valores altos de amostras para realização do ensaio em laboratório, igualmente como as próprias medidas estabelecidas para

o cilindro de rotação, assim sendo necessárias as modificações. A falta de normatização implica em obstruções para comparação de dados entre diferentes trabalhos.

$$\text{Índice de quebra e abrasão (\%)} = \left( 1 - \frac{f \text{ após ensaio (g)}}{F \text{ antes ensaio (g)}} \right)$$

*f = fragmento médio após o ensaio*

*F = fragmento médio antes do ensaio*

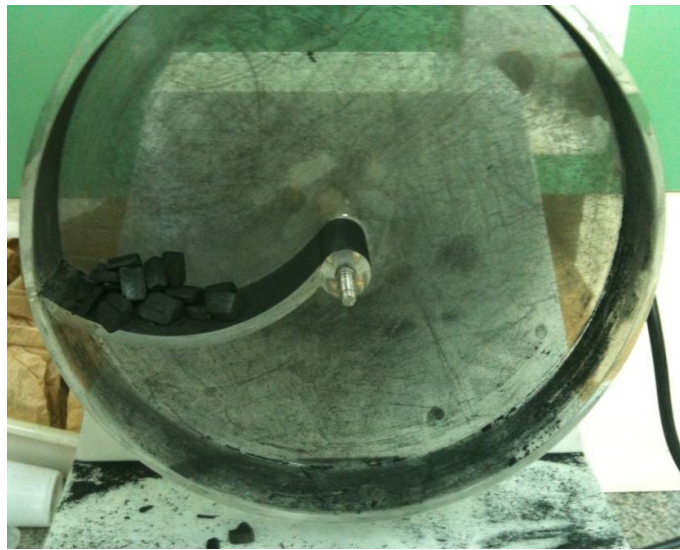


FIGURA 5 – CILINDRO ROTATIVO UTILIZADO NO TESTE DE TAMBORAMENTO.  
FONTE: O autor (2015)

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DESCRIÇÃO ANATÔMICA DA MADEIRA

#### 1. *Luetzelburgia auriculata* (Fabaceae):

A madeira de *Luetzelburgia* não apresenta anéis de crescimento distintos; a porosidade é difusa e os vasos majoritariamente solitários, havendo vasos múltiplos em cadeias radiais. Placa de perfuração simples, pontoações intervasculares alternas e radiovasculares semelhante as intervasculares. Diâmetro tangencial do lume dos vasos entre 100 e 200 $\mu\text{m}$ , com frequência menor do que 5 vasos/ $\text{mm}^2$ . Tilos comuns.

Fibras com comprimento médio de 900 a 1600 $\mu\text{m}$ ; espessura da parede média de 9,6  $\mu\text{m}$ , com pontoações simples a pontoações com aréolas muito pequenas.

Parênquima axial difuso em agregados e em faixas (Figura 6); raios multisseriados e unisseriados em menor proporção; heterogêneos, com células procumbentes no centro e quadradas nas extremidades dos raios.

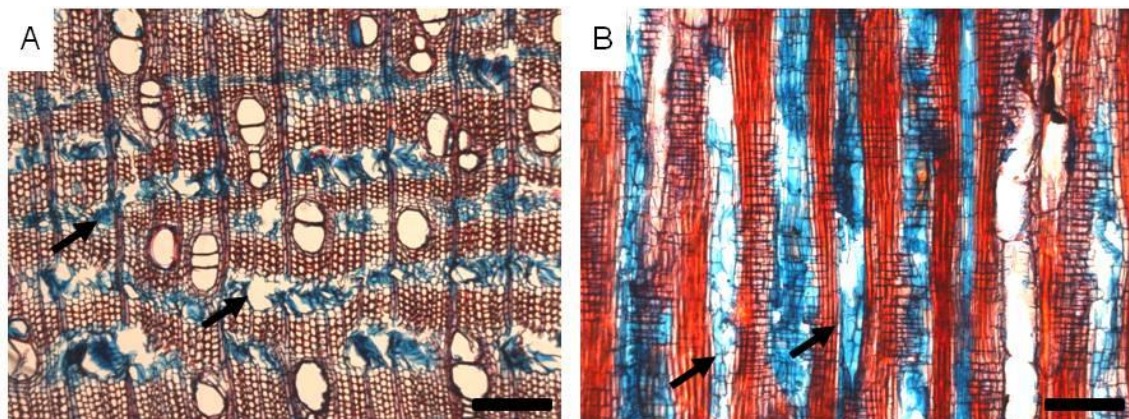


FIGURA 6 – SECÇÕES DE *Luetzelburgia auriculata*. A – CORTE TRANSVERSAL, DESTAQUE O PARÊNQUIMA AXIAL EM FAIXAS (125 $\mu\text{m}$ ); B – CORTE RADIAL, FAIXAS DE PARÊNQUIMA AXIAL (125 $\mu\text{m}$ ).  
FONTE: O autor (2015)

## 2. *Mimosa tenuiflora* (Fabaceae/Leguminosae - Mimosoideae):

A madeira de *Mimosa tenuiflora* apresenta anéis de crescimento distintos, demarcados pelo parênquima axial marginal em linhas, a porosidade é difusa e os vasos solitários e múltiplos de 2 a 3 em cadeias radiais. Placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas guarnecidas e radiovasculares semelhante às intervasculares. Diâmetro tangencial do lume dos vasos entre 100 e 200 $\mu\text{m}$  com frequência menor do que 5 vasos/ $\text{mm}^2$ .

Fibras libriformes, com comprimento médio de 375 a 925 $\mu\text{m}$ ; espessura da parede média de 3,5  $\mu\text{m}$ , com pontoações simples a pontoações com aréolas muito pequenas.

Parênquima axial paratraqueal vasicêntrico e aliforme, ambos formando confluências (Figura 7a), raios homogêneos e multisseriados (Figura 7b), homogêneos.

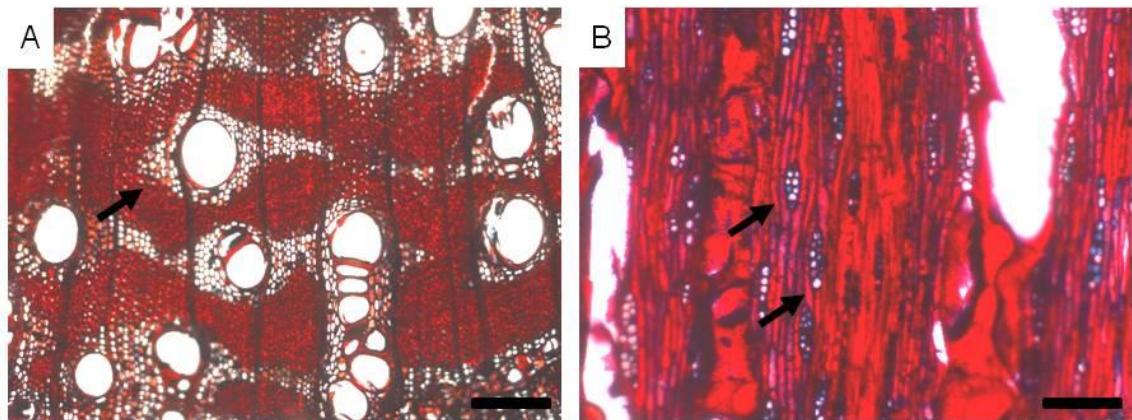


FIGURA 7 – SECÇÕES DE *Mimosa tenuiflora*. A – CORTE TRANSVERSAL, DESTAQUE O PARÊNQUIMA AXIAL ALIFORME (125 $\mu\text{m}$ ); B – CORTE TANGENCIAL, RAIOS BISSERIADOS. (125 $\mu\text{m}$ ).

FONTE: O autor (2015)

### 3. *Poincianella bracteosa* (Fabaceae):

A madeira de *Poincianella bracteosa* possui camadas de crescimento indistintas; vasos solitários e múltiplos; porosidade difusa. A placa de perfuração é simples; pontoações intervasculares alternas e radiovasculares com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples (Figura 8b). O diâmetro tangencial do lume dos vasos está compreendido entre 50 e 100  $\mu\text{m}$ ; a frequência de vasos está compreendida na faixa entre 20 e 40 vasos/ $\text{mm}^2$ . Tilos presentes.

Fibras com comprimento médio menor que 900 $\mu\text{m}$ ; espessura da parede média de 2,9  $\mu\text{m}$ , com pontoações simples a pontoações com aréolas muito pequenas.

Parênquima axial unilateral confluyente (Figura 8a); raios com largura de 1 a 3 células (Figura 8c), homogêneos, estratificados e com a presença de cristais.



FIGURA 8 – SECÇÕES DE *Poincianella bracteosa*. A – CORTE TRANSVERSAL, DESTAQUE PARA O PARÊNQUIMA AXIAL (125 $\mu\text{m}$ ); B – CORTE TANGENCIAL, PONTOAÇÕES INTERVASCULARES (25 $\mu\text{m}$ ); C – CORTE TANGENCIAL, RAIOS UNISSERIADOS E BISSERIADOS (125 $\mu\text{m}$ ).

FONTE: O autor (2015).

### 4. *Combretum leprosum* (Combretaceae):

A madeira possui anéis de crescimento distintos pelo parênquima axial marginal (Figura 9a). Porosidade: em anel poroso. Vasos solitários, com placa de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e radiovasculares com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples, arredondadas ou angulares.

Diâmetro do lume dos vasos entre 50 – 100 $\mu$ m; frequência de 5 – 20 vasos/mm<sup>2</sup>; tilos pouco frequentes.

Fibras com comprimento médio menor que 900  $\mu$ m; com 8,2  $\mu$ m de espessura da parede; pontoações simples a pontoações com aréolas muito pequenas. Fibras septadas (Figura 9d).

Parênquima axial vasicêntrico confluyente e marginal; raios unisseriados (Figura 9b), homogêneos. É possível visualizar células de raio com paredes disjuntivas (Figura 9c).

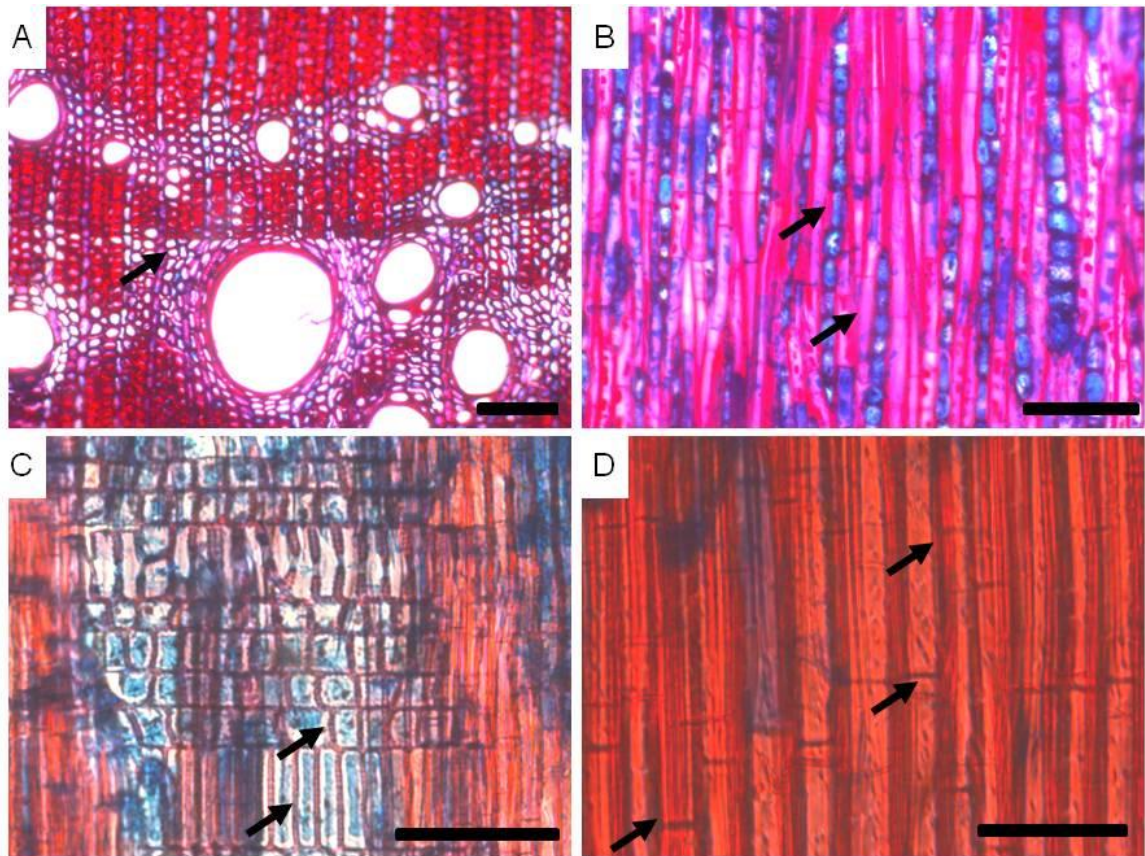


FIGURA 9 – SECÇÕES DE *Combretum leprosum*. A – CORTE TRANSVERSAL, DESTAQUE PARA A DELIMITAÇÃO DO ANEL DE CRESCIMENTO (125 $\mu$ m); B – CORTE TANGENCIAL, RAIOS UNISSERIADOS (125 $\mu$ m); C – CORTE RADIAL, RAIOS COMPOSTOS POR CÉLULAS ERETAS E QUADRADAS (50 $\mu$ m); D – CORTE RADIAL, SEPTOS EM FIBRAS (50 $\mu$ m).

FONTE: O autor (2015).

#### 5. *Croton argyrophyloides* (Euphorbiaceae):

Madeira com anéis de crescimento distintos pela porosidade em anel semi poroso (Figura 10a). Vasos solitários e múltiplos radiais, com placas de perfuração simples; pontoações intervasculares alternas e radiovasculares semelhantes às intervasculares em formato e tamanho. Diâmetro médio de vasos compreendido entre 50 – 100µm. Tilos presentes.

Comprimento de fibras médio menor que 900 µm, espessura da parede média de 5,6 µm. Fibras gelatinosas presentes.

Parênquima axial difuso em agregados; raios unisseriados (Figura 10c), heterogêneos, com células procumbentes no corpo e quadradas nas marginais. Células de raio com paredes disjuntivas (Figura 10b).

A estrutura anatômica de indivíduos do gênero *Croton* descreve a presença de vasos múltiplos e radiais com placas de perfuração simples (SILVA, 2006), estando de acordo com o constatado para *Croton argyrophyloides*.

As fibras gelatinosas podem estar relacionadas com lenho de reação, porém é pouco provável que seja a justificativa para a ocorrência nesta espécie, assim como citado por Marcati *et al* (2001). Neste caso as fibras gelatinosas podem estar realizando a função de reserva de água para o vegetal, inserido em um ambiente bastante seco, como é o caso desta espécie na Caatinga.

