



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE SAÚDE E TECNOLOGIA RURAL  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA FLORESTAL  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, ANATÔMICAS E ENERGÉTICAS  
DO LENHO DAS ESPÉCIES *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P. Queiroz E  
*Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos DE OCORRÊNCIA  
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**PEDRO NICÓ DE MEDEIROS NETO**

**PATOS-PB-BRASIL  
2011**

**PEDRO NICÓ DE MEDEIROS NETO**

**AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, ANATÔMICAS E ENERGÉTICAS  
DO LENHO DAS ESPÉCIES *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P. Queiroz E  
*Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos DE OCORRÊNCIA  
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, na Área de Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais, da Universidade Federal de Campina Grande, no CSTR – Centro de Saúde e Tecnologia Rural, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabeth de Oliveira

**PATOS-PB-BRASIL  
2011**

FICHA CATALOGADA NA BIBLIOTECA SETORIAL DO CSTR /  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

M488a

2011

Medeiros Neto, Pedro Nicó de.

Avaliações físico-químicas, anatômicas e energéticas do lenho das espécies *Poincianella pyramidalis* Til. L.P. Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. Ex DC.) Mattos de ocorrência no semiárido brasileiro/ Pedro Nicó de Medeiros Neto. Patos - PB: UFCG/PPGCF, 2011.

51p.: il. Color.

Inclui Bibliografia.

Orientadora: Elisabeth de Oliveira.

Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Centro de Saúde e Tecnologia Rural, Universidade Federal de Campina Grande.

1- Madeira – qualidade 2- Carvão vegetal.

CDU: 634.0.81

**PEDRO NICÓ DE MEDEIROS NETO**

**AVALIAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS, ANATÔMICAS E ENERGÉTICAS  
DO LENHO DAS ESPÉCIES *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P. Queiroz E  
*Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos. DE OCORRÊNCIA  
NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação aprovada como parte das exigências para a obtenção do Título de MESTRE em CIÊNCIAS FLORESTAIS – Área de concentração Ecologia, Manejo e Utilização dos Recursos Florestais.

**Aprovada em: 16 de Fevereiro de 2011**

**Profa. Dra. Elisabeth de Oliveira**  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
(Orientadora)

**Prof. Dr. Alexandre Santos Pimenta**  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)  
(1º Examinador)

**Prof. Dr. Leandro Calegari**  
Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)  
(2º Examinador)

**PATOS-PB-BRASIL  
Fevereiro-2011**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dão da vida, da evolução das espécies, pela curiosidade acusada dos homens e pela sua capacidade crítica e científica.

A minha família, que sempre contribuiu para minha educação, principalmente aos meus pais, Francisca e José, que acreditaram nos meus sonhos;

Aos meus irmãos Francisco, Pollyana e Patrícia e aos sobrinhos Lucas, Kailany, Bruna e Enzo.

À Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Centro de Saúde e Tecnologia Rural (CSTR) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), pela oportunidade da realização do curso.

À CAPES pela bolsa de Iniciação Científica e pelo financiamento do projeto, e à Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal/CSTR, pelo oferecimento das condições para execução da pesquisa.

À professora Dr<sup>a</sup> Elisabeth de Oliveira, por toda atenção, carinho e dedicação concedida na orientação da dissertação.

A professora Dr<sup>a</sup> Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, da Universidade Federal de Viçosa, por realizar as análises anatômicas das espécies.

Aos colegas de Mestrado, principalmente a turma de 2009 (Hedilberto, Maria de Fátima, Ana Aline, Aline, Osilene, Roberta, Karla, Naftali, Itaragil, Manoel, Luisiane e Kaliane) pelo companheirismo.

A todos os amigos, colegas e professores, em especial ao colega Antônio Marcos César de Almeida, pelo companheirismo durante a realização dos trabalhos.

Aos membros da Banca Examinadora, Professor Dr. Alexandre Santos Pimenta e Professor Dr. Leandro Calegari, pela disponibilidade da participação e pelas valiosas contribuições;

Ao funcionário do Laboratório de Nutrição Animal (Alexandre) por realizar as análises do poder calorífico da madeira e do carvão vegetal das espécies estudadas.

Enfim, a todas as pessoas que de forma direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento da minha pesquisa científica.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1 - Procedimento de corte da madeira para retirada dos discos .....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 - A) Discos subdivididos em quatro partes em forma de cunha, passando pela medula, B) Cavacos preparados para estudos posteriores .....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3 - Correlação entre o teor de extrativos totais (%) e o teor de holocelulose (%) .....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 4 - Correlação entre o teor de extrativos totais (%) e o rendimento gravimétrico (%) .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 5 - Correlação entre o teor de lignina total (%) e o teor de holocelulose (%) .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 6 - Correlação entre o teor de lignina total (%) e o poder calorífico da madeira (cal/g) .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 7- Correlação entre o teor de holocelulose (%) e o poder calorífico da madeira (cal/g) .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 8 - Correlação entre a densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>) e a largura de fibras (µm) .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 9 - Correlação entre a densidade básica da madeira (g/cm<sup>3</sup>) e o diâmetro do lúmen das fibras (µm) .....</b>	<b>40</b>

## LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Valores médios das características dendrométricas e física das espécies <i>Poincianella pyramidalis</i> Tul. L.P.Queiroz e <i>Handroanthus impertiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos .....	28
Tabela 2 - Valores médios das dimensões de fibras das madeiras das espécies <i>Poincianella pyramidalis</i> Tul. L.P.Queiroz e <i>Handroanthus impertiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos .....	29
Tabela 3 - Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras das espécies <i>Poincianella pyramidalis</i> Tul. L.P.Queiroz e <i>Handroanthus impertiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos .....	31
Tabela 4 - Valores médios das análises do carvão das espécies <i>Poincianella pyramidalis</i> Tul. L.P.Queiroz e <i>Handroanthus impertiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos .....	32
Tabela 5 - Correlações entre variáveis para a espécie <i>Poincianella pyramidalis</i> .....	34
Tabela 6 - Correlações entre variáveis para a espécie <i>Handroanthus impertiginosus</i> .....	37

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	vii
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
1 INTRODUÇÃO .....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1 O Bioma Caatinga .....	14
2.2 Exploração energética da Caatinga .....	15
2.3 Caracterização das espécies estudadas .....	15
2.4 Parâmetros de qualidade da madeira .....	16
2.4.1 Densidade da madeira .....	16
2.5 Composições químicas e anatômicas da madeira .....	17
2.6 Carbonização da madeira .....	18
2.7 Parâmetros de qualidade do carvão vegetal .....	20
3 METODOLOGIA .....	22
3.1 Espécies selecionadas .....	22
3.2 Local de coleta das espécies.....	22
3.3 Amostragem das madeiras das espécies em estudo.....	22
3.4 Análises da madeira .....	23
3.4.1 Densidade básica .....	23
3.4.2 Análise química .....	23
3.4.2.1 Extrativos totais .....	24
3.4.2.2 Teor de lignina .....	24
3.4.2.3 Teor de cinzas .....	24
3.4.3 Poder calorífico .....	24
3.4.4 Análise anatômica .....	25
3.4.4.1 Preparo das amostras para estudos anatômicos .....	25
3.4.4.2 Determinações das dimensões das fibras .....	25
3.5 Carbonização em escala de laboratório .....	25
3.5.1 Rendimento gravimétrico .....	26
3.5.2 Análise do carvão .....	26
3.5.2.1 Análise química imediata .....	26
3.5.2.2 Densidade do carvão .....	27
3.5.2.3 Poder calorífico superior .....	27
3.5.3 Rendimento em produto condensado .....	27
3.6 Delineamento experimental .....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	28
4.1 Caracterizações dendrométricas, físico-químicas anatômicas e energéticas das espécies <i>Poincianella pyramidalis</i> e <i>Handroanthus impertiginosus</i> .....	28
4.2 Correlações entre as características físicas, anatômicas, químicas e energéticas .....	34
4.2.1 Análise das correlações para a espécie <i>Poincianella pyramidalis</i> .....	34

4.2.1.1	Relações entre características químicas e físicas da espécie <i>Poincianella pyramidalis</i> .....	55
4.2.2	Análise das Correlações para a espécie <i>Handroanthus impertiginosus</i> .....	36
4.2.2.1	Relações entre características químicas, físicas e anatômicas da espécie <i>Handroanthus impertiginosus</i> .....	38
5	CONCLUSÕES .....	42
	REFERÊNCIAS.....	43
	APÊNDICES .....	48

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó de. **Avaliações físico-químicas, anatômicas e energéticas do lenho das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P. Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos.de ocorrência no semiárido brasileiro.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos-PB, 2011. 51p.

## RESUMO

A vegetação nativa da Região Nordeste vem sendo explorada e utilizada de forma intensiva e de maneira inadequada para finalidades energéticas e nas construções rurais, tornando-se evidente a importância dos conhecimentos relativos às características da madeira. Assim, esta pesquisa teve como objetivo contribuir com informações físico-químicas, anatômicas e energéticas das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P. Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, para estas serem cientificamente conhecidas e, conseqüentemente, melhor aproveitadas e preservadas. De cada árvore, foram retirados toretes de 30 cm de altura a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco, considerada até 5 cm de diâmetro. Da porção mediana de cada torete, foi retirado um disco de 2,5 cm de espessura, subdividido em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula. A primeira e a terceira parte foram utilizadas para a determinação da densidade básica, e o restante foi reservado para estudos anatômicos e químicos. De modo geral, as madeiras estudadas apresentaram características físicas e anatômicas semelhantes. Quanto às características químicas, a *Handroanthus impertiginosus* apresentou maior teor de lignina, e não houve diferença significativa entre as espécies para o teor de holocelulose. Em relação ao poder calorífico superior, a *Poincianella pyramidalis* exibiu os menores valores, para a madeira e carvão vegetal, respectivamente. O carvão vegetal da espécie *Handroanthus impertiginosus* apresentou o maior teor de carbono fixo. As espécies apresentaram densidade verdadeira do carvão e rendimento em carbono fixo semelhantes. O rendimento gravimétrico apresentou correlações positivas e significativas com o teor de extrativos totais e o rendimento em carbono fixo, e negativas e significativas com a densidade verdadeira do carvão para a madeira da espécie *Poincianella pyramidalis*. Para a espécie *Handroanthus impertiginosus*, o teor de lignina total apresentou correlação positiva e significativa com o poder calorífico da madeira e negativa e significativa com o teor de holocelulose. A densidade básica da madeira exibiu correlações negativas e significativas com o diâmetro do lúmen das fibras e largura de fibras. A espécie *Handroanthus impertiginosus* apresentou as melhores propriedades para fins energéticos.

**Palavras-chave:** Caatinga, Madeira, Carvão vegetal

MEDEIROS NETO, Pedro Nicó de. **Evaluation physicochemical, anatomical and energy the wood species *Poincianella pyramidalis* Tul.L.P Queiroz and *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos. de occurrence in the Brazilian semiarid.** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais. CSTR/UFCG, Patos-PB, 2011. 51p.