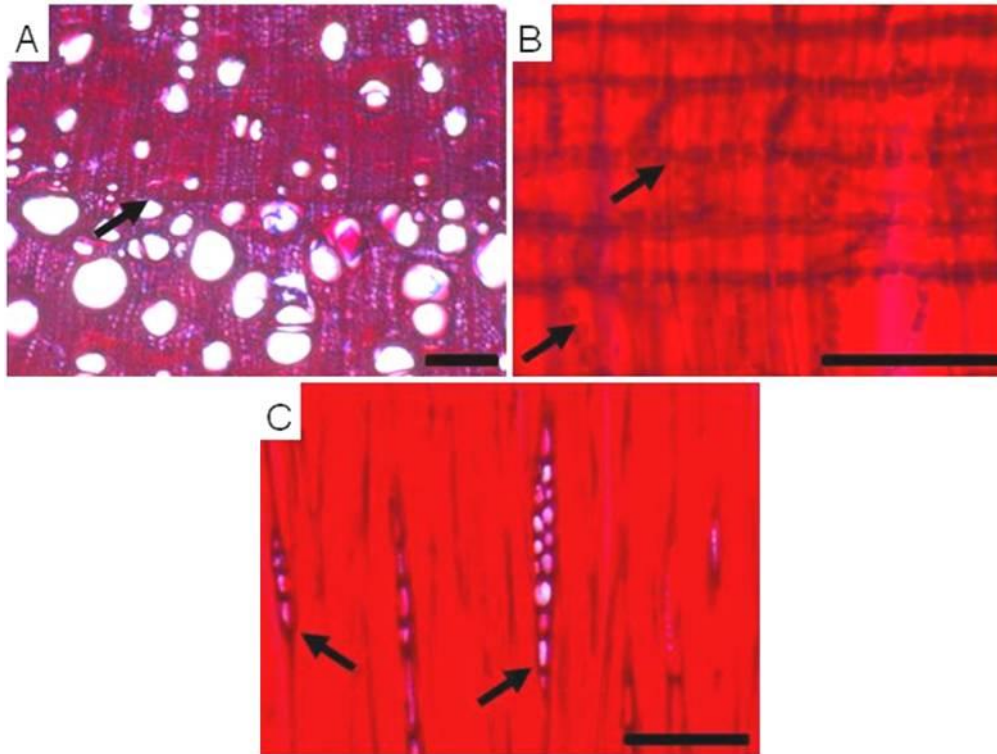


FIGURA 10 – SECÇÕES DE *Croton argyrophyloides*. A – CORTE TRANSVERSAL, DESTAQUE PARA A DELIMITAÇÃO DO ANEL DE CRESCIMENTO (125 $\mu$ m); B – CORTE RADIAL, RAIOS COM PAREDES DISJUNTIVAS (50 $\mu$ m); C – CORTE TANGENCIAL, RAIOS UNISSERIADOS E BISSERIADOS (125 $\mu$ m)  
 FONTE: O autor (2015).

#### 6. *Jatropha mutabilis* (Euphorbiaceae):

Popularmente conhecida como Pinhão Roxo, esta madeira possui anéis de crescimento distintos (Figura 11a), delimitados pelo espessamento da parede das fibras. A porosidade é difusa, com vasos majoritariamente solitários sendo observados também vasos múltiplos em cadeias radiais. A placa de perfuração é simples; pontoações intervasculares alternas e radiovasculares com aréolas muito reduzidas a aparentemente simples: arredondadas ou angulares. Diâmetro médio do lume dos vasos na faixa de 50 a 100 $\mu$ m; frequência igual ou menor que 5 vasos/mm<sup>2</sup>; tilos comuns.

Fibras com comprimento médio de 900 a 1600 $\mu\text{m}$ ; espessura da parede média de 8,2  $\mu\text{m}$ ; com pontoações simples a pontoações com aréolas muito pequenas. Fibras septadas presentes.

Parênquima axial difuso e difuso em agregados, raios heterogêneos, unisseriados e com porção multisseriada de mesma largura que a unisseriada (Figura 11b), Carlquist (2001) denomina este fenômeno de “raios interligados” - *interconnected rays*.

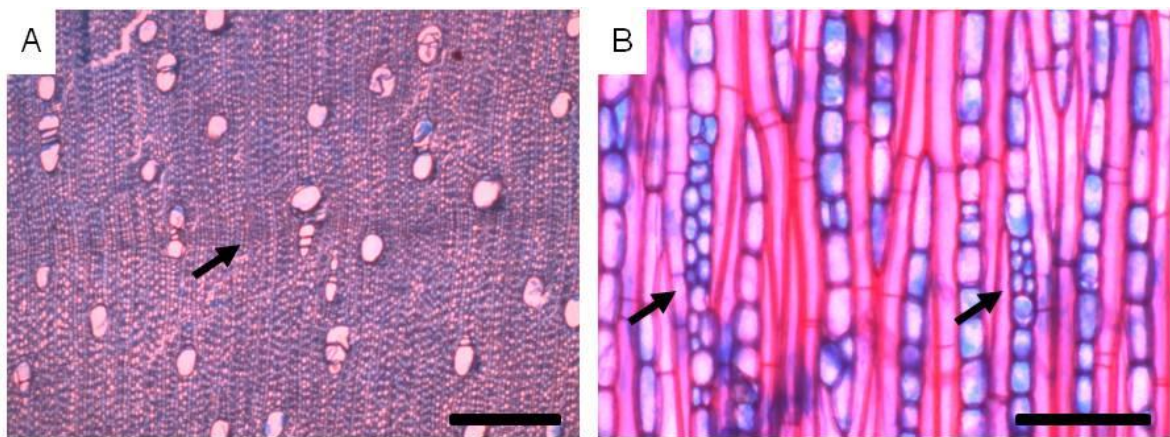


FIGURA 11 – SECÇÕES DE *Jatropha mutabilis*, A – CORTE TRANSVERSAL, DESTAQUE PARA A DELIMITAÇÃO DO ANEL DE CRESCIMENTO (125 $\mu\text{m}$ ); B – CORTE TANGENCIAL, RAIOS COM PORÇÃO MULTISSERIADA DE MESMA LARGURA QUE A UNISSERIADA (125 $\mu\text{m}$ ).

FONTE: O autor (2015).

#### 4.2 ANÁLISE DA ESTRUTURA ANATÔMICA DA MADEIRA

Com as imagens das espécies (Figura 12) foram medidas as características de diâmetro e frequência dos vasos. As tabelas com os valores mínimos, máximos, a média e o desvio padrão das características anatômicas das madeiras para cada espécie encontram-se no Apêndice 1.

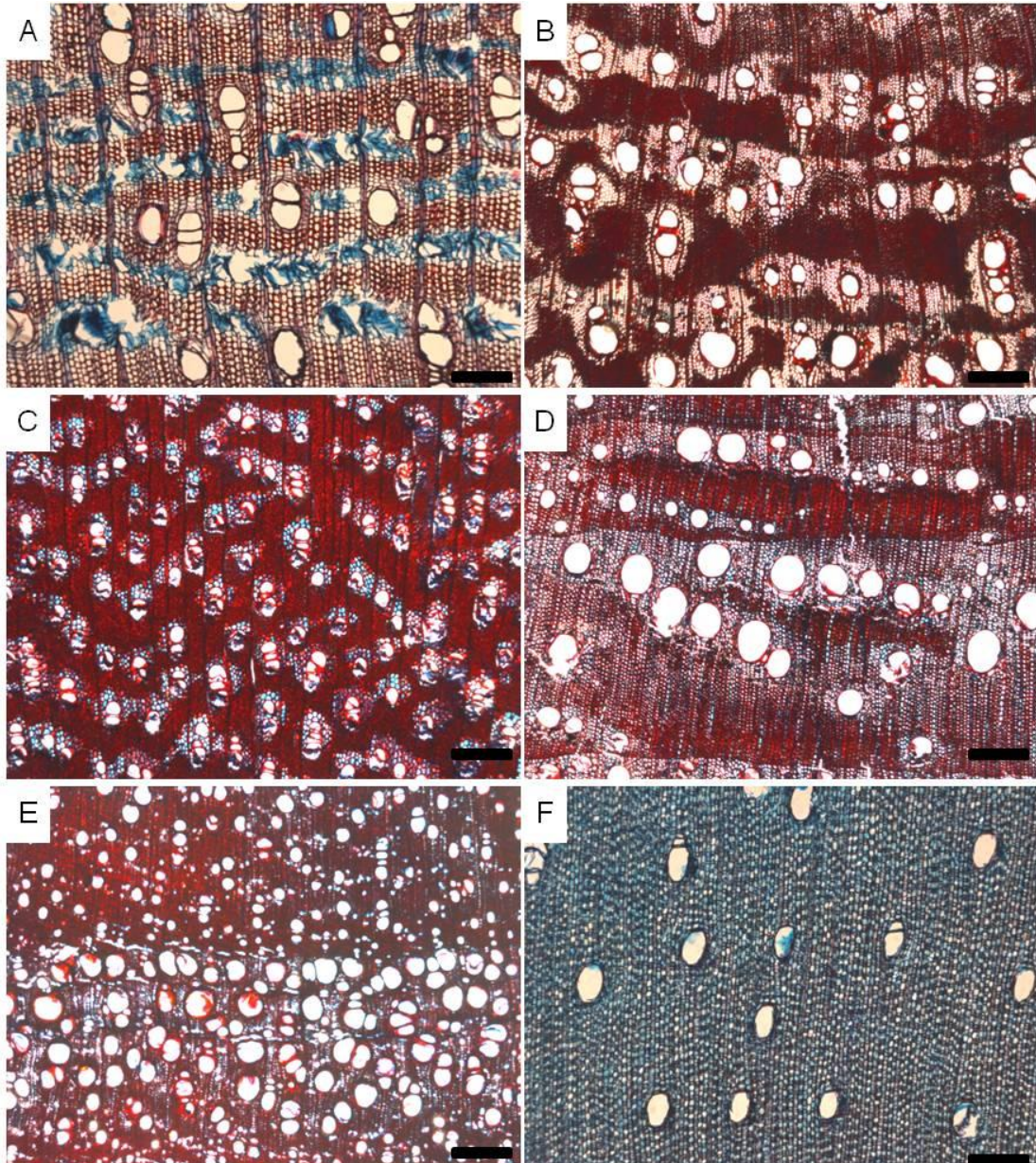


FIGURA 12 – SECÇÕES TRANSVERSAIS (MADEIRA), A – *Luetzelburgia auriculata*; B – *Mimosa tenuiflora*; C – *Poincianella bracteosa*; D – *Combretum leprosum*; E – *Croton argyrophyloides*; F – *Jatropha mutabilis*; ESCALA CORRESPONDENTE 250 $\mu$ m.  
 FONTE: O autor (2015).

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios, seguidos pelos desvios padrão e comparação das características dentre as espécies.

TABELA 2 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DE VASOS.

Espécies	Diâmetro do vaso (µm)		Frequência de Vasos (n/mm <sup>2</sup> )	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	108,65 b	23,37	6 c	1,57
<i>Mimosa tenuiflora</i>	120,26 a	23,48	15 b	2,70
<i>Poincianella bracteosa</i>	68,36 e	8,57	35 a	6,36
<i>Combretum leprosum</i>	79,73 d	12,72	Nsa	
<i>Croton argyrophyloides</i>	96,30 c	18,85	Nsa	
<i>Jatropha mutabilis</i>	57,29 f	9,28	5 d	1,43

Nsa: De acordo com IAWA (1989), não são computados valores de frequência de vasos para porosidade em anel poroso. Letras diferentes na mesma coluna significam diferença estatística pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

FONTE: O autor (2015).

De acordo com a classificação da IAWA (1989), as medidas de diâmetro tangencial do lume dos vasos são compreendidas em 4 classes. Seguindo esta diretriz, quatro espécies se enquadram na faixa de diâmetro médio entre 50 e 100µm e duas espécies, *Luetzelburgia auriculata* e *Mimosa tenuiflora*, entre 100 e 200µm, vasos médios.

Segundo o IPT (2007), são considerados vasos médios aqueles maiores que 100 µm e menores que 200 µm de diâmetro e vasos pequenos a muito pequenos os menores que 100 µm. Para as espécies da Caatinga avaliadas neste estudo, o maior valor médio encontrado foi de 120µm. Os resultados de Hacke *et al* (2009), ao

estudar espécies da região árida da Califórnia, Estados Unidos, indicaram uma correlação negativa significativa entre o diâmetro dos vasos e a resistência a cavitação. Na Caatinga, portanto, os vasos menores proporcionam uma maior resistência a cavitação.

O diâmetro do lume do vaso é uma característica ligada diretamente a eficiência na condução hídrica da árvore. Vasos de menor diâmetro são considerados menos eficientes, não devem ser considerados como ineficientes, porém são mais seguros do ponto de vista de condução de substâncias, devido ao fato de desenvolverem o aparecimento de bolhas mais lentamente (BAAS *et al*, 1983; MARCATI *et al*, 2001; CARLQUIST, 2001; MCCULLOH *et al*, 2010).

A frequência de vasos por milímetro quadrado esta relacionada com segurança hidráulica. Uma maior quantidade de vasos em uma determinada área pode ser considerada uma área mais segura, alguns vasos podem tornar-se não funcionais, porém outros garantem a condução de seiva bruta.

Silva (2006) descreve que quanto maior o número de vasos em uma determinada área, maior o espaço vazio, conseqüentemente menor proporção de parede celular, fazendo com que esta região tende a possuir um menor potencial energético ao contrário das áreas com grande proporção de fibras, com lúmens pequenos e paredes mais espessas.

Para Melo *et al* (2007) as modificações anatômicas decorrentes da pouca disponibilidade de água no ambiente geralmente estão envolvidas na proteção das plantas contra a perda de água para o meio, mantendo a condução de água no xilema. No caso das placas de perfuração, todas as espécies avaliadas apresentaram placas de perfuração simples (Figura 13), Metcalfe e Chalk (1950) também constataram placa de perfuração simples para a grande maioria das

espécies de angiospermas, Alves e Angyalossy-Alfonso (2000) também apresentam a não ocorrência de placas de perfuração múltiplas para espécies da Caatinga.

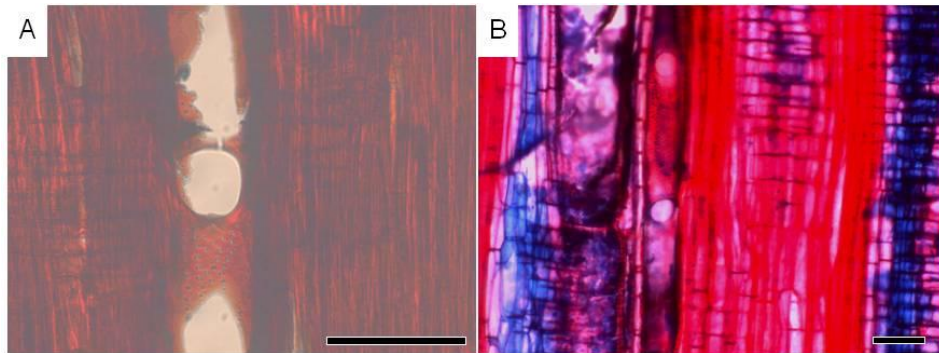


FIGURA 13 – FOTOMICROGRAFIA DE CORTES RADIAIS, A – *Croton argyrophyloides*; B – *Luetzelburgia auriculata*. ESCALA CORRESPONDENTE 100µm.  
FONTE: O autor (2015).

Visualmente, as placas de perfurações simples se mostram menores quando comparadas a largura dos vasos, o fato é certificado por Carlquist (2001) se referindo a placa de perfuração simples como uma constrição que raramente se aproxima da largura do vaso em seu local de maior diâmetro. De acordo com McCulloh *et al* (2010) placas de perfuração escalariformes diminuem a capacidade de condução, quando comparadas com placas simples. Desta forma, com a placa de perfuração simples sendo mais efetiva na condução de substâncias, se faz muito frequente nas espécies da Caatinga que necessitam de uma condução eficiente em um ambiente com longos períodos de seca, além do grande fluxo de água imposto pelas altas taxas de transpiração nesta região, citado por Silva (2006). O xilema vai apresentar também outras adaptações para garantir uma condução eficiente.

Nas espécies que apresentaram vasos múltiplos, foi constatado ocorrência de vasos em arranjo radial (Figura 14). Esta estratégia adaptativa, segundo Carlquist (2001) oferece um caminho para o sistema de condução para formar novos vasos que podem assumir a função dos vasos anteriormente formados sem alteração das vias condutoras.

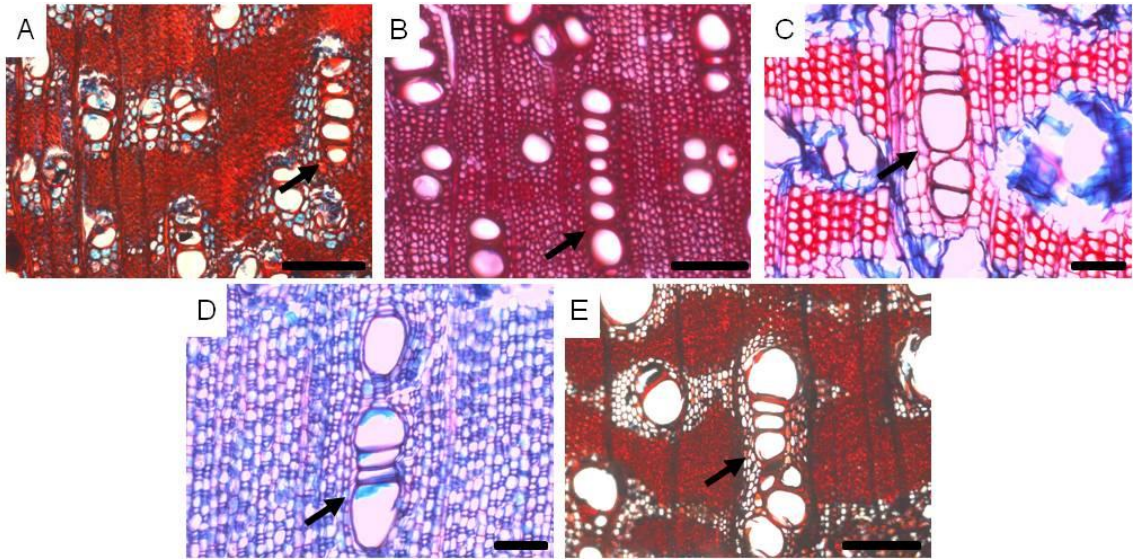


FIGURA 14 – ARRANJO RADIAL DOS VASOS, A – *Poincianella bracteosa*; B – *Croton argyrophyloides*; C – *Luetzelburgia auriculata*; D – *Jatropha mutabilis*; E – *Mimosa tenuiflora*. ESCALA CORRESPONDENTE 125 $\mu$ m.  
FONTE: O autor (2015).

Com relação a porosidade da madeira, a difusa foi a mais frequente dentre as espécies. O arranjo difuso é o que mais ocorre dentre as angiospermas de acordo com Metcalfe e Chalk (1950). Para espécies da Caatinga, Alves (1997) constatou arranjo difuso em 100% das espécies avaliadas.

*Combretum leprosum* e *Croton argyrophyloides* foram as espécies que não apresentaram porosidade difusa e sim em anéis porosos (Figura 12). McCulloh *et al* (2010) ao avaliar a eficiência hidráulica em plantas jovens, dentre as espécies analisadas, comparando coníferas e folhosas com diferentes arranjos de vasos, demonstraram que madeiras com porosidade em anéis porosos são mais eficientes, devido a ocorrência de vasos com maior diâmetro.

Com relação as pontoações intervasculares todas as espécies apresentaram pontoações alternas, não sendo mensurados os diâmetros das mesmas, visto que essa característica é considerada por muitos estudiosos como conservativa para espécie, gênero, ou mesmo família e ordem (MARCATI *et al*, 2001). Cabe ressaltar a

importância destas pontoações na segurança hidráulica, a resistência à cavitação está diretamente ligada ao diâmetro das pontoações.

TABELA 3 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DOS RAIOS.

Espécies	Altura do Raio (µm)		Largura do Raio (µm)		Frequência de Raios (n°/mm)	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	633,62 b	162,28	84,54 a	19,35	4 d	0,82
<i>Mimosa tenuiflora</i>	158,47 cd	47,49	27,48 bc	5,10	6 c	0,83
<i>Poincianella bracteosa</i>	113,32 d	16,56	20,93 cd	2,71	10 b	1,57
<i>Combretum leprosum</i>	274,84 c	94,47	21,68 c	4,22	17 a	1,47
<i>Croton argyrophyloides</i>	129,58 d	35,00	13,97 d	3,79	6 c	3,20
<i>Jatropha mutabilis</i>	772,71 a	326,50	31,56 b	5,90	16 a	2,17

Letras diferentes na mesma coluna significam diferença estatística pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

FONTE: O autor (2015).

Alves e Angyalossy-Alfonso (2002) apresentam a possibilidade de que os raios homogêneos, formados exclusivamente por células procumbentes estejam relacionados com ambientes secos, região nordeste do Brasil, clima semi-árido e área de Caatinga, apesar de não haver comprovação estatística para confirmar a relação com a umidade.

As espécies analisadas apresentaram raios finos, com largura mínima de 14 µm para *C. argyrophyloides* e máxima de 85 µm para *L. auriculata* (tabela 3). A espécie *M. tenuiflora* possui raios bisseriados e unisseriados. Três espécies apresentaram raios em sua maioria unisseriados (Figura 15): *Combretum leprosum*,

*Croton argyrophylloides* e *Jatropha mutabilis* estando em conformidade com Alves e Angyalossy-Alfonso (2002), que investigando mais de 600 espécies, descrevem que com relação a largura dos raios, os unisseriados foram mais frequentes no clima semi-árido, apresentando uma relação positiva com a região da Caatinga, sem indicar relação entre a tendência ecológica e a composição do raio pela análise estatística.

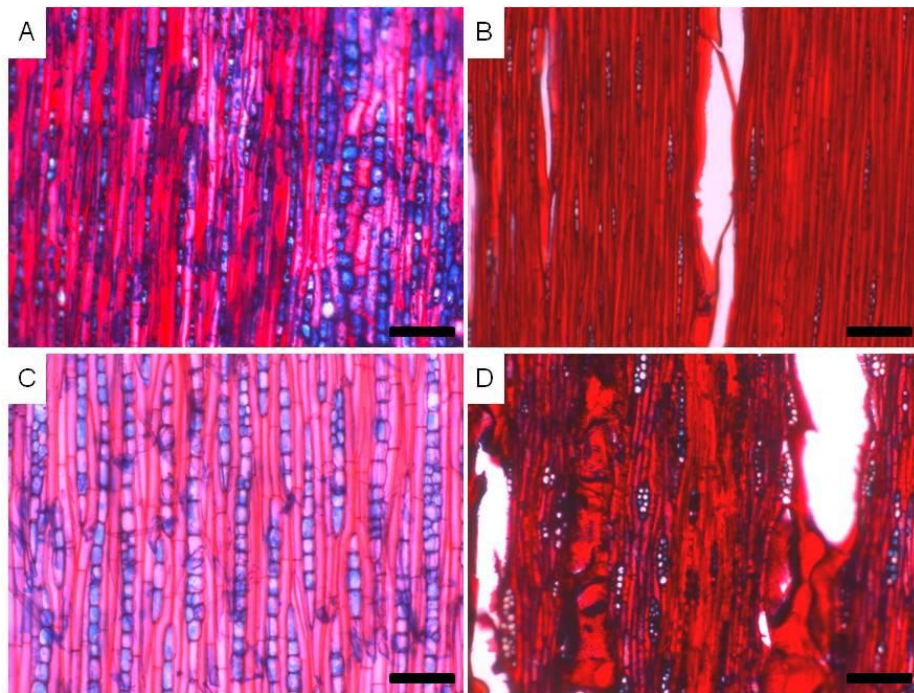


FIGURA 15 – RAIOS UNISSERIADOS. SECÇÕES TANGENCIAIS, A – *Combretum leprosum*; B – *Croton argyrophylloides*; C – *Jatropha mutabilis*; D – *Mimosa tenuiflora*. Aumento 10x; ESCALA CORRESPONDENTE 125µm. FONTE: O autor (2015).

Em duas das espécies foi possível verificar paredes disjuntivas nas células de raio, *Combretum leprosum* e *Croton argyrophylloides* (Figura 16). As paredes disjuntivas consistem em ligações entre as células de parênquima radial, Kitin *et al* (2009) cita em seu estudo de caso com *Okoubaka aubreviille* (Santalaceae), que as células disjuntivas foram parcialmente isoladas umas das outras, porém suas estruturas tubulares as conectam em uma rede contínua de parênquima. A hipótese para origem das paredes disjuntivas é de que há o aparecimento desta estrutura

devido ao resultado de forças mecânicas de reajustes de células durante o desenvolvimento do xilema, além dos mecanismos de formação da madeira, pode ser uma estratégia fisiológica das espécies.

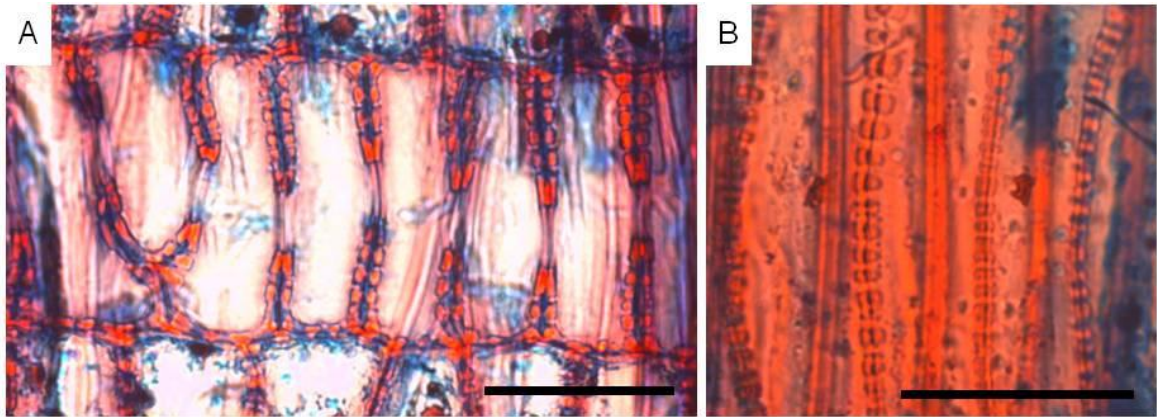


FIGURA 16 – FOTOMICROGRAFIA DE CORTES RADIAIS DE *Combretum leprosum*. ESCALA CORRESPONDENTE 50 $\mu$ m. FONTE: O autor (2015).

A tabela 4 apresenta os valores mensurados para as características das fibras das seis espécies avaliadas.

TABELA 4 – VALORES DE CARACTERÍSTICAS QUANTITATIVAS DE FIBRAS.

Espécies	Comprimento da fibra ( $\mu\text{m}$ )		Diâmetro do lúme ( $\mu\text{m}$ )		Espessura da parede ( $\mu\text{m}$ )	
	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão	Valor Médio	Desvio Padrão
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	974 ab	208,85	33,97 a	9,33	9,59 a	1,71
<i>Mimosa tenuiflora</i>	746 c	152,53	11,37 c	2,38	3,61 d	1,13
<i>Poincianella bracteosa</i>	898 b	194,44	9,77 cd	2,35	2,90 d	0,80
<i>Combretum leprosum</i>	721 c	193,74	16,81 b	4,4	8,70 ab	1,79
<i>Croton argyrophyloides</i>	517 d	81,56	7,29 d	2,38	5,66 c	1,45
<i>Jatropha mutabilis</i>	1049 a	128,39	16,39 b	3,4	8,22 b	1,72

Letras diferentes na mesma coluna significam diferença estatística pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

FONTE: O autor (2015).

Ao contrário dos vasos, as fibras sofrem pouco incremento em largura e geralmente se alongam muito mais durante a diferenciação (EVERT, 2013). Para espécie *P. bracteosa* o comprimento médio de 0,9 mm é ligeiramente superior ao avaliado por Medeiros Neto *et al* (2014), 0,83 mm em *P. pyramidalis*.

#### 4.2.1 Chave dicotômica para identificação das espécies da Caatinga.

Foi elaborada uma chave de identificação como ferramenta para fiscalização destes recursos, as características anatômicas utilizadas como comparação entre as espécies encontram-se no Apêndice 2 deste trabalho.

## CHAVE DE IDENTIFICAÇÃO MICROSCÓPICA

1.a. Presença de anéis porosos.....**2**

1.b. Ausência de anéis porosos.....**3**

2.a. Presença de Fibras septadas. Porosidade em Anéis porosos; Vasos solitários e múltiplos em cadeias radiais; Parênquima axial vasicêntrico confluyente e marginal; Placa de perfuração simples; Raios homogêneos e unisseriados.....

**Mufumbo** *Combretum leprosum*

2.b. Ausência de fibras septadas. Tilos presentes; Porosidade em anéis porosos; Vasos solitários e múltiplos em cadeias radiais; Parênquima axial difuso em agregados; Placa de perfuração simples; Raios homogêneos e unisseriados .....

**Marmeleiro** *Croton argyrophylloides*

3.a. Raios estratificados.....**4**

3.b. Raios não estratificados.....**5**

4.a. Anéis de crescimento indistintos. Parênquima axial unilateral confluyente, Tilos presentes; Vasos solitários e múltiplos sem arranjo definido; Porosidade difusa;; Placa de perfuração simples; Raios Homogêneos, estratificados, unisseriados e multisseriados .....

**Catingueira** *Poincianella bracteosa*

4.b. Anéis de crescimento distintos pelo parênquima axial marginal. Parênquima axial vasicêntrico e aliforme confluyente; Porosidade difusa; Vasos solitários e múltiplos em cadeias radiais; Placa de perfuração simples; Tilos presentes; Raios homogêneos, unisseriados e multisseriados .....