### ABSTRACT

The native vegetation of Northeast Brazil has been explored and used intensively and inadequately as a source of energy and material for rural constructions. Now, it is recognized how important it is to know the characteristic of the wood produced by this vegetation. Thus, this study provides information on the physicochemical, anatomical and energetic characteristics of *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P. Queiroz and *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos wood, so that these species can be better used and protected. Thirty cm sections were removed from each tree at 0 (base), 25, 50, 75 and 100% height of the commercial trunk (trunk diameter > 5 cm). A 2.5 cm thick disc was removed from the median part of each 30 cm section, and each disc was subdivided in four wedge pieces passing through the trunk pith. The first and third wedge pieces were used to determine the basic density of wood, and the other two pieces to collect data on wood anatomy and chemistry. In general, the wood of these two species showed similar anatomical and physical characteristics. *Handroanthus impertiginosus* wood showed a higher lignin content, and no significant difference among species was detected for holocellulose content. *Poincianella pyramidalis* wood and charcoal showed lower values to the superior calorific power. *Handroanthus impertiginosus* charcoal had the highest fixed carbon content. These species showed similar charcoal true density and fixed carbon production. For *Poincianella pyramidalis*, the gravimetric yield showed positive significant correlations with the total extractive content and fixed carbon production, and negative significant correlation with charcoal true density. For *Handroanthus impertiginosus*, the total lignin content correlated positive and significantly with the calorific value of wood, and negative and significantly with the holocellulose content. The basic wood density had significant and negative correlations with fiber lumen diameter and fiber width. *Handroanthus impertiginosus* showed the best properties for energy use.

**Keywords:** Caatinga, Wood, charcoal

## 1 INTRODUÇÃO

A vegetação nativa da Região Nordeste vem sendo explorada e utilizada de forma intensiva e de maneira inadequada para finalidades energéticas e nas construções rurais (cercas, currais, telhados e pocilgas), contribuindo para a escassez da madeira em vários locais.

A vegetação da Caatinga é tipicamente caracterizada por espécies arbóreo-arbustivas com bifurcações e fustes tortuosos, limitando sua aplicação no setor industrial. Desta forma, sua utilização torna-se restrita para obtenção de estacas, mourões e lenha, bem como e na produção de carvão vegetal. Esses produtos madeireiros apresentam-se como essenciais para a população nordestina, seja abastecendo as indústrias (padarias, doceiras, olarias, caeiras e casas de farinhas), como fonte de biomassa para a produção de energia, por ser um produto mais acessível que as outras fontes utilizadas, ou contribuindo para a geração de renda das famílias, por meio de material de construção para os meios urbano e rural (caibros, ripas e linhas). Dessa forma, a vegetação da Caatinga está constantemente presente no contexto socioeconômico da região.

As novas restrições ecológicas ao uso de combustíveis fósseis e o aumento crescente do consumo energético têm realçado o interesse do uso da biomassa para produção de energia, em virtude de a biomassa ser uma matéria prima renovável e menos poluente quando comparada aos combustíveis fósseis (PINHEIRO & SÉYE, 1998). De acordo com Andrade, citado por Baracuchy (2001), a maior parte dos produtos florestais, principalmente os energéticos, consumidos por atividades domésticas, industriais e comerciais na região da Caatinga, é oriunda de matas nativas.

Johnson (1985) enfatiza que as espécies produtoras de carvão na Caatinga são: juremapreta (*Mimosa tenuiflora* (Will.) Poir.), catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), angico (*Anadenanthera colubrina* Vell. Brenan), jucá (*Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul.), mororó (*Bauhinia forficata* Link.), pereiro (*Aspidospema pyrifolium* Mart.) e craibeira (*Tabebuia aurea* Silva Manso Benth & Hook.f. ex S. Moore). O esgotamento das espécies madeireiras de uso tradicional da vegetação da Caatinga, consolidado com o aumento do uso da madeira em nível global, vem exigindo um maior conhecimento tecnológico sobre a utilização racional das essências florestais.

A descrição anatômica (BURGER & RICHTER, 1991), a composição química (SJÖSTRÖM, 1993) e a densidade (VITAL, 1984) formam os parâmetros que constituem a base para quaisquer estudos tecnológicos que sejam efetuados na madeira, auxiliando a

interpretação dos resultados e permitindo empregá-la corretamente para determinado tipo de uso.

Quimicamente a madeira é constituída basicamente por celulose, hemicelulose e lignina, que formam sua parede celular e influenciam na maioria das suas características físicas, químicas e mecânicas, e por elementos secundários denominados de extrativos, que não fazem parte da constituição química da parede celular e que incluem vários compostos, como açúcares, taninos, ácidos graxos, dentre outros, que podendo estes ser extraídos em água ou solventes orgânicos.

A caracterização anatômica facilita a identificação das espécies, contribuindo com informações sobre a estrutura do lenho, possibilitando a correlação dessas estruturas com outras características da madeira, principalmente as relacionadas com a permeabilidade, resistência mecânica e aspectos de uso tecnológico. Klock et al. (2005) enfatizam que se torna indispensável o conhecimento mais detalhado da madeira para proporcionar seu uso racional e efetivo nas necessidades da sociedade humana.

Em virtude da utilização diversa da madeira e da carência de informações sobre a vegetação da Caatinga, torna-se evidente a importância dos conhecimentos relativos às características da madeira, tais como anatômicas, químicas, físicas e energéticas. Agra et al. (1996) afirmam que as informações sobre a flora paraibana são escassas e esporádicas. Em função da importância de se obter um maior aproveitamento tecnológico dos produtos provenientes da madeira e um conhecimento da flora nativa, possibilitando uma preservação eficiente das espécies protegidas por lei, para que estas não sejam utilizadas em substituição das outras espécies, normalmente usadas pela população nordestina, esta pesquisa teve como objetivo contribuir com informações físico-químicas, anatômicas e energéticas das espécies em estudo, para que estas sejam conhecidas e, conseqüentemente, melhor aproveitadas e preservadas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O Bioma Caatinga

A Caatinga é o único bioma exclusivamente brasileiro, com uma área de 844.453 km<sup>2</sup>, apresentando uma área de cobertura vegetal nativa da ordem de 518.635 Km<sup>2</sup>, o que equivale a 62,77% da área mapeada do bioma. Esta estimativa inclui fitofisionomias de Caatinga Savana Estépica na classificação adotada (35,9%), encraves mapeáveis de fitofisionomias de Cerrado e de Mata Atlântica (8,43%), bem como as áreas de tensão ecológica (ecótonos e encraves não mapeáveis, 18%) (Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2007).

O bioma representa aproximadamente 54% da região Nordeste e 11% do território brasileiro. Está compreendido entre os paralelos de 2° 54' S a 17° 21' S e envolve áreas dos Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, sudoeste do Piauí, partes do interior da Bahia e do norte de Minas Gerais (ANDRADE et al., 2005).

O Bioma é caracterizado por um clima quente e semiárido, altamente sazonal, com precipitação pluviométrica inferior a 1000 mm por ano, distribuída no intervalo de três a seis meses. Os solos apresentam uma distribuição espacial complexa, com tipos muitos diferentes, que vão desde solos rasos e pedregosos a arenosos e profundos, podendo ser de alta ou baixa fertilidade, contribuindo para uma diversidade de ambientes, proporcionados por um mosaico de tipos de vegetação, em geral, xerófila, caducifólia e, muitas vezes, espinhosa, variando conforme a disponibilidade de água e o tipo de solo (VELLOSO et al., 2002).

Atualmente, o bioma Caatinga possui a metade de sua cobertura vegetal original. Em 2008, a vegetação remanescente da área era de 53,62%. Dados do monitoramento do desmatamento no bioma, realizado entre 2002 e 2008, revelam que, neste período, o território devastado foi de 16.576 km<sup>2</sup>, o equivalente a 2% de toda a vegetação da Caatinga. A taxa anual média de desmatamento, na mesma época, ficou em torno de 0,33% (2.763 km<sup>2</sup>), e a crescente demanda da economia do carvão vegetal contribui para níveis de desmatamento somente comparáveis aos da Amazônia, em seus momentos de pico, quando os programas de redução começaram a ser implementados (MMA, 2010).

## 2.2 Exploração Energética da Caatinga

Araújo et al. (2007) relatam que a cobertura florestal da região semiárida tem-se reduzido drasticamente, fato ocasionado por falta de manejo adequado e pelo tipo de exploração adotado. Enfatizam que a exploração da vegetação da Caatinga é basicamente realizada com finalidade energética, principalmente no consumo da lenha e na produção de carvão vegetal. Esses são os principais produtos oriundos da Caatinga, mas a obtenção dessas fontes energéticas está longe de ser sustentável. Estes produtos energéticos originam-se, em torno de 80%, do desmatamento no Nordeste (MMA, 2010).

A Caatinga é a formação florestal que predomina no estado da Paraíba. O estrato florestal Caatinga arbustiva-árborea aberta apresenta-se com maior cobertura, representando 21,13% no Estado (Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA), 2004). Oliveira et al. (2006) evidenciam a importância dos recursos florestais da Caatinga para a população paraibana, como fonte de alimento, madeira para construções, fins medicinais, combustível, dentre outros.

A demanda de lenha anual, no estado da Paraíba, é de 3.983.634,23 st/ano, provocando um desmatamento de 42.524,77 ha/ano de mata nativa. Desse total, aproximadamente 83% é utilizado no setor domiciliar, na forma de lenha e carvão vegetal. Apesar disso, a cobertura florestal paraibana obteve um incremento de 7,36%, quando comparada ao último diagnóstico florestal, realizado em 1994 (SUDEMA, 2004). Entretanto, no diagnóstico realizado em 2004, a metodologia adotada no mapeamento e a qualidade dos produtos dos sensores permitiram uma avaliação mais precisa da cobertura florestal do estado paraibano.

## 2.3 Caracterização das espécies estudadas

O pau-d'arco (*Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos) pertence à família Bignoniaceae. A árvore tem folhas opostas, com cinco folíolos oblongos, com margem inteira e levemente serrada até o ápice. Apresenta tronco reto e cilíndrico tortuoso, flores grandes, rosadas a lilás, casca cinza-acastanhada, levemente áspera, com sulcos longitudinais pouco profundos. A planta apresenta altura de 10 – 15 m na Caatinga (até 50 m na floresta pluvial). Ocorre, na América Latina, do México até a Argentina e, no Brasil, desde o Piauí e Ceará até Minas Gerais, Goiás e São Paulo (LORENZI, 2002; MAIA, 2004; SABONARO & GALBIATTI, 2007; SIQUEIRA FILHO et al., 2009). A madeira é pesada, com densidade

básica aproximada de  $0,89 \text{ g/cm}^3$ , de excelente qualidade, resistente, empregada como pontes, dormentes, mourões, postes, caibros, construção civil e naval. Fornece lenha de boa qualidade (MAIA, 2004; PAULA & ALVES, 2007).