**Jurema preta** *Mimosa tenuiflora*

5 a. Anéis de crescimento indistinto. Parênquima axial difuso em agregados e em faixas. Vasos solitários e múltiplos em cadeias radiais; Porosidade difusa; Tilos presentes; Placa de perfuração simples; Raios heterogêneos; Raios unisseriados e multisseriados .....

**Pau-Serrote** *Luetzelburgia auriculata*

5.b. Anéis de crescimento demarcado pelas paredes das fibras; Porosidade difusa; Vasos majoritariamente solitários, vasos múltiplos em cadeias radiais; Tilos presentes; Parênquima axial difuso e difuso em agregados; Placa de perfuração simples; Raios heterogêneos; Raios unisseriados e multisseriados e com a porção multisseriada da mesma largura que a unisseriada .....

**Pinhão** *Jatropha mutabilis*

#### 4.3 ANÁLISE ANATÔMICA DO CARVÃO VEGETAL

Ao visualizar as imagens das seções transversais (Figura 17 e 18) das espécies avaliadas é possível identificar a manutenção do arranjo das células, a conservação da anatomia da madeira após o regime de carbonização adotado.

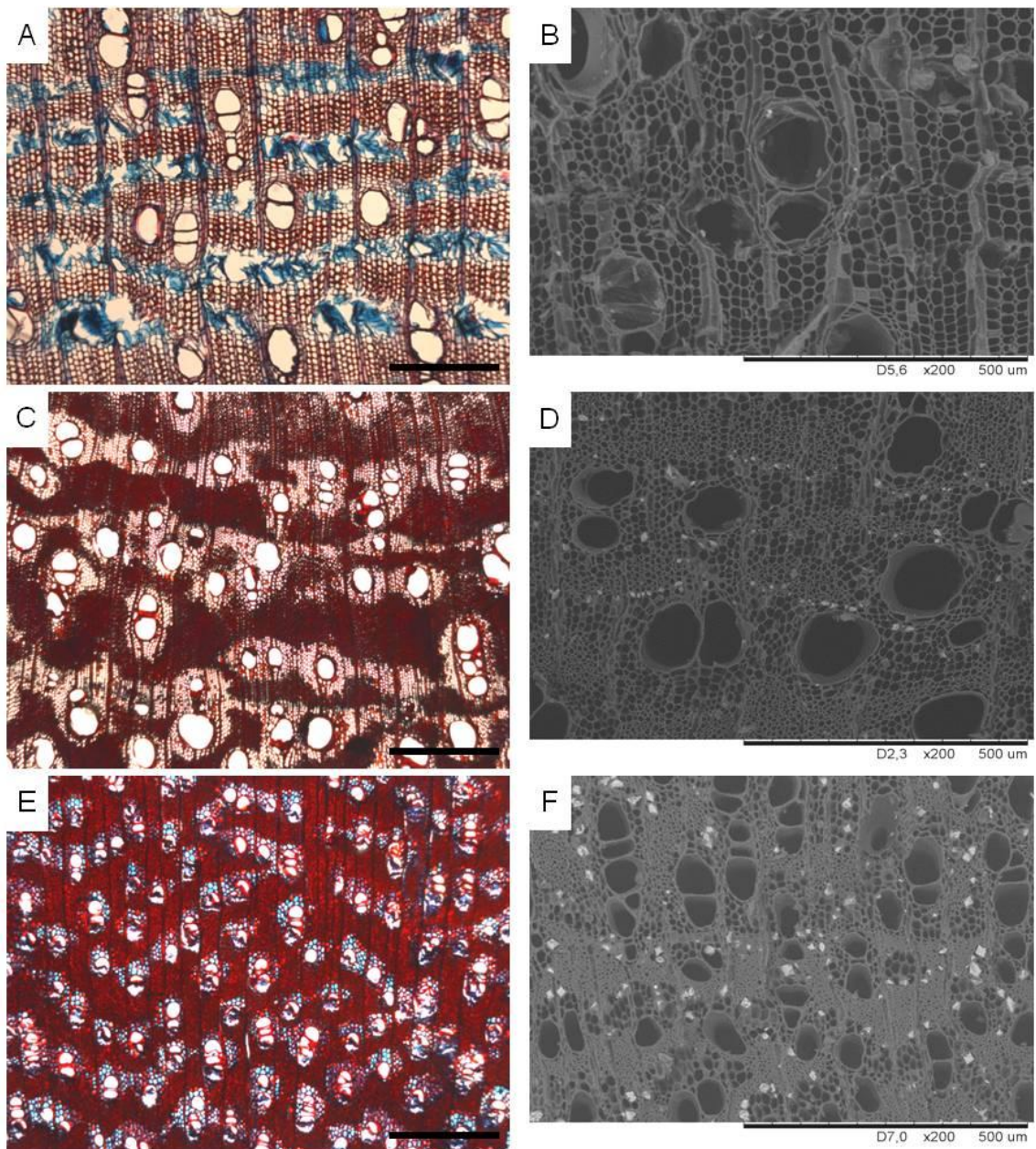


FIGURA 17 – SECÇÕES TRANSVERSAIS (MADEIRA E CARVÃO). A/B – *Luetzelburgia auriculata*; C/D – *Mimosa tenuiflora*; E/F – *Poincianella bracteosa*. ESCALA CORRESPONDENTE 500µm. FONTE: O autor (2015).

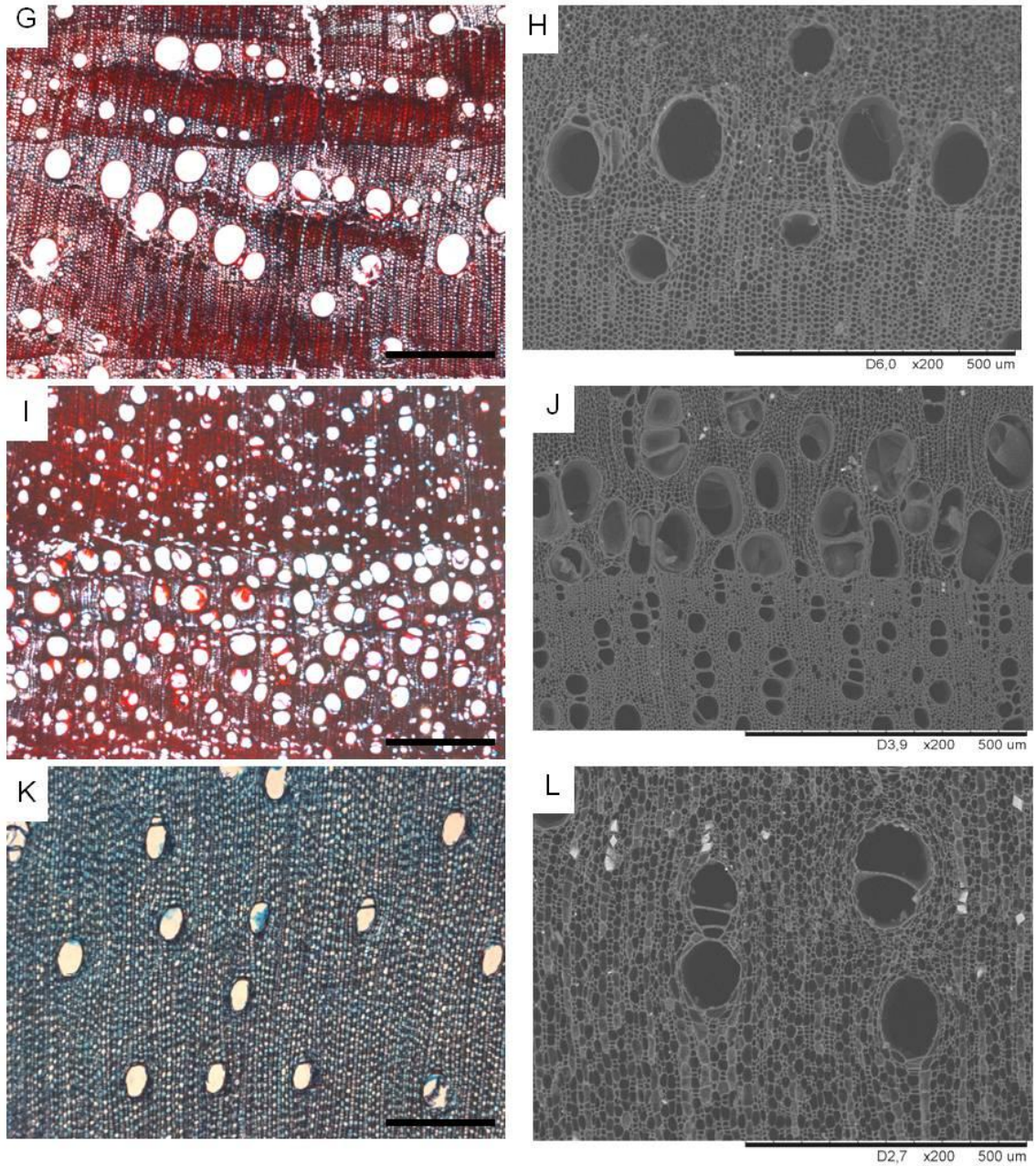


FIGURA 18 – SECÇÕES TRANSVERSAIS (MADEIRA E CARVÃO). G/H – *Combretum leprosum*; I/J – *Croton argyrophyloides*; K/L – *Jatropha mutabilis*; ESCALA CORRESPONDENTE 500μm.  
 FONTE: O autor (2015)

TABELA 5 – ALTERAÇÕES QUANTITATIVAS NA ANATOMIA DO CARVÃO VEGETAL.

Espécies	Ø de Vasos ( $\mu\text{m}$ )		Frequência ( $\text{n}/\text{mm}^2$ )		Redução da Área Transversal (%)	Largura de Raios ( $\mu\text{m}$ )		Altura de Raios ( $\mu\text{m}$ )	
	Madeira	Carvão	Madeira	Carvão		Madeira	Carvão	Madeira	Carvão
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	109 a (23,37)	85 b (13,01)	6 a (1,57)	14 b (2,79)	45 ab (12,25)*	85 a (19,35)	36 b (9,15)	634 a (162,28)	598 a (186,01)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	120 a (23,48)	78 b (12,74)	10 a (2,03)	15 b (4,29)	30 c (11,94)*	27 a (5,10)	16 b (4,14)	158 a (47,49)	111 b (66,05)
<i>Poincianella bracteosa</i>	68 a (8,57)	59 b (9,90)	35 a (6,36)	48 b (10,04)	40 b (23,22)*	21 a (4,22)	21 a (3,45)	113 a (16,56)	146 b (18,16)
<i>Combretum leprosum</i>	80 a (12,72)	79 a (26,34)	--	--	40 b (14,73)*	22 a (3,79)	20 a (3,94)	275 a (94,47)	342 a (146,29)
<i>Croton argyrophyloides</i>	96 a (18,85)	57 b (13,54)	--	--	49 a (32,63)*	14 a (2,71)	11 b (3,23)	130 a (35,00)	117 a (30,83)
<i>Jatropha mutabilis</i>	57 a (9,28)	85 b (14,40)	5 a (1,43)	7 b (1,81)	40 b (7,73)*	32 a (5,90)	23 b (3,97)	773 a (326,50)	431 b (200,56)

Entre parênteses os valores de desvio padrão; \*Valores do coeficiente de variação. Letras diferentes na mesma coluna significam diferença estatística pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

FONTE: O autor (2015).

Como observado na tabela 5, houve de modo geral um aumento na frequência e uma diminuição no diâmetro tangencial dos vasos aliados a grande contração do material durante o processo de carbonização, comprovada pela redução média de 41% das seções transversais dos corpos de prova. As espécies que demonstraram maior redução na área transversal foram o *Croton argyrophyloides* e *Luetzelburgia auriculata*, com 49 e 45% respectivamente. Com maior redução na área transversal, o *C. argyrophyloides* também apresentou maior diminuição no diâmetro dos vasos após a carbonização, com uma variação de aproximadamente 40%. É importante ressaltar que, de acordo com IAWA (1989) não são efetuadas medições para frequência de vasos quando a espécie apresenta porosidade em anel poroso. Seguindo esta recomendação não é possível avaliar a variação de vasos/mm<sup>2</sup> antes e após a pirólise deste material.

O comportamento referente ao diâmetro e frequência de vasos das espécies da Caatinga, com exceção a *Jatropha mutabilis*, ocorreu da mesma forma que para espécies tropicais analisadas por Muniz *et al* (2013) e Muniz *et al* (2012a) causadas pela eminente contração das células.

Na espécie *Jatropha mutabilis* houve um aumento no diâmetro dos vasos do carvão, comparados à madeira. Este aumento ocorreu devido à ocorrência de inchamentos no material durante o processo, o estufar das amostras fez com que o diâmetro dos vasos aumentasse. Muniz *et al* (2012a) cita que expansões no carvão vegetal podem ser causadas pela formação de gases, alterações químicas das substâncias das células podem contribuir para que isto ocorra.

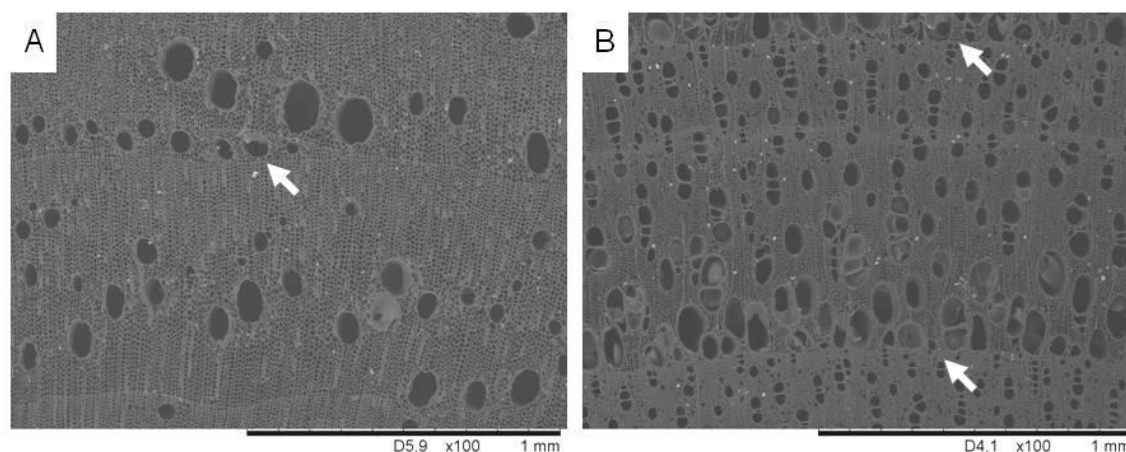


FIGURA 19. POROSIDADE EM ANÉIS POROSOS (CARVÃO). A – *Combretum leprosum*, FALSO ANEL DE CRESCIMENTO; B – *Croton argyrophyloides*, DEMARCAÇÃO DO INÍCIO E TÉRMINO DO ANEL DE CRESCIMENTO; ESCALA CORRESPONDENTE 1mm.  
FONTE: O autor (2015).