A catingueira (*Poincianella pyramidalis* Tul. L.P. Queiroz) pertence à família Leguminosae. A árvore tem folhas bipinadas, com 5-6 folíolos opostos ou alternos, casca de cor cinza-claro, flores amarelas dispostas em racimos, o fruto é uma vargem achatada, pontada. A planta apresenta uma altura de 4-6 m, podendo atingir 12 m. É uma das espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino, encontrada nos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia (MAIA, 2004; SIQUEIRA FILHO et al., 2009). A madeira é pesada, com densidade básica aproximada de  $0,99 \text{ g/cm}^3$ , contendo grande quantidade de celulose e lignina, sendo utilizada na construção civil, lenha, carvão, estacas, mourões, entre outros (MAIA, 2004; PAULA & ALVES, 2007).

## **2.4 Parâmetros de qualidade da madeira**

### **2.4.1 Densidade da madeira**

A densidade representa a quantidade de material lenhoso por unidade de volume ou do volume dos espaços vazios presentes na madeira, sendo um índice significativamente utilizado para avaliar a viabilidade do emprego da madeira para diversas finalidades (LIMA et al., 2000; VALÉRIO et al., 2008).

É uma das propriedades que contribui com um maior número de informações sobre as suas características, devido a sua relação com sua resistência e rigidez. É dependente da parede celular, das dimensões e dos tipos de células e, em menor quantidade, de componentes extraíveis presentes por unidade de volume (PANSWIN & DE ZEEUW 1980; HAYGREEN & BOWYER 1982; apud MELO et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2007). No entanto, segundo Wenzl (1970), Brasil et al. (1977), citados por Oliveira (2003), a densidade não deve ser isoladamente considerada um único índice de qualidade da madeira. A composição química e as características anatômicas também devem ser avaliadas.

## **2.5 Composições químicas e anatômicas da madeira**

De acordo com Lepage (1986) e Lima et al. (2007), a madeira é um biopolímero tridimensional, constituída principalmente por celulose, hemicelulose e lignina (componentes

primários), responsáveis pela formação da parede celular e pela maioria de suas propriedades, e pelos extrativos e cinzas (componentes complementares ou secundários).

A análise química elementar da madeira revela que a mesma é constituída principalmente, dos seguintes elementos químicos: oxigênio (44%), hidrogênio (9%) e carbono (50%). Esses números podem sofrer pequenas variações, mediante a espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, entre outras (CARVALHO et al., 1998; OLIVEIRA, 2003).

Klock et al. (2005) e Bragatto (2007) caracterizam a celulose como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de  $\beta$ -D-glucose, sendo o principal componente da parede celular dos vegetais. De acordo com Pettersen (1984), Lewin e Goldstein (1991), citados por Oliveira (2003), a celulose apresenta um alto grau de polimerização, formando uma estrutura cristalina e não ramificada, insolúvel em solventes orgânicos, água, ácidos e álcalis diluídos, todos à temperatura ambiente.

As hemiceluloses são constituídas por diversos grupos de polissacarídeos interligados às microfibrilas de celulose. Estas diferem da celulose por serem polímeros ramificados, amorfos e de cadeia mais curta e presente na madeira em menor grau de polimerização, envolvendo as fibras de celulose. Sua estrutura apresenta outras unidades de açúcar diferentes da glicose, como as hexoses, pentoses, manose, galactose, xilose, arabinose e o ácido 4-o-metilglucurônico (OLIVEIRA, 2003; BRAGATTO, 2007; SANTOS, 2008).

Morais et al. (2005b) caracterizam a lignina como um polímero natural proveniente da condensação desidrogenativa de três alcoóis precursores: trans-coniferílico, trans-sinapílico e p-cumarílico, que confere rigidez à parede celular e funciona como um composto de ligação entre a celulose e a hemicelulose e contribui para a formação de uma estrutura resistente a impacto, compressão e dobra.

O percentual de lignina na madeira pode variar de 15 a 30%. De acordo com a espécie vegetal é obtida em larga escala, em todo o mundo, e utilizada como subproduto da indústria de polpação, principalmente, aproveitada como fonte de energia, pela queima, em caldeiras de recuperação (SANTOS, 2008). Dentre os principais constituintes químicos da madeira, a lignina é a que mantém maior influência sobre as características físicas e químicas dos seus derivados energéticos (ANDRADE & CARVALHO, 1998).

Os extrativos são caracterizados como compostos químicos que não fazem parte da estrutura da parede celular. São solúveis em água ou em solventes orgânicos neutros e estão presentes principalmente na casca. De baixa massa molecular e em pequenas quantidades, eles são representados pelos óleos essenciais, resinas, taninos, graxas e pigmentos (MORAIS

et al., 2005a; ANDRADE, 2006; SILVÉRIO et al., 2006; LIMA et al., 2007). Oliveira et al. (2005) enfatizam que a quantidade e a qualidade dos extrativos são bastante variáveis de espécie para espécie. As variações nos teores dessas substâncias tornam-se evidentes entre indivíduos dentro de uma mesma espécie.

Vital et al. (1986) caracterizam a cinza como um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca. As cinzas da madeira são materiais inorgânicos, que correspondem aos minerais dos vegetais, apresentando uma grande variação entre e dentro das espécies, sendo estes compostos inorgânicos constituídos basicamente de carbonatos, fosfatos, silicatos e sulfatos de cálcio, de magnésio ou de potássio (Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) 1988; FENGEL & WEGENER, 1989; DUENÃS, 1997; *apud* ANDRADE 2006).

Oliveira (2003) relata que o tecido lenhoso das árvores é composto por diferentes tipos de células. As folhosas possuem estrutura mais complexa do que as coníferas, com maior número de tipos de células. Os principais componentes anatômicos das folhosas são os elementos de vasos, responsáveis pela condução de seiva; os fibro-traqueídeos e as fibras libriformes, responsáveis pela resistência mecânica da madeira; o tecido de reserva, responsável pelo armazenamento de compostos; e os raios, responsáveis pela transferência de material no sentido radial. A caracterização anatômica das madeiras é de fundamental importância para a determinação de seu aproveitamento tecnológico. Considera-se que as dimensões, as frequências e o arranjo dos elementos anatômicos têm grande influência sobre as propriedades físicas e mecânicas da madeira (OLIVEIRA, 2006).

## **2.6 Carbonização da madeira**

Segundo o Forest Products Laboratory (1953), citado por Bastos Filho (1988), o processo de carbonização da madeira é dividido nas seguintes fases:

- I. Abaixo de 200 °C – Secagem da madeira;
- II. De 200 a 280 °C – Fase predominantemente endotérmica, com liberação de ácido acético, metanol, água, CO<sub>2</sub>, etc;
- III. De 280 a 380 °C – Início da fase dos hidrocarbonetos, emissão do primeiro grupo de substâncias voláteis;
- IV. De 380 a 500 °C – Fase dos hidrocarbonetos, fase predominantemente exotérmica, em que é formada a maior parte dos alcatrões e gases combustíveis (CO, CH<sub>4</sub>, etc.).

Acima de 500 °C, o carvão já é bem estável, e apenas uma pequena quantidade de voláteis, principalmente o H<sub>2</sub>, é liberada. As fases da pirólise da madeira podem ser identificadas pela sua perda de massa, que ocorre por influência das reações químicas verificadas na elevação da temperatura (BRITO et al., 2006).

Durante o processo de conversão de madeira em carvão vegetal, ocorrem, além da concentração de carbono, vários fenômenos físicos e químicos que promovem a formação de um resíduo sólido rico em carbono (carvão) e uma fração gasosa. Uma parte dessa fração gasosa pode ser condensada, obtendo-se um líquido pirolenhoso, e outra parte constitui os gases não-condensáveis, em parte, inflamáveis, tais como CO, CH<sub>4</sub>, entre outros. O líquido pirolenhoso é constituído de água e compostos químicos, dentre estes, o ácido acético e fórmico, o éter, os alcoóis metílico e etílico, a acetona, o alcatrão (BRITO, 1990; ANDRADE, 1993; ANDRADE & CARVALHO, 1998; apud SANTIAGO & ANDRADE, 2005; VALENTE & LELLES, 1986).

Segundo Oliveira et al. (1982), Almeida e Rezende (1992), citados por Assis et al. (2008), a carbonização objetiva aumentar o teor de carbono fixo na madeira por meio de tratamento térmico, tornando-se necessário estudar os três principais componentes da madeira: a celulose, as hemiceluloses e a lignina.

Segundo Oliveira et al. (1982a), o componente da madeira mais fácil de isolamento é a celulose e, desta forma, o mais estudado. Esta, a 600 °C, é quase completamente degradada, deixando um resíduo de carvão de 5%. Devido ao processo de carbonização ocorrer a temperaturas superiores a 300 °C, pode-se concluir que a celulose contribui pouco para o rendimento gravimétrico do carvão.

As hemiceluloses constituem o componente da madeira responsável pela formação da maior parte de ácido acético, sendo também a menos estável, devido à sua natureza amorfa (OLIVEIRA, 2003).

De acordo com Oliveira et al. (1982a), o fornecimento de calor ao processo de decomposição das hemiceluloses provoca mudança brusca no seu comportamento, considerando-se o rendimento em carvão. Quando submetida a temperaturas acima dos 300 °C, os produtos formados sofrem mudanças radicais, decompõem-se e volatilizam, com a maior parte dos voláteis condensados e com a maior fração formada a 500 °C, que é o líquido condensado. Na temperatura de 500 °C, o rendimento em carvão é de aproximadamente 10%, o que comprova que as hemiceluloses também contribuem pouco para a formação de carvão no processo de carbonização em fornos de alvenaria.

A lignina é o componente da madeira mais difícil de se isolar e sua decomposição não está bem definida, fato ocasionado por apresentar uma estrutura relativamente complexa, com rupturas e formação de inúmeros compostos. Esta é o componente químico da madeira mais importante quando se pretende a produção de carvão vegetal, devido ao rendimento gravimétrico estar diretamente relacionado com o conteúdo de lignina na madeira. Em uma faixa de temperatura com variação entre 450 a 550 °C, obtém um rendimento em carvão vegetal de 55% (OLIVEIRA et al., 1982a).

## **2.7 Parâmetros de qualidade do carvão vegetal**

A qualidade do carvão é determinada por suas propriedades físicas e químicas: densidade, poder calorífico superior, resistência mecânica ou friabilidade, umidade e composição química (OLIVEIRA et al., 2010).

Oliveira (2003) relata que o carvão vegetal é constituído quimicamente de três frações distintas: carbono fixo, matérias voláteis e cinzas.

O carbono fixo é definido como a quantidade de carbono encontrada no carvão vegetal, relacionada diretamente com o poder calorífico do carvão e considerada uma das características químicas que mais exerce influência no seu uso (OLIVEIRA et al., 1982b; BRITO, 1993).

Oliveira (2003) enfatiza que as matérias voláteis podem ser definidas como as substâncias desprendidas da madeira como gases durante a carbonização e ou queima do carvão, com influência na estrutura do carvão, em virtude da porosidade, diâmetro médio dos poros, densidade e outras características físicas do carvão que podem ser alteradas drasticamente pela eliminação dos voláteis.

Penedo (1980), citado por Santos (2008), define a densidade do granel como a quantidade de carvão vegetal que cabe em uma caixa com volume nominal de 1 m<sup>3</sup>, dada em kg/m<sup>3</sup> (ISO “Bulk Density”), com variação em torno de 300 kg/m<sup>3</sup>. Ao se diminuir, a partir desta medida, o volume dos espaços vazios existentes entre os vários pedaços de carvão e ao se considerar que os poros internos não estão ocupados por ar, obtém-se a densidade aparente. A densidade verdadeira é a medida da densidade da substância que compõe o carvão vegetal, isto é, a densidade aparente, descontando-se o volume da porosidade interna.

O poder calorífico é definido como a quantidade de calor liberado na combustão completa de uma unidade de massa de carvão vegetal, expressa em kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos e, em kcal/m<sup>3</sup>, para combustíveis gasosos (OLIVEIRA, 2003).

O teor de cinzas é a relação entre a quantidade de cinzas e a quantidade de carvão que lhe deu origem, correlacionando com a constituição química da madeira. Esta quantidade é maior no carvão vegetal de origem nativa devido à variabilidade de espécies (COELHO JUNIOR et al., 2006).

Oliveira (2003) e Oliveira et al. (2010) relatam que as melhores propriedades químicas desejáveis do carvão, como maiores teores de carbono fixo e menores teores em substâncias voláteis e cinzas, estão associadas à madeira com altos teores de lignina, para determinadas condições de carbonização (temperatura final e taxa de aquecimento). Cada faixa de temperatura gera um produto diferente, sendo que a temperatura final tem grande influência na qualidade do carvão vegetal.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Espécies selecionadas

No presente estudo, foram avaliadas madeiras das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P. Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, sendo selecionadas 5 árvores de cada espécie, que apresentavam as melhores características fisiológicas.

Estas espécies fazem parte de um projeto de pesquisa mais amplo, que visa à obtenção de um conhecimento científico da vegetação da Caatinga.

#### 3.2 Local de coleta das espécies

A madeira foi coletada na Fazenda Santa Bárbara, localizada no município de São Mamede-PB (06°54'55"S; 37°05'55" W a 265 m de altitude), aproximadamente, 02 km da cidade.

#### 3.3 Amostragem das madeiras das espécies em estudo

De cada árvore, foram retirados toretes com 30 cm de altura a 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco, considerada até 5 cm de diâmetro (Figura 1), sendo medidos os diâmetros com e sem casca, nessas posições, para o cálculo do volume de madeira e de casca.

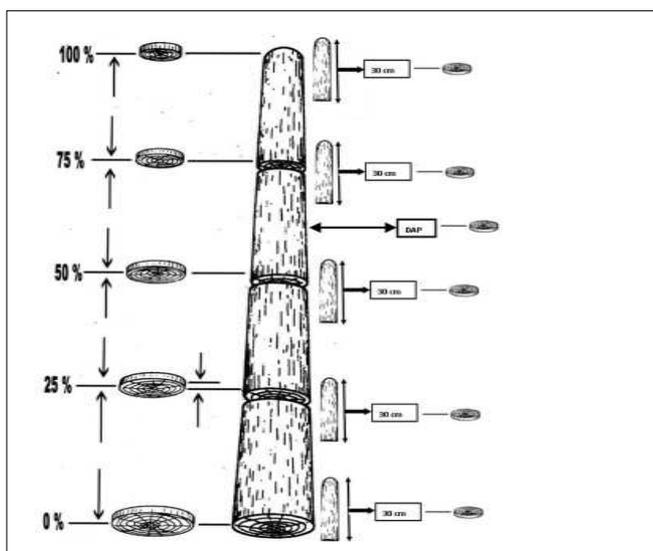


Figura 1 – Procedimento de corte da madeira para retirada dos discos

Essas amostras foram devidamente identificadas e transportadas para o Laboratório de Energia do Setor de Tecnologia de Produtos Florestais (STPF) da Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Campina Grande, no Campus de Patos-PB, onde foram realizados os estudos. Da porção mediana de cada torete, foi retirado um disco de 2,5 cm de espessura, subdividido em quatro partes, em forma de cunha, passando pela medula (Figura 2). A primeira e a terceira parte foram utilizadas para a determinação da densidade básica e o restante foi reservado para estudos posteriores.



Figura 2 – A) Discos subdivididos em quatro partes em forma de cunha, passando pela medula, B) Cavacos preparados para estudos posteriores

### **3.4 Análises da madeira**

#### **3.4.1 Densidade básica**

A densidade básica foi determinada de acordo com o método da balança hidrostática, descrito por Vital (1984).

#### **3.4.2 Análise química**

Após a secagem ao ar, as amostras destinadas às análises químicas foram transformadas em serragem em moinho tipo Wiley, conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI) T 257 om-92 (1992). As análises foram efetuadas na fração de serragem, classificadas em peneiras de 40/60 mesh (American Society for Testing and Materials (ASTM), 1977) e condicionadas a uma umidade relativa de  $65 \pm 2\%$

e temperatura de 20 °C. Em seguida, foram armazenadas em frascos de vidro. A determinação do teor absolutamente seco foi realizada de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (1992).

A análise química da madeira foi realizada em duplicata para cada árvore. Foram feitas determinações quantitativas de extrativos totais, através de uma sequência de extração (álcool/tolueno, álcool e água quente) de lignina, de holocelulose (obtida por diferença) e teor de cinzas.

#### **3.4.2.1 Extrativos totais**

A solubilidade da madeira em álcool/tolueno, álcool e água quente foi efetuada segundo a norma TAPPI 264 om-88 (1992), em extratores tipo Soxhlet, com a substituição do benzeno por tolueno.

#### **3.4.2.2 Teor de lignina**

O teor de lignina foi determinado pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide & Demuner (1986). Do filtrado restante da análise da lignina Klason, foi feita a leitura em espectrofotômetro, para determinação da lignina solúvel em ácido, conforme Goldschimid (1971). O teor de lignina total é a soma da lignina residual mais a lignina solúvel em ácido.

#### **3.4.2.3 Teor de cinzas**

A determinação do teor de cinzas ou minerais da madeira foi efetuada segundo a Norma da Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel (ABTCP) M-11/77 (1974).

#### **3.4.3 Poder calorífico**

O poder calorífico superior foi determinado por meio de calorímetro adiabático de acordo com a Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 8633 (1983).

### **3.4.4 Análise anatômica**

#### **3.4.4.1 Preparo das amostras para estudos anatômicos**

Para determinação das dimensões das fibras, foram confeccionados palitos do material restante dos discos de cada árvore e enviados ao Laboratório de Celulose e Papel da Universidade Federal de Viçosa/UFV, Viçosa – MG. O material foi colocado em estufa com uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção 1:1. As amostras permaneceram na estufa por, aproximadamente, 48 horas a 60°C. Após este período, o macerado foi lavado com água corrente e em seguida, imerso em corante azul de astra durante 15 minutos. Posteriormente, foi lavado novamente para retirar o excesso de corante e colocado em um recipiente onde foi armazenado em água destilada.

#### **3.4.4.2 Determinações das dimensões das fibras**

Do material macerado, foram montadas lâminas e mensuradas as fibras. As medições foram feitas com lâminas preparadas a fresco. Utilizou-se o software Axio Vision 4.0 para fotografar e medir os elementos anatômicos. Em cada amostra, foram medidas vinte e cinco fibras com aumento de cinco vezes, para mensurar o comprimento e vinte e cinco fibras, com aumento de vinte vezes, para mensurar o diâmetro do lúmen e largura das fibras.

A espessura média das paredes das fibras foi obtida como sendo a metade da diferença entre a largura da fibra e o diâmetro do lúmen da fibra.

### **3.5 Carbonização em escala de laboratório**

Os discos grandes (15 cm de espessura) foram destinados à carbonização, sendo transformados em cavacos manualmente e secos ao ar livre. Posteriormente, foram homogeneizados por árvores e levados à estufa, a  $105 \pm 3$  °C, por 24 horas.

Foram realizadas carbonizações em escala de laboratório para avaliar a quantidade e qualidade do carvão vegetal produzido por espécie. As carbonizações foram realizadas em um forno elétrico (mufla) adaptado para essa operação, sendo que a elevação da temperatura foi programada, com marcha de aquecimento, conforme indicado abaixo:

150 °C	por 1 hora
200 °C	por 1 hora
250 °C	por 1h30
350 °C	por 1h30
450 °C	30 minutos

Foram carbonizados 320 g, aproximadamente, de cavacos em um tempo total de 5h30 min, com duas repetições por árvore, com um total de 10 carbonizações por espécie. Os vapores/gases foram conduzidos para um condensador tubular, com o recolhimento do líquido pirolenhoso em um kitassato, sendo feita a liberação dos gases para a atmosfera. Para evitar fumaças no laboratório, os gases foram queimados durante o processo.

### **3.5.1 Rendimento gravimétrico**

Após as carbonizações, foram avaliados os rendimentos em carvão vegetal, líquido pirolenhoso condensado, alcatrão insolúvel na madeira e, por diferença, os gases não-condensáveis (avaliação quantitativa).

### **3.5.2 Análise do carvão**

As análises do carvão foram realizadas em duplicatas, sendo feitas análises químicas imediatas, determinação do rendimento em carbono fixo, determinação da densidade verdadeira e densidade aparente.

#### **3.5.2.1 Análise química imediata**

A composição química imediata foi realizada de acordo com a Norma ABNT NBR 8112 (1983), com determinações de matérias voláteis, teor de cinzas e teor de carbono fixo, em base seca. O rendimento em carbono fixo foi obtido pelo produto entre teor de carbono fixo e rendimento gravimétrico da carbonização.

### **3.5.2.2 Densidade do carvão**

As densidades verdadeira e aparente do carvão foram calculadas de acordo com as ASTM-D-167-73, adaptadas por Oliveira et al. (1982b).

### **3.5.2.3 Poder calorífico superior**

O poder calorífico superior foi determinado por meio de um calorímetro adiabático, conforme a Norma ABNT NBR 8633 (1983).

### **3.5.3 Rendimento em produto condensado**

Foi determinado o rendimento em líquido pirolenhoso obtido em relação à massa da madeira seca carbonizada.

## **3.6 Delineamento experimental**

Na avaliação do experimento, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (espécies) e cinco repetições (árvores). Para comparação das médias, foi empregado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, para as variáveis detectadas como significativas pelo teste de F. A avaliação das correlações entre as variáveis estudadas foi feita por meio da análise de regressão linear simples.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterizações dendrométricas, físico-químicas anatômicas e energéticas das espécies *Poincianella pyramidalis* e *Handroanthus impertiginosus*

Os valores médios das características dendrométricas e física: diâmetro à altura do peito (cm), altura total (m), volume (m<sup>3</sup>) e densidade básica média (kg/m<sup>3</sup>) das espécies estudadas são descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores médios das características dendrométricas e física das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P.Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

Espécie	Indivíduo	DAP (cm)	Altura Total (m)	Volume (m <sup>3</sup> )	DBM (kg/m <sup>3</sup> )
<i>Poincianella pyramidalis</i>	1	15,13	7,50	0,0568	983,78
	2	9,71	5,50	0,0167	1049,2
	3	17,68	5,90	0,0331	1129,77
	4	10,51	6,60	0,0236	1024,51
	5	9,08	5,60	0,0123	1075,05
<b>Média</b>		<b>12,46</b>	<b>6,22</b>	<b>0,0285</b>	<b>1052,46a</b>
<i>Handroanthus impertiginosus</i>	1	10,99	7,00	0,0266	963,77
	2	12,42	6,60	0,0292	1010,02
	3	11,78	7,20	0,0320	986,05
	4	12,90	6,80	0,0381	985,51
	5	14,33	7,60	0,0438	1043,39
<b>Média</b>		<b>12,48</b>	<b>7,04</b>	<b>0,03394</b>	<b>997,75a</b>
QMRes		----	----	----	1958,85
CV(%)		----	----	----	4,32

DAP = diâmetro à altura do peito, DBM = densidade básica média, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias seguidas por uma mesma letra minúscula, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey;  $p > 0,05$ ).