Para as espécies que não apresentaram porosidade difusa, a porosidade em anéis porosos após a carbonização das amostras se tornou ainda mais evidente (Figura 19), devido a retratibilidade das amostras no processo. Em *Combretum leprosum*, tanto na madeira quanto no carvão vegetal, foi possível visualizar a formação de falsos anéis de crescimento.

As alterações referentes a altura e largura dos raios estão diretamente associadas à retratibilidade das amostras após o processo de carbonização. Com relação a largura dos raios, com exceção de *Poincianella bracteosa*, todas as espécies apresentaram diminuição entre os valores mensurados na madeira para os do carvão vegetal, sendo significativas para *Croton*, *Jatropha*, *Luetzelburgia* e *Mimosa*. A alteração mais drástica foi para a espécie *Luetzelburgia auriculata* com uma diferença constatada de aproximadamente 58% entre os valores médios da largura de raios.

Muniz *et al* (2012b) ao avaliar duas espécies de angiospermas, pertencentes a família Fabaceae, de floresta tropical, obteve aumento da largura de raio para *Cedrelinga catenaeformis* e diminuição para *Enterolobium*

*schomburgkii*. Afirmando que o comportamento em relação a largura dos raios é relatado em outros trabalhos e também é desconexo, o que indica que neste caso a espécie é o fator relevante.

Apesar de Gonçalves (2010) constatar aumento na altura dos raios para o grupo de espécies analisadas do cerrado paulista, analisando os valores de altura dos raios, no presente trabalho houve aumentos e reduções significativas em suas dimensões, não resultando em um comportamento padrão para estas seis espécies da Caatinga.

Após a visualização das secções transversais dos carvões vegetais e das espécies aqui analisadas é possível verificar que as características anatômicas se mantiveram após o processo de carbonização como observado por Muniz *et al* (2012b) com espécies de angiospermas e gimnospermas.

Em *Poincianella* e *Mimosa* o carvão vegetal apresentou, no sentido dos raios, rachaduras bem evidentes, grandes fendas, e em grande número. Para *Combretum* as rachaduras ocorreram também no sentido dos raios, porém menos aparentes e com fendas menores (Figura 20). Muniz *et al* (2012b) cita também a ocorrência de rachaduras nos raios e também nas linhas de parênquima axial.

Em *Croton argyrophyloides* as rachaduras foram mínimas e quando visíveis não obedeciam a um padrão de ocorrência. Neste caso cabe destacar que em algumas amostras é possível verificar pequenas rachaduras no sentido dos anéis de crescimento, no local das faixas mais porosas do anel de crescimento, visíveis também em *Combretum leprosum*.

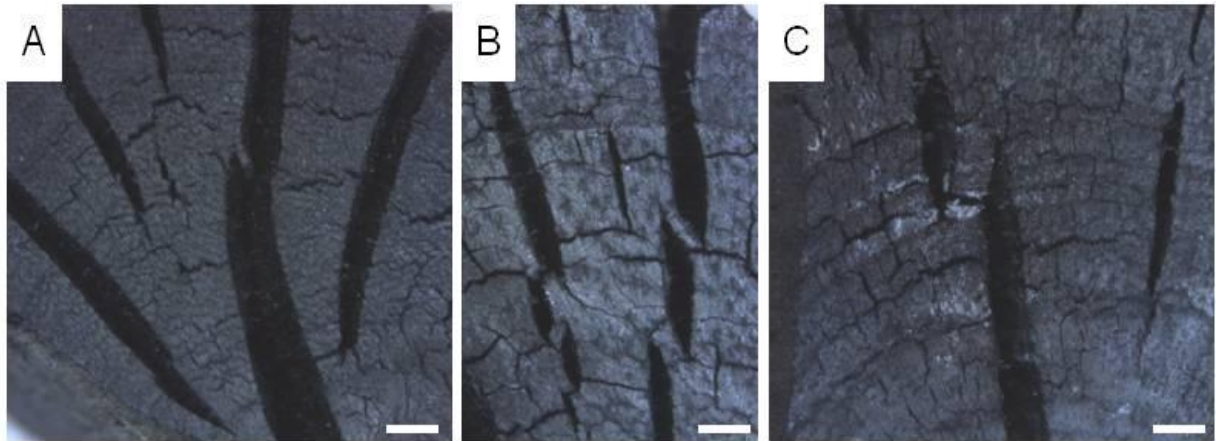


FIGURA 20 – RACHADURAS PRESENTES NO CARVÃO VEGETAL. IMAGEM EM ESTEREO MICROSCÓPIO, A – *Poincianella bracteosa*; B – *Mimosa tenuiflora*; C – *Combretum leprosum*. ESCALA CORRESPONDENTE 1mm. FONTE: O autor (2015).

Para as espécies *Jatropha* e *Luetzelburgia* foram detectadas rachaduras pequenas e bem mais escassas, não tão claras de se observar, quando comparadas com as outras espécies.

Como constatado em outros trabalhos (GONÇALVEZ *et al*, 2012; MUNIZ *et al*, 2012a; MUNIZ *et al*, 2013), qualitativamente, as estruturas anatômicas não se alteraram, podendo ser observado na face transversal ainda no carvão vegetal características importantes para a identificação de espécies, como a porosidade e o tipo de parênquima axial.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA

##### 4.4.1 Madeira

TABELA 6 – VALORES DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DA MADEIRA.

<b>Espécies</b>	<b>TC (%)</b>	<b>ESAQ (%)</b>	<b>ET (%)</b>	<b>Lig (%)</b>	<b>MEap (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MEba (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>PCS (kcal/kg)</b>
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	2,46 b (2,84)	7,39 ab (0,9)	9,31 bc (1,09)	26,15 b (2,57)	0,30 e (13,99)	0,22 e (7,64)	4278 d (0,62)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	1,35 d (4,66)	7,48 a (4,84)	11,37 a (2,06)	30,71 a (0,23)	0,94 a (6,88)	0,84 a (11,17)	4544 b (0,46)
<i>Poincianella bracteosa</i>	4,28 a (3,6)	6,90 ab (6,36)	7,44 d (20,14)	22,25 c (3,08)	0,91 a (6,41)	0,88 a (6,55)	4408 c (0,67)
<i>Combretum leprosum</i>	1,93 c (19,33)	6,48 b (2,18)	8,23 cd (5,59)	29,77 a (1,29)	0,84 b (6,04)	0,76 b (6,70)	4250 d (0,39)
<i>Croton argyrophylloides</i>	0,79 e (17,48)	4,30 c (4,05)	6,51 d (4,17)	29,85 a (1,69)	0,73 c (4,56)	0,68 c (4,15)	4698 a (0,42)
<i>Jatropha mutabilis</i>	4,22 a (1,97)	7,37 ab (8,06)	10,39 ab (3,94)	22,81 c (2,15)	0,45 d (5,63)	0,35 d (6,64)	4673 a (0,55)

TC: Teor de cinzas; ESAQ: Extrativos solúveis em água quente; ET: Extrativos totais; Lig: Teor de lignina; MEap: Massa específica aparente; MEba: Massa específica básica; PCS: Poder calorífico superior; Entre parênteses os valores de coeficiente de variação (s). Letras diferentes na mesma coluna significam diferença estatística pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

FONTE: O autor (2015).

O teor de cinzas das espécies (tabela 6) apresentou uma amplitude máxima de 3,49 pontos percentuais entre as espécies, os valores máximos encontrados foram para as espécies de *Poincianella bracteosa* e *Jatropha mutabilis*, 4,28 e 4,22% respectivamente, não sendo diferentes estatisticamente pelo teste de Tukey a 95% de confiabilidade. As outras espécies deste trabalho forneceram valores significativamente distintos entre si.

Avaliando as características da madeira de duas espécies da Caatinga foram encontrados valores de 3,69% para *Poincianella pyramidalis* e 0,87% para *Handroanthus impertiginosus* (MEDEIROS NETO *et al*, 2014; MEDEIROS NETO *et al*, 2012).

Soares *et al* (2014) avaliando o teor de cinzas para híbridos de Eucaliptos encontrou um valor médio máximo de 0,41% para indivíduos com 3 anos de idade. Brand *et al* (2014) obteve um valor médio de 0,85% para toras de *Eucalyptus dunnii* Maiden com casca e com diferentes tempos de estocagem. O valor encontrado dentre as espécies da Caatinga mais próximo destes citados é de 0,79% para *Croton argyrophyloides*. Com base no baixo valor do teor de cinzas, esta apresenta bom indicativo para utilização como combustível e é a mais indicada para a produção de carvão vegetal. O teor de cinzas em torno de 1% é um bom índice para não prejudicar caldeiras e fornalhas e o elevado teor de cinzas na madeira não é benéfico, pois irá resultar em um carvão com elevado conteúdo de minerais (MACHADO *et al*, 2014; COSTA *et al*, 2014).

De acordo com os resultados obtidos para o teor de extrativos solúveis em água quente, o maior valor obtido foi para *Mimosa tenuiflora* com 7,48%,

enquanto que para a espécie *Croton argyrophyloides*, obteve-se o menor valor, 4,30%.

Na quantificação do teor de extrativos totais, a espécie *Mimosa tenuiflora* apresentou o maior valor dentre as espécies, 11,37%, sendo estatisticamente comprovado. As espécies *Poincianella bracteosa* e *Croton argyrophyloides* apresentaram os menores valores, 7,44 e 6,51% respectivamente.

Costa *et al* (2014) em sua avaliação com cinco espécies do cerrado brasileiro, encontraram valor médio de 6,24% ( $s = 21,51$ ). No presente trabalho para madeiras da Caatinga a média obtida foi de 8,88% ( $s = 20,64$ ). O valor demonstrado por Medeiros *et al* (2014) para espécie de *Poincianella pyramidalis* foi de 11,81%, sendo bem superior ao encontrado neste trabalho para espécie *Poincianella bracteosa*.

Soares *et al* (2014) obtiveram um teor de extrativos totais médio de 9,04% para híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*. Santos *et al* (2011) avaliando quatro clones de eucalipto constataram um valor médio de 5% para extrativos totais.

O teor de lignina classificou as espécies em três grupos distintos, o grupo com maior valor, média de 30,11% (*Mimosa*, *Croton* e *Combretum*), uma espécie com valor intermediário, *Luetzelburgia*, 26,15% e o grupo com menor valor médio, 22,53%, para *Jatropha* e *Poincianella*.

Os valores de massa específica aparente apresentaram extremos bem distantes, constituindo uma faixa bem larga, com valor máximo e mínimo de 0,94 e 0,30 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, para *Mimosa tenuiflora* e *Luetzelburgia auriculata*.

Oliveira *et al* (2006) e Santos *et al* (2011) demonstram valores de densidade básica de 0,90 g/cm<sup>3</sup> e de 0,91 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente, para *Mimosa tenuiflora* e dentro da faixa estabelecida por Silva *et al* (2011) de 0,86 a 1,03 g/cm<sup>3</sup>.

Santos *et al* (2011) ao analisar *Croton sonderianus* apresenta valores entre 0,65 a 0,68 g/cm<sup>3</sup>, estando o valor obtido neste trabalho para *Croton argyrophyloides*, de 0,68 g/cm<sup>3</sup>, dentro da margem encontrada para *C. sonderianus*. Para *Combretum leprosum* o autor apresenta medidas entre 0,65 a 0,73 g/cm<sup>3</sup>, inferiores ao valor aqui encontrado de 0,76g/cm<sup>3</sup>.

O valor encontrado para densidade básica de *Poincianella* de 0,88 g/cm<sup>3</sup> é bem inferior ao descrito por Medeiros Neto *et al* (2014) de 1,05 g/cm<sup>3</sup>.

Com relação ao poder calorífico, se destacaram as espécies *Croton argyrophyloides* e *Jatropha mutabilis*, com 4698 e 4673 kcal/kg respectivamente, não sendo diferentes significativamente entre si, mas sendo superior ao valor encontrado para as outras espécies. Carneiro *et al* (2013) expõe valores de poder calorífico superior de 4646 kcal/kg para *Croton sonderianus*, sendo contíguo ao obtido para *Croton argyrophyloides*. Os menores valores detectados foram 4278 e 4250 kcal/kg, para *Luetzelburgia* e *Combretum* respectivamente.

Através de levantamento bibliográfico apresentado por Quirino *et al* (2004) é determinado um valor médio de poder calorífico superior de 4693 kcal/kg (s = 3,88) para diferentes espécies de eucaliptos, com o coeficiente de variação obtido é possível afirmar que não há diferença significativa entre os valores encontrados para as catorze espécies de eucalipto utilizadas e os valores constatados para *Croton argyrophyloides* e *Jatropha mutabilis*.

Há valores na literatura, principalmente para *Mimosa tenuiflora*, conhecida vulgarmente como Jurema-preta que comercialmente é usada como lenha devido ao seu alto poder calorífico (MATTOS *et al*, 2012). O valor encontrado para a espécie, 4544 kcal/kg, encontra-se na faixa dos valores médios encontrados para a Jurema-preta que variam de 4482 a 4693 kcal/kg (OLIVEIRA *et al*, 1999; OLIVEIRA, 2003). A madeira de jurema-preta é utilizada para lenha e há relatos que a espécie produz carvão com elevado poder calorífico. A espécie, amparada por diversos estudos, apresenta um bom potencial para uso como combustível seja como madeira ou transformada em carvão vegetal (OLIVEIRA *et al*, 2006).

Tomando como referência o poder calorífico superior da Jurema-preta como um valor eficiente para sua utilização energética, sendo a espécie mais utilizada como fonte energética na Caatinga (PAES *et al*, 2013), é possível indicar, com base nesta característica, espécies deste bioma que possuem valores superiores, como é o caso da *Jatropha mutabilis* e o *Croton argyrophylloides*.

Medeiros *et al* (2014) descrevem um valor médio do poder calorífico superior para *Poincianella pyramidalis* de 4413,50 kcal/kg, sendo bem próximo ao encontrado para *P. bracteosa*, 4408 kcal/kg.

O valor médio do poder calorífico superior para madeiras da Caatinga encontrado foi de 4475 kcal/kg (s= 4,09), sendo menor do que o obtido por Costa *et al* (2014) para seis espécies do cerrado brasileiro, 7440 kcal/kg (s = 2,60) e próximo ao descrito por Carneiro *et al* (2013) com oito espécies do semiárido brasileiro, 4611 kcal/kg.

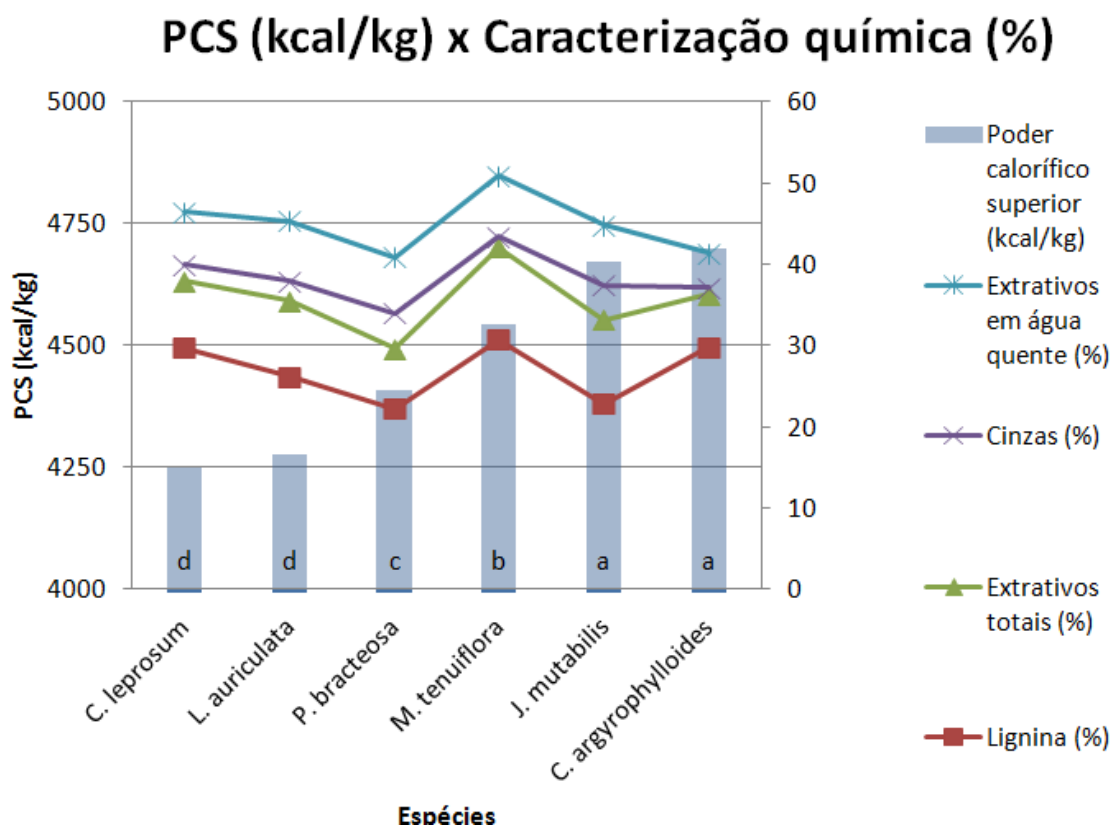


FIGURA 21 – VALORES DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR E DA CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DAS SEIS ESPÉCIES DA CAATINGA.

FONTE: O autor (2015).

Apesar de Quirino *et al* (2004) citarem que o poder calorífico é mais alto quanto maior o teor de lignina e de extrativos, devido ao fato de que eles conterem menor quantidade de oxigênio quando comparado aos polissacarídeos presentes na holocelulose. Ao visualizar o gráfico acima, as espécies estão dispostas à medida que o PCS aumenta, não há relação entre os valores obtidos com a caracterização química da madeira com o poder calorífico superior.

No entanto, as linhas das propriedades químicas mensuradas seguem um mesmo comportamento, o que não demonstra significativamente a ocorrência de correlação entre as mesmas, observadas na tabela 6.

TABELA 7 – RELAÇÕES ENTRE AS VARIÁVEIS PARA AS SEIS MADEIRAS DA CAATINGA.

Variável	TC	ESAQ	ET	Lig	Hol	MEap	MEba	PCS
<b>TC</b>	1,00	0,54	0,12	<b>-0,96</b>	0,61	-0,23	-0,21	-0,07
<b>ESAQ</b>		1,00	0,79	-0,39	-0,24	-0,20	-0,25	-0,38
<b>ET</b>			1,00	0,02	-0,66	-0,17	-0,26	0,06
<b>Lig</b>				1,00	-0,76	0,36	0,32	-0,02
<b>Hol</b>					1,00	-0,21	-0,13	0,03
<b>MEap</b>						1,00	1,00	0,03
<b>Meba</b>							1,00	0,02
<b>PCS</b>								1,00

TC: Teor de cinzas; ESAQ: Extrativos solúveis em água quente; ET: Teor de extrativos totais; Lig: Teor de lignina; Hol: Teor de holocelulose; MEap: Massa específica aparente; MEba: Massa específica básica; PCS: Poder calorífico superior. \*Significativo pelo teste t ( $p < 0,05$ ).  
 FONTE: O autor (2015).

Analisando de maneira conjunta a tabela 7 de correlação entre as variáveis analisadas para caracterização química e energética da madeira de seis espécies da Caatinga, observa-se a ocorrência de relação negativa e significativa entre o teor de cinzas e o teor de lignina. Brito e Barrichelo (1977) encontraram correlação negativa e significativa quando relacionados o teor de lignina da madeira e o teor de cinzas do carvão vegetal, analisando um conjunto de dez espécies de eucaliptos.

Apesar de não ser uma correlação significativa (-0,76), cabe destacar a relação inversa entre os teores de lignina e de holocelulose, que indica que quanto maior for o teor de lignina, menor será o teor de holocelulose, constatado também por Trugilho *et al* (1996) em *Eucalyptus saligna* e por Vale *et al* (2010) para um conjunto de cinco espécies de Cerrado.

Os valores de densidade aparente e básica para as seis espécies analisadas não apresentaram correlação significativa com outras propriedades

analisadas, o valor mais alto de correlação desta variável foi de 0,36, relacionada com o teor de lignina da madeira.

#### 4.4.2 Carvão Vegetal

TABELA 8 - VALORES DA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO CARVÃO.

<b>Espécies</b>	<b>TC (%)</b>	<b>TV (%)</b>	<b>TCF (%)</b>	<b>PCS (kcal/kg)</b>	<b>I (%)</b>
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	8,12 d (0,87)	20,14 c (2,42)	71,74	6432 b (4,90)	3,54 a (32,74)
<i>Mimosa tenuiflora</i>	1,39 b (3,92)	28,04 a (1,90)	70,57	7169 a (1,87)	2,68 a (48,25)
<i>Poincianella bracteosa</i>	6,79 d (1,14)	28,36 a (1,08)	64,85	6741 b (2,64)	2,92 a (14,85)
<i>Combretum leprosum</i>	3,03 c (2,87)	25,89 a (4,24)	71,08	7353 a (3,30)	1,38 a (26,68)
<i>Croton argyrophylloides</i>	1,00 a (8,21)	33,04 b (4,90)	65,96	7095 a (4,17)	2,80 a (40,57)
<i>Jatropha mutabilis</i>	11,75 e (0,36)	32,43 b (3,45)	55,82	5767 c (1,06)	1,51 a (53,28)

TC: Teor de cinzas; TV: Teor de voláteis; TCF: Teor de carbono fixo; PCS: Poder calorífico superior; I: Índice de quebra e abrasão. Entre parênteses os valores de coeficiente de variação. Letras diferentes na mesma coluna significam diferença estatística pelo teste de Tukey (95% de probabilidade).

FONTE: O autor (2015).

Para as espécies da Caatinga, as médias de teor de cinzas, teor de voláteis e teor de carbono fixo foram de 5,3%, 27,98% e 66,68%, respectivamente (tabela 8).

De acordo com CENBIO (2008) o carvão vegetal para ser indicado para utilização na redução de minérios de ferro deve apresentar baixos valores de voláteis e cinzas, além de um valor mínimo de 80% de teor de carbono fixo. As

espécies cujos carvões apresentaram valores mais próximos deste foram a *Luetzelburgia*, *Combretum* e a *Mimosa*, todas estas com valores acima de 70% de carbono.

Brito e Barrichelo (1977) avaliando o carvão vegetal de espécies de Eucaliptos, encontraram valores médios de 75,6% para teor de carbono fixo, 23,9% para teor de voláteis e 0,5% para teor de cinzas.

Oliveira *et al* (2006) obteve valores médios de 26,72% de voláteis, 1,32% de cinzas e 71,97% de carbono fixo para o carvão vegetal de *Mimosa tenuiflora*, bem próximos aos aqui relatados.

O alto índice de cinzas é um fator contraproducente do ponto de vista da qualidade do carvão vegetal. Para Vital *et al* (1986), as cinzas oriundas de elementos minerais da madeira e da casca, são prejudiciais no processo siderúrgico de alguns metais, portanto é apreciável uma menor porcentagem possível de cinzas para um melhor aproveitamento do carvão vegetal. De acordo com Schoninger e Zinelli (2012), valores de 1 a 3% são mais adequados para um carvão de boa qualidade, logo com base no teor de cinzas se destacam as espécies: *Croton argyrophyloides* (1,00%), *Mimosa tenuiflora* (1,39%) e até *Combretum leprosum* (3,03%).

Santos *et al* (2011) descreveram valores médios para o poder calorífico do carvão vegetal de clones de eucalipto que variaram entre 8210 e 8515 kcal/kg, sendo que o maior poder calorífico representa um menor consumo de material, considerando uma produtividade constante, especialmente para as siderúrgicas. Nenhuma das espécies da Caatinga alcançou a casa dos 8000 kcal/kg, sendo o valor máximo para a espécie de *Combretum leprosum*, 7353 kcal/kg.

Ao utilizar uma metodologia particular, no sentido de que não há referências para comparação dos índices de quebra e abrasão realizados da mesma forma como neste estudo, os valores de friabilidade das amostras de carvão vegetal podem ser comparados somente entre as espécies do presente trabalho.

Os valores médios de friabilidade apresentaram intervalo de 2,16 pontos percentuais entre as espécies com menor e maior índice, *Combretum* e *Luetzelburgia*, 1,38% e 3,54%, respectivamente.

## 5 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Com relação a anatomia da madeira, a maioria das espécies apresentou arranjo difuso, vasos solitário e múltiplos, além de placas de perfuração simples.

A análise da anatomia do carvão demonstrou que é possível realizar a identificação das espécies, mesmo após o regime de carbonização. A anatomia da madeira se conserva, porém é necessário treinamento de pessoal para tal função, visto que a identificação dos elementos no carvão vegetal é mais difícil.

Referente às alterações quantitativas na anatomia da madeira para o carvão, a tendência é um aumento na frequência de vasos ( $n^\circ/\text{mm}^2$ ) e uma diminuição no diâmetro tangencial de vasos. Para as espécies da Caatinga a redução da área transversal da amostra após a carbonização atinge 40%.

Sobre alterações no plano tangencial, a altura de raios não forneceu um padrão de variação da madeira para o carvão vegetal.

Com relação a indicação ao uso de espécies para geração de energia, baseado na principal característica para tal, poder calorífico, tem se a madeira de *Croton argyrophylloides*, *Combretum leprosum* e *Mimosa tenuiflora* como as de maior destaque.

Com exceção da relação entre o teor de lignina e o teor de cinzas, nenhuma outra correlação entre as características químicas e físicas das espécies analisadas foi significativa.

O carvão vegetal de espécies da Caatinga obtido neste regime de carbonização é indicado para uso doméstico, sendo que para esta finalidade as exigências são menos rígidas quanto para siderurgia.

É necessária a continuação de estudos referentes a estas espécies para detectar quais elementos influenciam nas propriedades químicas além da anatomia da madeira, como a descrição dos extrativos em *Luetzelburgia auriculata*, madeira de baixa massa específica e com alto valor de poder calorífico.

Visto a importante participação no uso de recursos vegetais na região de Caatinga, no nordeste brasileiro, mais espécies devem ser avaliadas quanto às suas propriedades e índices de crescimento volumétrico, além do estudo da anatomia da madeira, aumentando a chave para identificação das madeiras deste bioma.

Recomenda-se ainda uma padronização para análise do índice de quebra e abrasão do carvão vegetal realizado a nível laboratorial, baseada em uma quantidade menor para ser ensaiada.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, U. P.; ANDRADE, L. H. C. Uso de recursos vegetais da Caatinga: O caso do agreste do estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil) **Interciencia**. Asociación Interciendia Caracas, Venezuela. V. 27, n. 7, p. 336-346. 2002.

ALVES JR, F. T. A.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; MARANGON, L. C.; CESPEDES, G. H. G. Regeneração natural de uma área de Caatinga no sertão pernambucano, Nordeste do Brasil. **Cerne**, Lavras, V. 19, n. 2, p. 229-235, abr./jun. 2013

ALVES, E. S. **Anatomia do lenho de algumas famílias arbóreas da flora brasileira de acordo com diferentes ambientes**. Tese. Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo (USP). 239 f. São Paulo/SP. 1997.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 1. Growth rings and vessels. **IAWA Journal**. V. 21, n. 1, p. 3-30. 2000.

ALVES, E. S.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V. Ecological trends in the wood anatomy of some Brazilian species. 2. Axial parenchyma, rays and fibres. **IAWA Journal**. V. 23, n. 4, p. 391-418. 2002.

ALVES, J. J. A. Geoecologia da Caatinga no semi-árido do nordeste brasileiro. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro. V. 2, n. 1, p. 58, jan./jul. 2007.

ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: Uma investigação ecogeográfica. **Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 3, p. 126-135, julho/setembro. 2009.

ALVES, M. V. Checklist das espécies de Euphrobiaceae Juss. Ocorrentes no semi-árido pernambucano, Brasil. **Acta bot. Bras.** V. 12, n. 3, p. 485-495 (Suplemento), 1998.

AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. L. Fenologia de espécies lenhosas da Caatinga do Seridó, RN. **R. Árvore**. V. 33, n. 3, p. 491-499. Viçosa (MG). 2009.

ANDRADE, A. M.; MACHADO, F. S. Comparação entre as propriedades físicas e mecânicas dos finos de carvão vegetal e de carvão mineral, para injeção nas ventaneiras de altos-fornos siderúrgicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 3, p. 273-279. 2004.

ANDRADE, L. A.; PEREIRA, I. M.; LEITE, U. T.; BARBOSA, M. R. V. Análise da cobertura de duas fitofisionomias de Caatinga, com diferentes históricos de uso, no município de São João do Cariri, Estado da Paraíba. **Cerne**, Lavras, V. 11, n. 3, p. 253-262, jul./set. 2005

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 *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, **Cerne**, Lavras, V. 19, n. 3, p. 423-431, jul./set. 2013

ARAÚJO, L. V. C.; LEITE, J. A. N.; PAES, J. B. Estimativa da produção de biomassa de um povoamento de jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret.) com cinco anos de idade. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 4, p. 347-352. 2004.

ARAÚJO, S. M. S. Gargalos de desenvolvimento e ações do estado no Pólo Gesseiro do Araripe – Pe. **Mercator**, V. 9, n. 19, p. 65-76. Mai./Ago. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**. Carvão Vegetal Determinação do Poder Calorífico. 13 p. Outubro. 1984.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8112**. Carvão Vegetal – Análise Imediata. 5 p. Outubro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8740**. Carvão Vegetal – Determinação do índice de quebra e abrasão. 4 p. Fevereiro. 1985.

BAAS, P., WHEELER, E. & FAHN, A. Some ecological trends in vessel characters. **IAWA Bulletin** n. 4, p. 141-159. 1983.