Observa-se, na Tabela 1, que a espécie *Poincianella pyramidalis*, em média, apresentou uma DB (1052,46 kg/m<sup>3</sup>) superior à espécie *Handroanthus impertiginosus* (997,75 kg/m<sup>3</sup>). No entanto, a disparidade dos valores entre as espécies não foi significativa. Os valores da DBM das mesmas estão inseridos na faixa citada por Burger & Richter (1991) que variam de 0,13 a 1,40 g/cm<sup>3</sup>, para espécies florestais.

Os valores da DBM encontrados para as espécies estudadas são superiores aos apresentados por Oliveira (2003), ao estudar as seguintes espécies de ocorrência na Caatinga: *Mimosa tenuiflora* (929,47 kg/m<sup>3</sup>), *Aspidosperma pyrifolium* (813,22 kg/m<sup>3</sup>) e *Croton sonderianus* (683,81 kg/m<sup>3</sup>), usando metodologia semelhante, e aos exibidos por Andrade

(2006), que encontrou valores médios para a espécie *Pinus Taeda* L., variando de 348,2 kg/m<sup>3</sup> a 445,3 kg/m<sup>3</sup>, Oliveira et al. (2010), para a espécie *Eucalyptus pellita* F. Muell (558 kg/m<sup>3</sup>), e Vale et al. (2010), para as seguintes espécies lenhosas de Cerrado: *Pterodon pubescens* (820 kg/m<sup>3</sup>), *Dalbergia miscolobium* (800 kg/m<sup>3</sup>), *Sclerolobium paniculatum* (780 kg/m<sup>3</sup>), *Stryphnodendron adstringens* (610 kg/m<sup>3</sup>) e *Vochysia thyrsoidea* (580 kg/m<sup>3</sup>).

Para análise das características anatômicas, foram avaliadas as dimensões, o comprimento (mm), a largura das fibras (µm), o diâmetro do lúmen (µm) e a espessura das fibras (µm) das espécies (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores médios das dimensões de fibras das madeiras das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P. Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

Espécie	Indivíduo	COMPF (mm)	LARGF (µm)	DIALF (µm)	ESPF (µm)
<i>Poincianella pyramidalis</i>	1	0,842	13,75	2,65	5,55
	2	0,800	14,04	2,96	5,54
	3	0,856	14,26	2,94	5,66
	4	0,821	15,53	2,59	6,47
	5	0,840	15,21	2,75	6,23
	<b>Média</b>	<b>0,83a</b>	<b>14,56a</b>	<b>2,78a</b>	<b>5,89a</b>
<i>Handroanthus impertiginosus</i>	1	0,926	15,16	3,17	5,99
	2	0,895	14,65	2,83	5,91
	3	0,842	14,89	3,03	5,93
	4	0,835	15,12	2,86	6,13
	5	0,837	14,22	2,61	5,81
	<b>Média</b>	<b>0,87a</b>	<b>14,81a</b>	<b>2,90a</b>	<b>5,95a</b>
	QMRes	0,00109	0,372	0,037	0,10
	CV(%)	3,88	4,15	6,73	5,33

COMPF = comprimento de fibra, LARGF = largura de fibra, DIALF = diâmetro do lúmen da fibra, ESPF = espessura de fibra, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si (Tukey,  $p > 0,05$ ).

Observa-se que, das médias analisadas, nenhuma das características avaliadas apresentou diferenças significativas entre as espécies estudadas. Isto comprova que as madeiras eram bem semelhantes, fato observado anteriormente para a densidade básica da madeira. No entanto, a espécie *Handroanthus impertiginosus* apresentou resultados de dimensões superiores aos da espécie *Poincianella pyramidalis*.

Belini et al. (2008) encontraram valores de 1005-19,7-11,8-3,9 µm para o comprimento, largura, diâmetro do lume e da espessura da parede das fibras, respectivamente, para a espécie *Eucalyptus grandis*, com 6,9 anos. Esses dados são superiores para ambas as espécies estudadas no presente trabalho.

Oliveira (2003) encontrou os seguintes valores do comprimento de fibras ao avaliar a madeira de três espécies de ocorrência na Caatinga: *Croton sonderianus* (0,630 mm), *Mimosa tenuiflora* (0,750 mm) e *Aspidosperma pyrifolium* (1,060 mm). As espécies *Handroanthus impertiginosus* e *Poincianella pyramidalis* apresentaram valores superiores aos dois primeiros indivíduos e inferiores ao último. Os valores médios de comprimento de fibras exibidos para as espécies catingueira e pau-d'arco ficaram dentro da faixa (303 a 2272  $\mu\text{m}$ ), encontrada por Paula et al. (2000) ao estudarem doze espécies de ocorrência em matas ciliares no centro-oeste brasileiro.

Os valores médios de largura de fibra apresentados pelas espécies *Poincianella pyramidalis* e *Handroanthus impertiginosus* (14,56 e 14,81 $\mu\text{m}$ , respectivamente) foram inferiores aos das espécies *Croton sonderianus* (17,130  $\mu\text{m}$ ), *Mimosa tenuiflora* (16,430  $\mu\text{m}$ ) e *Aspidosperma pyrifolium* (21,020  $\mu\text{m}$ ), avaliadas por Oliveira (2003) e aos valores encontrados por Paula et al. (2000), que obtiveram uma variação de 15 a 40  $\mu\text{m}$  para espécies do centro - oeste.

As espécies *Aspidosperma pyrifolium*, *Mimosa tenuiflora* e *Croton sonderianus* exibiram valores médios para diâmetro do lúmen da fibra, respectivamente, 8,480, 5,790 e 9,050  $\mu\text{m}$  (OLIVEIRA, 2003), sendo estes superiores ao valor médio apresentado para as espécies *Poincianella pyramidalis* (2,78  $\mu\text{m}$ ) e *Handroanthus impertiginosus* (2,90  $\mu\text{m}$ ).

Os valores médios de largura de fibra apresentados pelas espécies *Poincianella pyramidalis* e *Handroanthus impertiginosus* (2,94 e 2,98  $\mu\text{m}$ , respectivamente) foram inferiores aos determinados por Oliveira (2003) para as espécies *Mimosas tenuiflora* (5,320  $\mu\text{m}$ ), *Aspidosperma pyrifolium* (6,270  $\mu\text{m}$ ) e *Croton sonderianus* (4,04  $\mu\text{m}$ ), espécies de ocorrência no Bioma Caatinga.

Os valores médios das análises químicas e poder calorífico superior das madeiras encontram-se na Tabela 3. Observa-se que a espécie *Poincianella pyramidalis* apresentou o valor médio de cinzas (3,69%) e extrativos total (11,81%) superiores aos da espécie *Handroanthus impertiginosus* (6,88 e 11,81%, respectivamente) e valores médios inferiores em relação aos teores de lignina total (24,64%) e poder calorífico superior da madeira (4.413,50 kcal/kg), significativos estatisticamente a 1% de probabilidade. Não houve diferença estatística entre as espécies para o teor de holocelulose.

Tabela 3 - Valores médios das análises químicas e poder calorífico das madeiras das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P. Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos.

Espécie	Indivíduo	CIZM (%)	EXT TOT (%)	LIG TOT (%)	HOL (%)	PCSM (kcal/kg)
<i>Poincianella pyramidalis</i>	1	3,61	9,97	23,83	62,59	4560,50
	2	3,14	10,53	22,03	64,30	4490,00
	3	3,93	15,30	26,47	54,30	4434,50
	4	3,92	14,03	25,32	56,73	4194,50
	5	3,84	9,20	25,57	61,39	4388,00
	<b>Média</b>		<b>3,69A</b>	<b>11,81A</b>	<b>24,64B</b>	<b>59,86a</b>
<i>Handroanthus impertiginosus</i>	1	0,73	6,42	25,55	67,30	4584,50
	2	0,66	6,55	28,53	64,26	4812,00
	3	0,80	7,20	30,30	61,70	4920,50
	4	1,01	6,70	28,82	63,47	4864,50
	5	1,13	7,55	28,78	62,54	4850,00
	<b>Média</b>		<b>0,87B</b>	<b>6,88B</b>	<b>28,40A</b>	<b>63,85a</b>
QMRes		0,07	3,73	3,03	11,10	18009,98
CV(%)		12,00	20,66	6,56	5,39	2,91

CIZM = cinzas da madeira, EXT TOT = solubilidade em álcool/tolueno, álcool e água, LIG TOT = lignina total, HOL = holocelulose e PCSM = poder calorífico superior da madeira, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

O valor médio de cinzas da espécie *Poincianella pyramidalis* foi superior aos encontrados por Medeiros Neto (2008) para as espécies *Anadenanthera colubrina* (2,5%), *Tabebuia aurea* (0,68%) e *Amburana cearensis* (2,05%) e a valores encontrados por Oliveira (2003) para as espécies *Croton sonderianus* (0,68%), *Mimosa tenuiflora* (0,56%), *Aspidosperma pyriformium* (0,56%) e *Eucalytus grandis* (0,45%), ambos usando metodologias semelhantes. Oliveira (2003) enfatiza que um maior percentual de cinzas na madeira está associado a um menor teor de lignina, fato este observado com as espécies estudadas.

O teor de extrativos total médio da espécie *Poincianella pyramidalis* (11,81%) é superior ao encontrado por Santos (2008), ao analisar as madeiras de cinco espécies de ocorrência no Cerrado, cujos resultados variaram de 6 a 8%.

A espécie *Handroanthus impertiginosus* apresentou o maior poder calorífico da madeira, com valor médio de 4.806,30 kcal/kg. Isso pode ser explicado, segundo Browning (1963), citado por Cunha et al. (1989), ao afirmar que o poder calorífico é maior quando se verifica o aumento nos teores de lignina e extrativos, porque esses constituintes químicos da madeira contêm menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose.

Pela análise dos dados apresentados na Tabela 4, constatou-se que a espécie *Poincianella pyramidalis* apresentou o maior teor de rendimento gravimétrico (43,03%). No entanto, a espécie *Handroanthus impertiginosus* exibiu um maior teor de carbono fixo

(67,68%), fato explicado por esta espécie apresentar os menores teores de matérias voláteis (30,36%) e cinzas (1,96%). Oliveira et al. (2010) demonstraram que o teor de carbono fixo é inversamente proporcional ao teor de matérias voláteis.