BARROS, B. C.; SILVA, J. A. A.; FERREIRA, R. L. C.; REBOUÇAS, A. C. M. N. Volumetria e sobrevivência de espécies nativas e exóticas no polo gesseiro do Araripe, PE. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 4, p. 641-647, out./dez. 2010.

BARROS, D. S. **Índices técnicos de conversão de resíduos de exploração florestal em carvão vegetal e caracterização de suas propriedades em dois sistemas de carbonização**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRAM. 49 p. 2009.

BRAADBAART, F.; POOLE, I. Morphological, chemical and physical changes during charcoalification of wood and its relevance to archaeological contexts. **Journal of Archaeological Science**. V. 35, n. 9, p. 2434-2445. Set. 2008.

BRAADBAART, F.; POOLE, I.; van BRUSSEL, A. A. Preservation potential of charcoal in alkaline environments: an experimental approach and implications for the archaeological record. **Journal of Archaeological Science**. V. 36, n. 8, p. 1672-1679. Ago. 2009.

BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Ed. Interciência, Rio de Janeiro. 131 p. 2010.

BRAND, M. A.; MUNIZ, G. I. B.; BRITO, J. O.; QUIRINO, W. F. Influência das dimensões da biomassa estocada de *Pinus taeda* L. e *Eucalyptus dunni* Maiden na qualidade do combustível para geração de energia. **R. Árvore**. V. 38, n. 1, p. 175-183. 2014.

BRITO, J. O. Carvão vegetal no Brasil: Gestões econômicas e ambientais. **São Paulo Energia**. Nº 64, maio/jun. 1990.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I. Densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. **IPEF**. N. 14, p. 9-20. 1977.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **IPEF**. Circular técnica nº 52. Jun. 1979.

CAMPELLO, F. C. B. O consumo específico de lenha como índice técnico para o ordenamento florestal no Araripe em Pernambuco. **Revista dos Mestrados Profissionais**. V. 2, n. 1, p. 23-43, jan./jun. 2013.

CARDOSO, M. T.; CARNEIRO, A. C. O.; DAMÁSIO, R. A. P.; JACOVINE, L. A. G.; VITAL, B. R. V.; MARTINS, B. C. M.; SANTOS, R. C. Efeito da combustão dos gases no rendimento gravimétrico da madeira de *Eucalyptus* sp. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 01, n. 02, p. 20-31, Nov. 2010.

CARLQUIST, S. **Comparative Wood Anatomy. Systematic, ecological, and evolutionary aspects of dicotyledon wood**. Springer. 2nd, completely rev. Ed. 448 p. 2001.

CASTRO, R. R.; SILVA, M. L.; LEITE, H. G.; OLIVEIRA, M. L. R. Rentabilidade econômica e risco na produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 4, p. 353-359, out./dez. 2007.

CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Carvão Vegetal: Aspectos técnicos, sociais, ambientais e econômicos. **Nota Técnica X**. 48 p. IEE/SP. Dezembro. 2008.

CORADIN, V.; MUNIZ, G. I. B. Normas e procedimentos em estudos de anatomia da madeira: Angiospermae II-Gimnospermae. Série Técnica 15. IBAMA. Brasília. 1992.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da Caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 13 (Supl.), p. 961-974. 2009.

COSTA, T. G.; BIANCHI, M. L.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, A. P. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 37-46, jan./mar. 2014.

COUTINHO, A. R.; FERRAZ, E. S. B. Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperatura de carbonização. **IPEF**, n. 38, p. 33-37, abr. 1988.

DRUMOND, M. A.; KIILL, L. H. P.; LIMA, P. C. F.; OLIVEIRA, M. C.; OLIVEIRA, V. R.; ALBUQUERQUE, S. G.; NASCIMENTO, C. E. S.; CAVALCANTI, J. Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da Caatinga. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA. In: Seminário para avaliação e identificação de ações prioritárias para a conservação, utilização sustentável e repartição de benefícios da biodiversidade do bioma Caatinga. **Anais**. EMBRAPA/CPATSA, UFPE e Conservation International do Brasil. Petrolina (Pernambuco). 2000.

DRUMOND, M. A.; PIRES, I. E.; OLIVEIRA, V. R.; OLIVEIRA, A. R.; ALVAREZ, I. A. Produção e distribuição de biomassa de espécies arbóreas no semi-árido brasileiro. **R. Árvore**. V. 32, n. 4, p. 665-669. Viçosa (MG). 2008.

DUBOC, E.; COSTA, C. J.; VELOSO, R. F.; OLIVEIRA, L. S.; PALUDO, A. Panorama atual da produção de carvão vegetal no Brasil e no Cerrado. **Anais**. IX Simpósio Nacional Cerrado, II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Brasília (DF). 2008.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco energético nacional 2013 – Ano base 2012**. Relatório síntese. 55 p. Rio de Janeiro, 2013.

EVANGELISTA, W. V.; SILVA, J. C.; VALLE, M. L. A.; XAVIER, B. A. Caracterização anatômica quantitativa da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake, **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 273-284, jun. 2010.

EVERT, R. F. **Anatomia das plantas de Esau: meristemas, células e tecidos do corpo da planta: sua estrutura, função e desenvolvimento**. Blucher. 3ª ed. Versão traduzida (Coord. MARCATI, C. R.) 726 p. 2013.

FARIAS, M. S. Q. **Efeitos do óleo essencial do *Croton argyrophyloides* Muell. Arg. e do  $\beta$ -cariofileno sobre a contratilidade de anéis da aorta de ratos**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Ciências Fisiológicas da Universidade Estadual do Ceará. 126 p. Fortaleza/CE. 2006.

FERRAZ, J. S. F.; FERREIRA, R. L. C.; SANTOS, M. V. F.; MEUNIER, I. M. J. Usos de espécies leñosas de La Caatinga Del município de Floresta em Pernambuco, Brasil: conocimiento de los índios de La aldea Travessão do Outro. **Bosque (Valdivia)**. V. 33, n. 2, p. 183-190. 2012.

FRANCA-ROCHA, W.; SILVA, A. B.; NOLASCO, M. C.; LOBÃO, J.; BRITTO, D.; CHAVES, J. M.; ROCHA, C. C. Levantamento da cobertura florestal e do uso do solo do Bioma Caatinga. **Anais**. XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, p. 2629-2636. Florianópolis (SC), abr. 2007.

GIULIETTI, A. M.; HARLEY, R. M. QUEIROZ, L. P.; RAPINI, A. Apresentando o cenário. In: **Rumo ao Amplo Conhecimento da biodiversidade do semi-árido brasileiro**. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). 144 p. Brasília. 2006.

GIULIETTI, A.MI. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. In: J.M.C. Silva, M. Tabarelli, M.T. Fonseca & L.V. Lins (orgs.). Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação. pp. 48-90. Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 2004

GOLDEMBERG, J. **Energia e desenvolvimento sustentável**. Ed. Blucher. Série sustentabilidade; V. 4, 94 f. São Paulo. 2010.

GOMES, M. J. S.; MENELAU, A. S.; MARQUES, M. W. C. F.; PAREYN, F. G. C.; BARROS, H. G. L. Geração de renda e o manejo florestal em assentamentos de Pernambuco. **Revista de Política Agrícola**. Ministério da Agricultura. Ano XXII, n. 4, p. 56-66. Out./Nov./Dez. 2013.

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

GONÇALVES, T. A. P.; RANGEL, A.; SCHEEL-YBERT, R. Caracterização anatômica do lenho carbonizado de espécies comuns do cerrado: Subsídio a estudos antracológicos e conservacionistas – I. **Anais**. IX Simpósio Nacional Cerrado, II Simpósio Internacional Savanas Tropicais. Brasília (DF). 2008.

GONÇALVES, T. A. P. **Anatomia do lenho e do carvão de espécies arbóreas do cerrado no estado de São Paulo**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP. 106 p. 2010.

HACKE, U. G.; JACOBSEN, A. L.; PRATT, R. B. Xylem function of arid-land shrubs from California, USA: an ecological and evolutionary analysis. **Plant, Cell & Environment**. V. 32, p. 1324-1333. 2009.

IAWA Committee. List of microscopic features for hardwood identification. **IAWA Bulletin**. V. 10, n. 3, p. 221-359. 1989.

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Diagnóstico do setor siderúrgico nos Estados do Pará e do Maranhão. **Relatório Técnico IBAMA**. Brasília. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e silvicultura 2005**. Rio de Janeiro ,IBGE/ Coordenação de Agropecuária. 2006a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Brasil, grandes regiões e unidades da federação**. Rio de Janeiro. 2006b.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Identificação macroscópica de madeiras: Chave de identificação de madeiras comerciais**. Educação Continuada IPT. 28 p. Set. 2007.

KIILL, L. H.; RIBEIRO, M. F.; DIAS, C. T. V; SILVA, P. P.; SILVA, J. F. M. **Caatinga: flora e fauna ameaçadas de extinção**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. EMBRAPA Semi-Árido. 2009. Disponível em: [<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br>]

KIM, N. H.; HANNA, R. B. Morphological characteristics of *Quercus variabilis* charcoal prepared at different temperatures. **J Wood Sci**. V. 40, p. 392-401. 2006.

KITIN, P.; BEECKMAN, H.; FUJII, T.; FUNADA, R.; NOSHIRO, S.; ABE, H. What is disjunctive xylem parenchyma? A case study of the African tropical hardwood *Okoubaka aubrevillei* (Santalaceae). **American Journal of Botany**. V. 96, n. 8, p. 1399-1408. 2009.

LEAL, I. R.; SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; LACHER JR, T. E. Mudando o curso da conservação da biodiversidade na Caatinga do Nordeste brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte. V.1, n.1, p. 139-146, julho. 2005.

LIMA, B. G. **Caatinga: espécies lenhosas e herbáceas**. EdUfersa. 316p. 2011

MACHADO, G. O.; VOGEL, F.; SILVA, M. M. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas, químicas e energéticas do carvão de Cinamomo (*Melia azedarach* L.). **Ambiência**. V. 10, n. 1 p. 83-96. 2014.

MACHADO, M. F.; GOMES, L. J.; MELLO, A. A. Caracterização do consumo de lenha pela atividade de cerâmica no estado de Sergipe. **Revista Floresta**. Curitiba (PR), v. 40, n. 3, p. 507-514, jul./set. 2010.

MAIA, G. N. **Caatinga, árvores arbustos e suas utilidades**. Leitura & Arte. 2ª ed. São Paulo. 2012.

MAIA-SILVA, C. M. A.; SILVA, C. I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga**. Fundação Brasil Cidadão, 1ª ed. 195 p. Fortaleza – CE, 2012.

MARCATI, C. R.; ANGYALOSSY-ALFONSO, V.; BENETATI, L. Anatomia comparada do lenho de *Copaifera langsdorffii* Desf. (Leguminosae-Caesalpinoideae) de floresta e cerrado. **Rev. bras. Bot.** V. 24, n. 3, p. 311-320. São Paulo. Set. 2001.

MARTINELLI, G.; MORAES, M. A. **Livro vermelho da flora do Brasil**. Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro, 1. Ed. 1100p. 2013.

MATTOS, P. P.; BRAZ, E. M.; DOMENE, V. D.; PAREYN, F. G. C.; ALVAREZ, I. A.; LIMA, K. C. Crescimento diamétrico de jurema-preta em Limoeiro do Norte, CE. **Comunicado Técnico**. N. 310, 3 p. Embrapa Florestas, Colombo, PR. Dez. 2012.

MCCULLOH, K.; SPERRY, J. S.; LACHENBRUCH, B.; MEINZER, F. C.; REICH, P. B.; VOELKER, S. Moving water well: comparing hydraulic efficiency in twigs and trunks of coniferous, ring-porous, and diffuse-porous saplings from temperate and tropical forests. **New Phytologist**. V. 186, n. 2, p. 439-450. 2010.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; CALEGARI, L.; ALMEIDA, A. M. C.; PIMENTA, A. S.; CARNEIRO, A. C. O. Características físico-químicas e energéticas de duas espécies de ocorrência no semi-árido brasileiro. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 22, n. 3, p. 579-588, jul./set. 2012.

MEDEIROS NETO, P. N.; OLIVEIRA, E.; PAES, J. B. Relações entre as características da madeira e do carvão de duas espécies da Caatinga. **Floresta e Ambiente**. Acesso somente a versão virtual, *ahead of print*. <[http://www.scielo.br/pdf/floram/2014nahead/aop\\_051313.pdf](http://www.scielo.br/pdf/floram/2014nahead/aop_051313.pdf)> 2014.

MELO, H. C.; CASTRO, E. M.; SOARES, A. M.; MELO, L. A.; ALVES, J. D. Alterações anatômicas e fisiológicas em *Setaria anceps* Stapf ex Massey e *Paspalum paniculatum* L. sob condições de déficit hídrico. **Hoehnea**. N. 34(2), p. 145-153, 3 tab. 2007.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons**. Vol. I e II. 1500p. Clarenton Press, Oxford. 1950.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Biomas – Caatinga. Portal do Ministério do Meio Ambiente. [[www.mma.gov.br](http://www.mma.gov.br)] Último acesso em: Março/2014.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Instrução Normativa n. 6, de 23 de setembro de 2008**. Reconhece como espécies da flora brasileira ameaçada de extinção aquelas constantes do Anexo I e reconhece como espécies da flora brasileira com deficiência de dados aquelas constantes do Anexo II a esta Instrução. Ministério de Estado do Meio Ambiente. Brasília, DF. 2008.

MUNIZ, G. I. B.; FRANÇA, R. F.; FIORESE, A. E.; NISGOSKI, S. Análisis de La estructura anatômica de La madera y Del carbón de dos espécies de Sapotaceae. **Maderas, Ciencia y tecnologia**. V. 15, n. 3, p. 311-320. 2013.

MUNIZ, G. I. B.; NISGOSKI, S.; FRANÇA, R. F.; SCHARDOSIN, F. Z. Anatomia comparativa da madeira e do carvão de *Cedrelinga catenaeformis* Ducke e *Enterolobium schomburgkii* Benth. para fins de identificação. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 94, p. 291-297, jun. 2012a.

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

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B.; BATISTA, F. R. R.; MOLLEKEN, R. E. Influence of carbonization temperature on the anatomical characteristics of *Ocotea porosa* (Nees & Mart. Ex Nees) L. Barroso. **Wood Sci Technol.** V. 48, p. 301-309. 2014.

NISGOSKI, S.; MUNIZ, G. I. B.; FRANÇA, R. F.; BATISTA, F. R. R. Anatomia do lenho carbonizado de *Copaifera* cf. *langsdorfii* Desf. e *Dipteryx odorata* (Aubl.) Wild. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 03, n. 02, p. 66-79, Nov. 2012.

NISHIMIYA, K.; HATA, T.; IMAMURA, Y; ISHIHARA, S. Analysis of chemical structure of wood charcoal by X-ray photoelectron spectroscopy. **J Wood Sci.** V. 44, p. 56-61. 1998.