Tabela 4 – Valores médios das análises do carvão vegetal das espécies *Poincianella pyramidalis* Tul. L.P.Queiroz e *Handroanthus impertiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos

Espécie	Ind.	RG (%)	RLC (%)	DA (g/cm <sup>3</sup> )	DV (g/cm <sup>3</sup> )	MV (%)	CIZC (%)	CF (%)	RCF (%)	PCSC (kcal/kg)
<i>Poincianella pyramidalis</i>	1	42,01	37,93	0,513	1,272	34,508	5,472	60,020	25,21	6450,00
	2	42,58	41,28	0,652	1,264	34,390	5,594	60,015	25,55	6135,00
	3	44,14	37,20	0,610	1,253	34,108	5,297	60,595	26,75	5937,00
	4	44,55	37,66	0,663	1,244	33,925	5,775	60,300	26,86	5997,00
	5	41,87	41,24	0,560	1,266	33,823	4,194	61,983	25,95	6220,00
<b>Média</b>		<b>43,03A</b>	<b>39,06b</b>	<b>0,60a</b>	<b>1,26a</b>	<b>34,150A</b>	<b>5,27A</b>	<b>60,582B</b>	<b>26,04a</b>	<b>6247,80B</b>
<i>Handroanthus impertiginosus</i>	1	37,61	41,78	0,455	1,172	29,679	2,122	68,199	25,65	6970,00
	2	37,26	43,78	0,546	1,108	30,850	1,600	67,550	25,17	7052,00
	3	37,41	43,02	0,492	1,166	29,196	1,823	68,981	25,81	6970,00
	4	38,36	41,99	0,519	1,264	31,378	1,947	66,675	25,58	6946,00
	5	38,86	41,27	0,468	1,270	30,714	2,295	66,991	26,03	6949,00
<b>Média</b>		<b>37,90B</b>	<b>42,37a</b>	<b>0,50b</b>	<b>1,20a</b>	<b>30,360B</b>	<b>1,96B</b>	<b>67,679A</b>	<b>25,65a</b>	<b>6977,40A</b>
QMRes		1,00	2,56	0,003	0,002	0,45	0,231	0,77	0,315	21480,25
CV(%)		2,47	3,93	9,45	4,05	2,07	13,30	1,37	2,17	2,23

Ind = Indivíduo, RG = rendimento gravimétrico, RLC = rendimento em líquido condensado, DA = densidade aparente, DV = densidade verdadeira, MV = matérias voláteis, CIZ = cinzas do carvão, CF = carbono fixo, RCF = rendimento em carbono fixo e PCSC = poder calorífico superior do carvão, QMRes = quadrado médio do resíduo, CV = coeficiente de variação. As médias seguidas por uma mesma letra, em cada coluna, não diferem estatisticamente (Tukey,  $p > 0,05$ ).

O rendimento gravimétrico das espécies estudadas foi superior aos valores encontrados por Vale et al. (2010) para cinco espécies de ocorrência no Cerrado, os quais variaram de 25 a 28 %. A espécie *Poincianella pyramidalis* apresentou um rendimento em carvão médio (43,03%) superior aos valores encontrados por Vale & Nogueira (2001), ao estudarem 12 espécies de ocorrência no Bioma Cerrado, cujos resultados variaram de 32 a 39% e aos valores encontrados por Oliveira (2003) para as espécies *Croton sonderianus* (35,68%), *Mimosa tenuiflora* (39,70%), *Aspidosperma pyriforme* (34,96%) e *Eucalyptus grandis* (33,68%).

Segundo Petroff & Doat (1978), citados por Oliveira et al. (2010), maiores teores de lignina e extrativos na madeira ocasionam um maior rendimento em carvão vegetal. Em virtude destes constituintes químicos serem ricos em carbono. Apesar de a espécie *Poincianella pyramidalis* apresentar uma menor quantidade de lignina, o seu conteúdo de extrativos é superior ao encontrado para a espécie *Handroanthus impertiginosus*.

Nota-se que a densidade aparente do carvão vegetal foi superior para a espécie de maior densidade básica da madeira. Fato observado em relação à madeira de *Poincianella pyramidalis* (0,60 g/cm<sup>3</sup>). Silva et al. (2007) e Sturion et al. (1988) constataram a mesma observação ao estudarem espécies da Amazônia e Eucaliptos, respectivamente.

Observa-se, pelos resultados encontrados, que houve uma diminuição no teor de carbono fixo e um aumento no teor de matérias voláteis, com o aumento do rendimento em carvão para a espécie *Poincianella pyramidalis*. Vale & Nogueira (2001), ao analisarem a qualidade do carvão vegetal de 12 espécies de ocorrência no Cerrado, constataram a mesma observação.

A espécie *Poincianella pyramidalis* exibiu um teor de cinzas do carvão (5,27%) elevado. Oliveira et al. (2006) encontraram um valor de cinzas do carvão (1,32%) para a espécie *Mimosa tenuiflora*. Esta característica é importante, pois serão necessárias mais limpezas em fornalhas e em outros sistemas onde a madeira é utilizada como fonte de energia, provocando danificação dos equipamentos.

O maior teor de carbono fixo foi encontrado para a espécie *Handroanthus impertiginosus* (67,68%). No entanto, apresentou um menor rendimento em carbono fixo do carvão (25,65%), estatisticamente semelhante à espécie *Poincianella pyramidalis*. Isso pode ser explicado, segundo Brito & Barrichelo (1977), pelo fato de que os maiores teores de carbono fixo, nos carvões produzidos a partir das madeiras mais lignificadas, são decorrência do fato de a lignina possuir cerca de 65% de carbono elementar (C) em sua composição contra 45% de C que ocorre normalmente nos polissacarídeos, celulose e hemicelulose.

Oliveira (2003), ao estudar as espécies *Croton sonderianus*, *Mimosa tenuiflora*, *Aspidosperma pyrifolium* e *Eucalyptus grandis*, encontrou valores de carbono fixo que variaram de 70 a 72%, superiores aos exibidos para as espécies *Poincianella pyramidalis* e *Handroanthus impertiginosus*.

A espécie *Handroanthus impertiginosus* apresentou, em média, um maior poder calorífico do carvão (6977,40 kcal/kg). Este valor superou o encontrado por Oliveira et al. (2006), ao estudarem a espécie *Mimosa tenuiflora*, com valor médio de 6.866 kcal/kg, madeira considerada de bom potencial para a produção de carvão e geração de energia. Foi um resultado inferior ao exposto por Oliveira (2003) para a espécie *Eucalyptus grandis*, com um poder calorífico de 7.072 kcal/kg.

## 4.2 Correlações entre as Características Físicas, Anatômicas, Químicas e Energéticas

A seguir, estão discutidas as correlações entre as características das madeiras e do carvão vegetal das espécies *Poincianella pyramidalis* e *Handroanthus impertiginosus*.

### 4.2.1 Análise das Correlações para a espécie *Poincianella pyramidalis*

As correlações entre as variáveis analisadas da espécie *Poincianella pyramidalis* são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Correlações entre variáveis para a espécie *Poincianella pyramidalis*.

Var.	TH	TEXT	TL	RG	PCSM	ESPF	LARGF	RCF	DV
TH	1	-0,91 *	-0,85	-0,84	0,55	-0,34	-0,38	-0,91 *	0,79
TEXT		1	0,55	0,95 *	-0,48	0,14	0,19	-0,48	-0,85
TL			1	0,46	-0,47	0,49	0,51	0,73	-0,49
RG				1	-0,68	0,34	0,38	0,89 *	-0,96 *
PCSM					1	-0,91 *	-0,92 *	-0,80	0,85
ESPF						1	0,98 **	0,58	-0,57
LARGF							1	0,65	-0,61
RCF								1	-0,94 *
DV									1

Var = variável, DA = Densidade aparente do carvão, TH = teor de holocelulose, TEXT = teor de extrativos, TL = teor de lignina total, RG = rendimento gravimétrico, PCSM = poder calorífico superior da madeira, ESPF = espessura de fibra, LARGF = largura de fibra, RCF = rendimento em carbono fixo e DV = densidade verdadeira do carvão. Em que \*\* e \*, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Observa-se, na Tabela 5, a existência de correlações positivas e significativas entre teor de extrativos totais e rendimento gravimétrico; espessura de fibras x largura de fibras; e entre rendimento gravimétrico x rendimento em carbono fixo. Correlações negativas e significativas entre teor de holocelulose x teor de extrativos totais; poder calorífico superior da madeira x espessura de fibras; poder calorífico da madeira x largura de fibras; teor de holocelulose x rendimento em carbono fixo; densidade verdadeira do carvão x rendimento gravimétrico; e densidade verdadeira do carvão com rendimento em carbono fixo.

As demais variáveis químico-físicas, energéticas e anatômicas estudadas neste trabalho e não destacadas na Tabela 5, para a espécie *Poincianella pyramidalis*, não apresentaram correlações significativa a 5 % de probabilidade.

Verifica-se, ainda na Tabela 5, correlação negativa e significativa (-0,91) entre o teor de extrativos e o teor de holocelulose. Observações semelhantes foram feitas por Oliveira (1988) para a madeira de *Eucalyptus grandis*. Vale et al. (2010) encontraram um correlação

positiva (0,46) entre estas variáveis. Entretanto, esses autores analisaram os dados de cinco espécies diferentes de maneira unificada.

#### 4.2.1.1 Relações entre características químicas e físicas da espécie *Poincianella pyramidalis*

A análise de regressão entre o teor de extrativos totais com teor de holocelulose e rendimento gravimétrico, respectivamente, é apresentada nas Figuras 3 e 4.

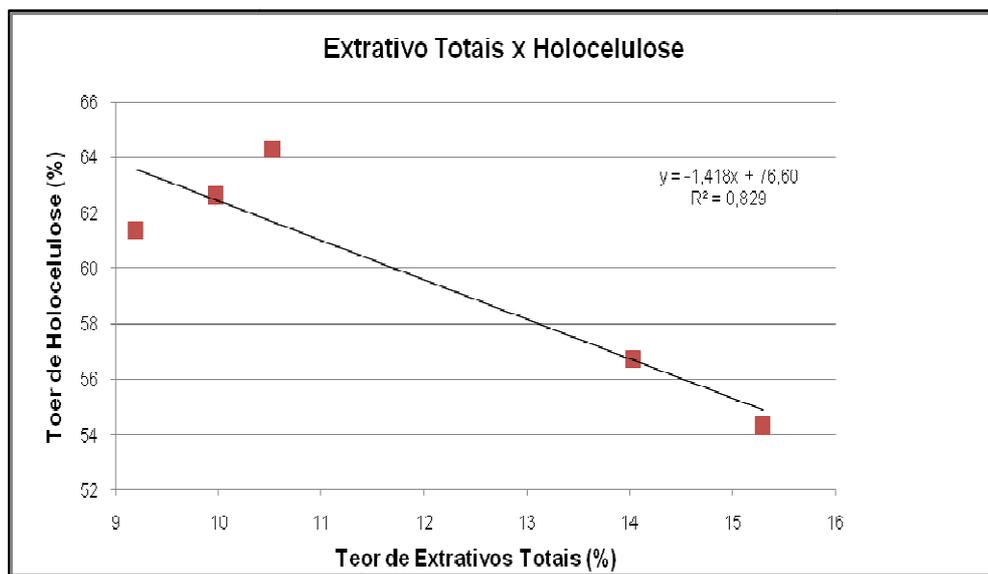


Figura 3 – Correlação entre o teor de extrativos totais (%) e o teor de holocelulose (%)

Observa-se, na Figura 3, um coeficiente de determinação elevado ( $R^2 = 0,829$ ), indicando que 83% do teor de extrativos totais é explicado pela variação do teor de holocelulose. Oliveira (1988) encontrou um coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,32$ ) para estas variáveis ao estudar a madeira de *Eucalyptus grandis*.

A correlação entre o rendimento gravimétrico e o teor de extrativos totais apresentou um alto coeficiente de determinação (0,92) (Figura 4). Observações semelhantes foram feitas por Oliveira (1988), ao estudar a espécie *Eucalyptus grandis*. Vale et al. (2010), ao estudarem cinco espécies de ocorrência no Cerrado, encontraram uma correlação negativa e não significativa para estas variáveis.

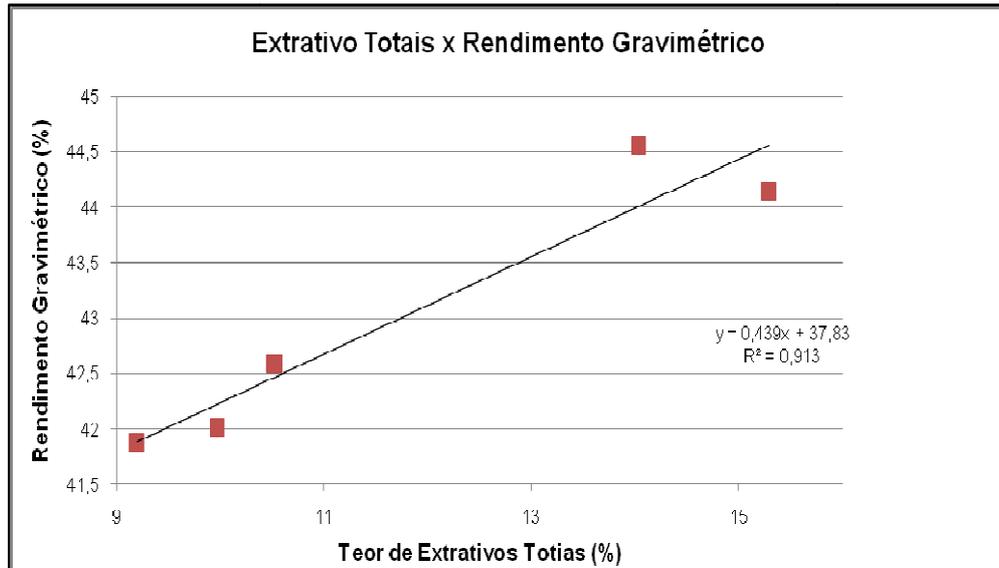


Figura 4 – Correlação entre o teor de extrativos totais (%) e o rendimento gravimétrico (%)

Verifica-se, ainda na Figura 4, que o aumento em rendimento gravimétrico é proporcionado pela maior quantidade de extrativos na madeira. Santos (2008) exibiu uma coeficiente de correlação negativo e não significativo entre estas variáveis, ao estudar cinco espécies de ocorrência no Cerrado brasileiro. Entretanto, este autor analisou os dados de cinco espécies diferentes de maneira unificada.

#### 4.2.2 Análise das correlações para a espécie *Handroanthus impertiginosus*

As correlações entre as variáveis analisadas da espécie *Handroanthus impertiginosus* são apresentadas na Tabela 6.

Observa-se, na Tabela 6, a ocorrência de correlações positivas e significativas entre teor de lignina x poder calorífico superior da madeira e teor de holocelulose com comprimento de fibras; e correlações negativas e significativas entre teor de holocelulose x teor de lignina total; teor de holocelulose x poder calorífico superior da madeira; densidade básica da madeira x diâmetro do lúmen da fibra; densidade básica da madeira x largura de fibras; e comprimento de fibras com rendimento gravimétrico.

As demais variáveis químico-físicas, energéticas e anatômicas estudadas neste trabalho e não destacadas na Tabela 6, para a espécie *Handroanthus impertiginosus*, não apresentaram correlações significativas a 5 % de probabilidade.

Tabela 6 – Correlações entre as variáveis para a espécie *Handroanthus impertiginosus*.

Var.	DBM	HOL	TL	PCSM	DIALF	LARGF	COMPF	DV	RG
DBM	1	-0,63	0,52	0,58	-0,96 *	-0,94 *	-0,56	0,32	0,55
HOL		1	-0,97**	-0,97**	0,56	0,49	0,90 *	-0,29	-0,28
TL			1	0,99 **	-0,45	-0,36	-0,82	0,12	0,08
PCSM				1	-0,55	-0,38	-0,88 *	0,24	0,21
DIALF					1	0,84	0,59	-0,48	-0,68
LARGF						1	0,34	-0,18	-0,44
COMPF							1	-0,65	-0,59
DV								1	-0,94 *
RG									1

Var = variável, DBM = Densidade básica da madeira, TH = teor de holocelulose, TL = teor de lignina total, PCSM = poder calorífico superior da madeira, DIAF = diâmetro do lúmen da fibra, LARGF = largura de fibra, COMPF = comprimento de fibra, CF = Carbono Fixo e RG = rendimento gravimétrico. Em que \*\* e \*, significativo a 1 e 5 % de probabilidade, respectivamente.

Verifica-se, na Tabela 6, uma correlação positiva e não significativa (0,52) entre a densidade básica da madeira e o teor de lignina. Observações similares foram encontradas por Brito & Barrichello (1977), ao estudarem dez espécies de Eucalipto com idades diferentes, com uma temperatura máxima atingida de 500°C e um ciclo total de carbonização de 2,5 horas, e por Oliveira (1988) e Vale et al. (2010), utilizando metodologia semelhante, no entanto, com correlações significativas e coeficientes de correlações de 0,57 e 0,85, respectivamente.

Vital et al. (1994) encontraram uma correlação negativa entre essas variáveis para vinte e cinco progênies da espécie *Eucalyptus camaldulensis* com trinta e três meses de idade, utilizando uma metodologia com um tempo de carbonização de 6 horas e temperatura máxima de 450 ° C, mantida por duas horas.

Observa-se, ainda, uma correlação negativa e não significativa (-0,63) entre a densidade da madeira e o teor de holocelulose. Resultados semelhantes foram encontrados por Vale et al. (2010) e Oliveira (1988), com significância de 5 % . Vital et al. (1994) relataram uma correlação positiva entre estas variáveis, mas com um coeficiente de correlação muito baixo (0,004).

A correlação entre a densidade básica e o rendimento gravimétrico foi positiva e não significativa (0,55), indicando que amostras de maior densidade produzem maior rendimento em carvão. Observações semelhantes foram relatadas por Vital et al. (1994) e Vale et al. (2010). Oliveira (1988) apresentou uma correlação significativa entre essas variáveis. Deve-se ressaltar que a densidade básica da madeira explica somente 55% do rendimento gravimétrico, não sendo isoladamente considerado um parâmetro único da qualidade da madeira.

#### 4.2.2.1 Relações entre características químicas, físicas e anatômicas da espécie *Handroanthus impertiginosus*

A correlação entre o teor de lignina total e teor de holocelulose; teor de lignina e poder calorífico superior da madeira; e teor de holocelulose com poder calorífico superior da madeira é apresentada nas Figuras 5, 6 e 7.

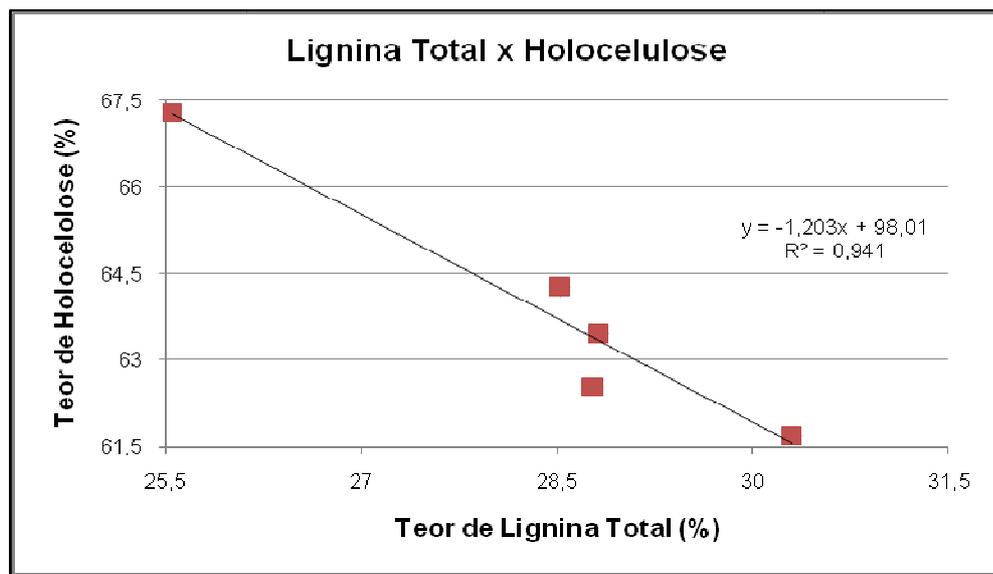


Figura 5 – Correlação entre o teor de lignina total (%) e o teor de holocelulose (%)

Observa-se, na Figura 5, uma correlação negativa entre o teor de lignina e o teor de holocelulose, ou seja, o aumento no teor de lignina ocasionou uma diminuição no teor de holocelulose. Resultados similares foram descritos por Oliveira (1988), Vital et al. (1994) e Vale et al. (2010).

A correlação entre o teor de lignina e o poder calorífico da madeira (Figura 6) foi positiva, ou seja, o aumento no teor de lignina ocasionou um aumento no poder calorífico da madeira. Isso é explicado pelo alto poder calorífico da lignina, devido a sua estrutura química. Oliveira (1988) não encontrou correlação para essas variáveis ao analisar a madeira de *Eucalyptus grandis*.