NOGUEIRA, F. C. B.; SILVA, J. W. L; BEZERRA, A. M. E.; MEDEIROS FILHO, S. Efeito da temperatura e luz na germinação de sementes de *Luetzelburgia auriculata* (Alemão) Ducke – Fabaceae. **Acta Botanica Brasilica.** V. 26, n. 4, p. 772-778, Out./Dez. 2012.

OLIVEIRA, A. C.; CARNEIRO, A. C. O.; VITAL, B. R.; ALMEIDA, W.; PEREIRA, B. L. C.; CARDOSO, M. T. Parâmetros de 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, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino.** Tese. Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa – UFV. 122 p. 2003.

OLIVEIRA, E. M.; SANTOS, M. J.; ARAÚJO, L. E.; SILVA, D. F. Desertificação e seus impactos na região semi-árida do Estado da Paraíba. **Ambiência.** V. 5, n. 1, p. 67-79, jan./abr. 2009.

OLIVEIRA, E.; VITAL, B. R.; PIMENTA, A. S.; LUCIA, R. M. D.; LADEIRA, A. M. M.; CARNEIRO, A. C. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. **R. Árvore**. V. 30, n. 2, p. 311-318. Viçosa (MG). 2006

OLIVEIRA, M. R.; RODRIGUES, J. M. E.; CHIAVONE-FILHO, O.; MEDEIROS, J. T. N. Estudo das condições de cultivo da Algaroba e Jurema Preta e determinação do poder calorífico. **Revista de ciência & tecnologia**. N. 14, p. 93-104. Nov. 1999.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; MEDEIROS NETO. P. N. Características físico-química, energética e dimensões das fibras de três espécies florestais do semiárido brasileiro. **Floresta e Ambiência**. V. 20, n. 4, p. 550-555. 2013.

PAES, J. B.; LIMA, C. R.; OLIVEIRA, E.; SANTOS, H. C. M. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies do semiárido brasileiro. **Ciência da Madeira (Braz. J. Wood Sci.)**, Pelotas, v. 3, n. 1, maio. 2012.

PAREYN, F. G. C. Os recursos florestais nativos e a sua gestão no estado de Pernambuco – o papel do manejo florestal sustentável. In: **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, 368p.; p. 65-75. Brasília (DF), 2010.

PAULA, J. E. Madeiras da Caatinga úteis para produção de energia. **Pesq. agropec. bras.** V. 28, n. 2, p. 153-165. Fevereiro, 1993.

PERNAMBUCO, SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE. **Região do Araripe: diagnóstico florestal**. 91p. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF. 2007.

PINHEIRO, P. C. C.; FIGUEIREDO, F. J.; SEYE, O. Influência da temperatura e da taxa de aquecimento da carbonização nas propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 159-168. 2005.

QUEIROZ, L. P. Angiospermas do Semi-Árido brasileiro. In: **Rumo ao Amplo Conhecimento da biodiversidade do semi-árido brasileiro**. Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT). 144 p. Brasília. 2006.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S. A.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182. 2004.

RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética. In: **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, 368p.; p. 65-75. Brasília (DF), 2010.

ROQUE, A. A.; LOIOLA, M. I. B. Potencial de uso dos recursos vegetais em uma comunidade rural no semiárido potiguar. **Revista Caatinga**. V. 26, n. 4, p. 88-98, out./dez. 2013.

SAMPAIO, D. F. NÓVOA, A. P. N.; SAMPAIO, J. S. B. Perícia em produtos e subprodutos florestais de atividade carvoeira na região sudoeste da Bahia. **Revista Científica do Depto. De Polícia Técnica**. Secretaria de Segurança Pública do estado da Bahia. Ano 04, n. 08, dezembro, 2007.

SAMPAIO, E. C. S. B. Características e potencialidades. In: **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Serviço Florestal Brasileiro, 368p.; p. 29-48. Brasília (DF). 2010.

SANTIAGO, B. H. S.; SELVAM, P. V. P.; MARINHO NETO, J.; OLIVEIRA, C. V. D.; SILVA, C. P. Conservação e cogeração de energia com produção de biocombustíveis derivados da lenha. **Anais**. In. 4º Encontro de Energia no Meio Rural. Campinas (SP). 2002.

SANTOS, J. S.; PESSOA, R. B. **A Problemática da desertificação no município de Picuí: Uma questão interdisciplinar**. In: Anais II Encontro Temático. PRODEMA/Universidade Federal da Paraíba, 8 p. Disponível em: <[www.prac.ufpb.br/anais/meae/Anais\\_II\\_Encontro\\_Tematico/](http://www.prac.ufpb.br/anais/meae/Anais_II_Encontro_Tematico/)>. Acesso em: 09 set. 2014.

SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, A. F. M.; CASTRO, R. V. O.; BIANCHE, J. J.; SOUZA, M. M.; CARDOSO, M. T. Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SANTOS, M. J.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Biologia reprodutiva de duas espécies de *Jatropha* L. (Euphrobiaceae) em Caatinga, Nordeste do Brasil. **Revista Brasil. Bot.** V. 28, n. 2, p. 361-373, abr.-jun. 2005.

SCHEEL-YBERT, R. Teoria e métodos em antracologia. 1. Considerações teóricas e perspectivas. **Arquivos do Museu Nacional**. Rio de Janeiro, V. 62, n. 1, p. 3-14, jan./mar. 2004.

SCHONINGER, E. C.; ZINELLI, M. R. Análise qualitativa dos carvões de *Apuleia leiocarpa* e *Hymenaea courbaril* produzidos numa carvoaria de Matupá, no estado de Mato Grosso. **Revista e Ciências Agro-Ambientais**, Alta Floresta – MT. V. 10, n. 2, p. 135-140. 2012.

SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da Caatinga. **R. Árvore**. V. 32, n. 3, p. 567-575. Viçosa (MG). 2008

SILVA, J. A. L.; MEDEIROS, M. C. S.; AZEVEDO, P. V. Legislação ambiental e sustentabilidade na Caatinga. **Polemica Rev. Eletrônica**, UERJ, Rio de Janeiro. V. 11, n. 3, jul./set. 2012.

SILVA, J. M. C.; TABARELLI, M.; FONSECA, M. T.; LINS, L. V. (organizadores). **Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília (DF). 2004.

SILVA, L. B. **Variação na estrutura da madeira de quatro espécies da Caatinga Nordestina e seu potencial para o desenvolvimento sustentável**. Tese. Programa de Pós Graduação em Botânica. Universidade Estadual de Feira de Santana. 116 f. Feira de Santana/BA. 2006.

SILVA, L. B.; SANTOS, F. A. R.; GASSON, P.; CUTLER, D. Estudo comparativo da madeira de *Mimosa ophthalmocentra* Mart. ex Benth e *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. (Fabaceae-Mimosoideae) na Caatinga nordestina. **Acta Botanica Brasilica**, n. 25 (2), p. 301-314. 2011.

SILVA, M. G.; NUMAZAWA, S; ARAUJO, M. M.; NAGAISHI, T. Y. R.; GALVÃO, G. R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta Amazonica**. Vol. 37 (1), p. 61-70. 2007.

SILVA, S. O.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, J. A. A.; LIRA, M. A.; ALVES JUNIOR, F. T.; CANO, M. O.; TORRES, J. E. L. Regeneração natural em um remanescente de Caatinga com diferentes históricos de uso no agreste pernambucano. **R. Árvore**. V. 36, n. 3, p. 441-450. Viçosa (MG). 2012.

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

TAPPI TEST METHODS. **T 204 cm-97**. Solvent extractives of wood and pulp. 1997.

TAPPI TEST METHODS. **T 207 om-93**. Water solubility of wood and pulp. 1993.

TAPPI TEST METHODS. **T 208 om-94**. Moisture in wood, pulp, paper, and paperboard by toluene distillation. 1994.

TAPPI TEST METHODS. **T 211 om-93**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. 1993.

TAPPI TEST METHODS. **T 222 om-98**. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 1998.

TAPPI TEST METHODS. T 257 cm-02. Sampling and preparing wood for analysis. 2002.

THÉRY-PARISOT, I.; CHABAL, L.; CHRZAVZEZ, J. Anthracology and taphonomy, from wood gathering to charcoal analysis. A review of the taphonomic processes modifying charcoal assemblages, in archaeological contexts. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. N. 291, p. 142-153. 2010.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influencia da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1. 1996.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para produção de carvão vegetal. **Cerne**, Lavras, v. 7, n. 2, p. 104-114. 2001.

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. 1-2, p. 45-53. 2001.

TRUGILHO, P. F.; SILVA, J. R. M.; MORI, F. A.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M.; MENDES, L. F. B. Rendimentos e características do carvão vegetal em função da posição radial de amostragem em clones de *Eucalyptus*. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 2, p. 178-186, abr./jun. 2005.

UHLIG, A.; GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. **Rev. Brasileira de Energia**. Vol. 14, n. 2, p. 67-85, 2º Sem. 2008

VALE, A. T.; DIAS, I. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de Cerrado. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 20, n. 1, p. 137-145, jan./mar. 2010.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. **Ecorregiões propostas para o bioma Caatinga**. Associação Plantas do Nordeste. Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil. 76p. 2002.

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 de carbonização de *Eucalyptus microcorys*. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 1, p. 59-64, jan./mar. 2013.

VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade básica da madeira de clones de básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **R. Árvore**. V. 10, n. 2, p. 151-160. Viçosa (MG). 1986.

VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C. Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil. **BNDES Setorial**. N. 30, p. 237-297. 2009.

XAVIER, E. P. L.; PAES, J. B.; LIRA FILHO, J. A. Potencial madeireiro de duas microrregiões do estado da Paraíba. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 103-112. 2005.

WIKIPÉDIA. Microrregião de Piancó. 2014. Disponível em:

<[http://pt.wikipedia.org/wiki/Microrregi%C3%A3o\\_de\\_Pianc%C3%B3](http://pt.wikipedia.org/wiki/Microrregi%C3%A3o_de_Pianc%C3%B3)>

WORLD WIDE FUND FOR NATURE (WWF). Bioma Caatinga. 2014.

Disponível em:

<[http://www.wwf.org.br/natureza\\_brasileira/questoes\\_ambientais/biomas/bioma\\_caatinga/mapa\\_caatinga/](http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/biomas/bioma_caatinga/mapa_caatinga/)>

## APÊNDICES

**Apêndice 1. Valores médios, máximos e mínimos, avaliação quantitativa da madeira de espécies da Caatinga.**

Tabela 1. Vasos

Vasos		
Espécies	Diâmetro Tangencial ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ )
<i>Poincianella bracteosa</i>	49 - 68 - 90 8,57	25 - 35 - 52 6,36
<i>Combretum leprosum</i>	53 - 80 - 109 12,72	Nsa* -
<i>Croton argyrophyloides</i>	63 - 96 - 142 18,85	Nsa* -
<i>Jatropha mutabilis</i>	39 - 57 - 86 9,28	3 - 5 - 9 1,43
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	68 - 109 - 163 23,37	3 - 6 - 10 1,57
<i>Mimosa tenuiflora</i>	77 - 120 - 188 23,48	7 - 10 - 15 2,17

Tabelas 2. Raios

Raios			
Espécies	Altura ( $\mu\text{m}$ )	Largura ( $\mu\text{m}$ )	Frequência ( $\text{n}^\circ/\text{mm}^2$ )
<i>Poincianella bracteosa</i>	78 - 113 - 156	13 - 21 - 31	7 - 10 - 12
	16,56	4,22	1,47
<i>Combretum leprosum</i>	135 - 275 - 539	14 - 22 - 28	14 - 17 - 25
	94,47	3,79	3,20
<i>Croton argyrophylloides</i>	79 - 130 - 226	10 - 14 - 21	3 - 6 - 10
	35,00	2,71	1,57
<i>Jatropha mutabilis</i>	357 - 773 - 1587	22 - 32 - 43	13 - 16 - 22
	326,50	5,90	2,17
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	376 - 634 - 1033	49 - 85 - 124	2 - 4 - 5
	162,28	19,35	0,82
<i>Mimosa tenuiflora</i>	99 - 158 - 263	16 - 27 - 36	4 - 6 - 7
	47,49	5,10	0,83

Tabela 3. Fibras

<b>Fibras</b>		
<b>Espécies</b>	<b>Comprimento (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Espessura da Parede (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
<i>Poincianella bracteosa</i>	500 - 898 - 1250	2,1 - 2,9 - 4,3
	194,44	0,80
<i>Combretum leprosum</i>	325 - 721 - 975	5 - 8,7 - 12,5
	193,74	1,79
<i>Croton argyrophylloides</i>	350 - 517 - 700	3,2 - 5,7 - 8,7
	81,56	1,45
<i>Jatropha mutabilis</i>	900 - 1049 - 1500	5,2 - 8,2 - 12,9
	128,39	1,72
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	625 - 974 - 1350	7,5 - 9,6 - 12,3
	208,85	1,71
<i>Mimosa tenuiflora</i>	375 - 746 - 925	2,1 - 3,6 - 7,1
	152,53	1,13

## Apêndice 2. Tabelas para confecção de chave dicotômica.

Tabela 4. Características relacionadas aos vasos no corte transversal.

Espécies	Anel de Crescimento		Porosidade		Agrupamento		Arranjo		Tilos
	Distintos	Indistintos	Difusa	Anel Poroso	Solitários	Múltiplos	Indefinido	Cadeias Radiais	Presentes
<i>Luetzelburgia auriculata</i>		•	•		••	•		•	•
<i>Mimosa tenuiflora</i>	•		•		•	•		•	
<i>Poincianella bracteosa</i>		•	•		•	•			•
<i>Combretum leprosum</i>	•			•	•	•		•	
<i>Croton argyrophyloides</i>	•			•	•	•		•	•
<i>Jatropha mutabilis</i>	•		•		••	•		•	•

Tabela 5. Características relacionadas ao parênquima axial no corte transversal.

Espécies	Parênquima Axial							
	Difuso em Agregados	Faixas	Vasocêntrico	Aliforme	Confluente	Marginal	Unilateral	Difuso
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	•	•						
<i>Mimosa tenuiflora</i>			•	•	•	•		
<i>Poincianella bracteosa</i>					•		•	
<i>Combretum leprosum</i>			•		•	•		
<i>Croton argyrophyloides</i>	•							
<i>Jatropha mutabilis</i>	•							•

Tabela 6. Características visualizadas nos cortes longitudinais.

Espécies	Placa de Perfuração		Raios		Raios				Fibras
	Simples	Múltipla	Homogêneo	Heterogêneo	Unisseriado	Multisseriado	Estratificado	Interligados	Septadas
<i>Luetzelburgia auriculata</i>	•			•	•	••			
<i>Mimosa tenuiflora</i>	•		•			•	•		
<i>Poincianella bracteosa</i>	•		•		•	•	•		
<i>Combretum leprosum</i>	•		•		•				•
<i>Croton argyrophyloides</i>	•		•		•				
<i>Jatropha mutabilis</i>	•			•	•	•		•	