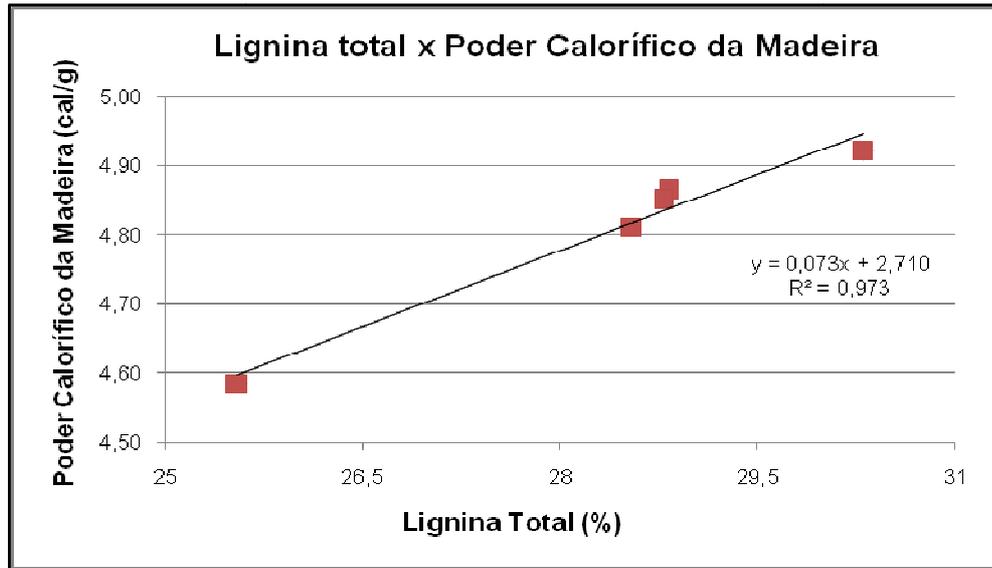


Figura 6 – Correlação entre o teor de lignina total (%) e o poder calorífico da madeira (cal/g)

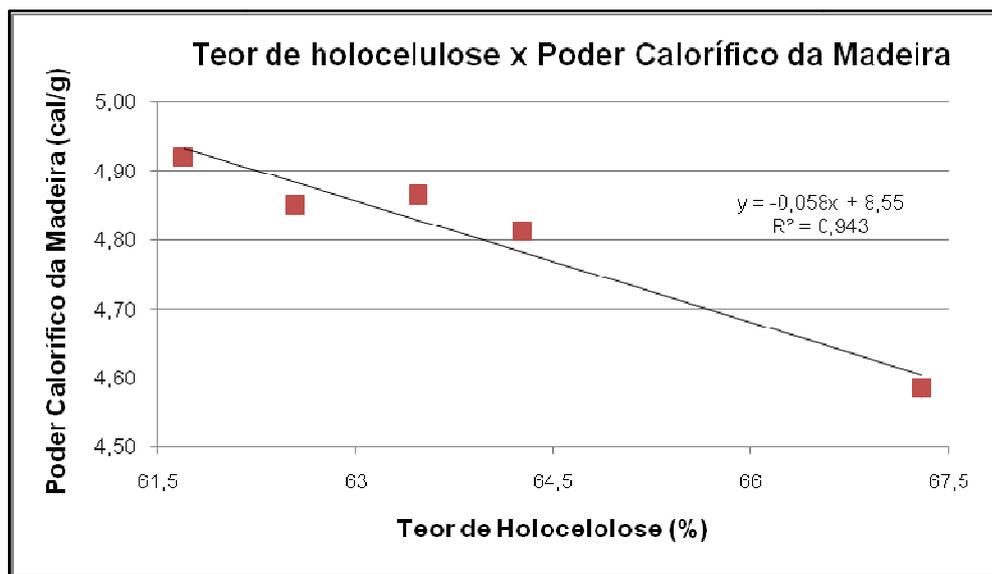


Figura 7 – Correlação entre o teor de holocelulose (%) e o poder calorífico da madeira (cal/g)

O teor de holocelulose apresentou uma correlação negativa com o poder calorífico da madeira (Figura 7), proporcionado pela relação inversa entre holocelulose e lignina. Observação semelhante fora descrita por Oliveira (1988).

As correlações entre a densidade básica da madeira com largura de fibras e diâmetro do lúmen das fibras são apresentadas nas Figuras 8 e 9, respectivamente.

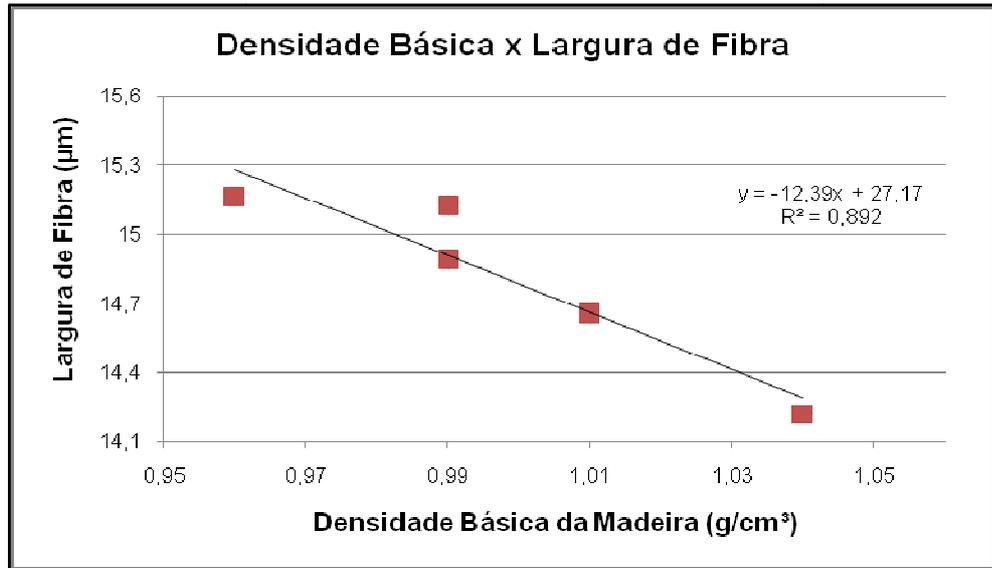


Figura 8 – Correlação entre a densidade básica da madeira (g/cm³) e a largura de fibra (µm)

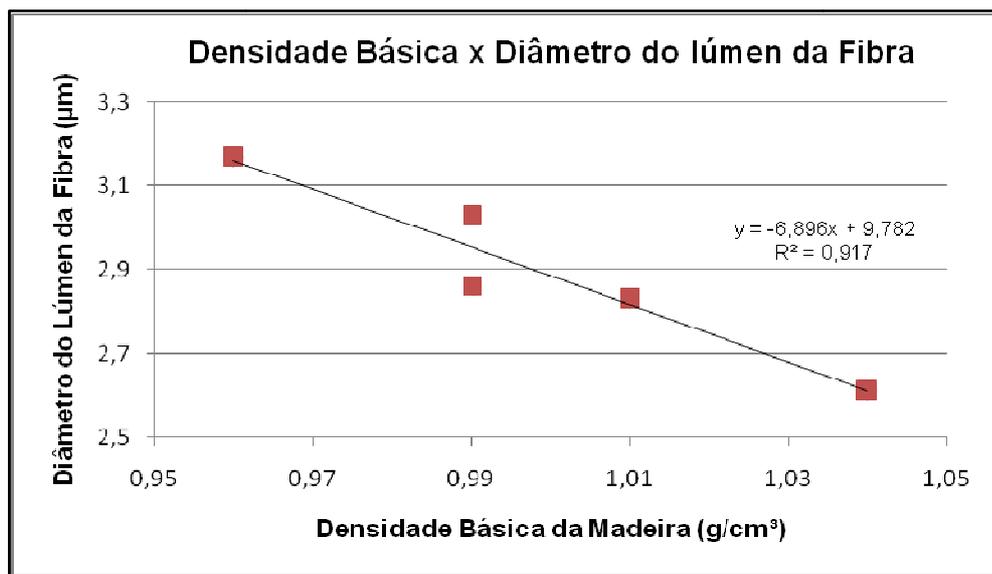


Figura 9 – Correlação entre a densidade básica da madeira (g/cm³) e o diâmetro do lúmen da fibra (µm)

Observa-se, na Figura 8, uma correlação negativa entre densidade básica da madeira e a largura de fibra, indicando que a espécie mais densa apresentou uma menor largura de fibra. Resultados semelhantes foram observados por Oliveira (1988) para a espécie *Eucalyptus grandis*.

Para a correlação entre densidade básica da madeira e o diâmetro do lúmen da fibra (Figura 9), nota-se o mesmo comportamento apresentado pela Figura 8, ou seja, o aumento da

densidade básica da madeira foi ocasionado por uma redução no diâmetro lúmen das fibras. Este fato também foi relatado por Oliveira (1988).

As correlações das características físicas, anatômicas, químicas e energéticas mostraram-se diferentes entre as espécies estudadas, respectivamente. Isso pode ser explicado pela heterogeneidade apresentada pela espécie *Poincianella pyramidalis*, conforme anexos I e II. Esta espécie apresentou uma grande dificuldade de coleta, devido a, durante a amostragem, ela apresentar uma alta susceptibilidade ao ataque de organismos xilófagos. Visualmente, a madeira era aparentemente sadia, mas, ao se efetuar o corte do fuste, notava-se a presença de orifícios no interior do lenho. Por esse motivo, a coleta foi realizada em vários locais distintos no interior da propriedade rural, amostrando árvores jovens e senis.

Para a madeira de *Handroanthus impertiginosus*, a coleta amostrou árvores de idades aparentemente semelhantes. Por se tratar de povoamentos naturais e inequiâneos, as idades de ambas as espécies coletadas eram desconhecidas.

## CONCLUSÕES

As densidades básicas das madeiras não apresentaram diferença entre as espécies estudadas. Entretanto, a densidade básica da espécie *Poincianella pyramidalis* foi superior ao da *Handroanthus impertiginosus*.

As madeiras das espécies ensaiadas apresentaram comprimento, largura, diâmetro do lúmen e espessura da parede das fibras semelhantes.

A *Poincianella pyramidalis* apresentou maiores teores de cinzas da madeira e extrativos totais e menores teores de lignina e poder calorífico superior da madeira que a *Handroanthus impertiginosus*, exceto para os teores de holocelulose, que foram semelhantes.

O carvão vegetal produzido com a madeira da *Poincianella pyramidalis* apresentou maiores teores de rendimento gravimétrico, densidade aparente e cinzas do carvão e menores teores de carbono fixo e matérias voláteis, quando comparada à espécie *Handroanthus impertiginosus*. O rendimento em carbono fixo e a densidade verdadeira do carvão foram semelhantes.

O elevado teor de cinzas do carvão da espécie *Poincianella pyramidalis* influenciou a um menor teor de carbono fixo, no entanto o rendimento em carbono fixo foi superior, devido à relação direta com o rendimento gravimétrico.

A disparidade das correlações expostas para ambas as espécies ocorreu pelo fato de as mesmas pertencerem a famílias botânicas distintas e, também, devido à *Poincianella pyramidalis* apresentar uma alta variabilidade entre os indivíduos amostrados.

De modo geral, em função das características físicas, químicas e energéticas da madeira, o carvão vegetal obtido da espécie *Handroanthus impertiginosus* apresentou as melhores propriedades, visando a fins energéticos.

## REFERÊNCIAS

AGRA, M. F.; ROCHA, E. A.; FORMIGA, S. C.; LOCATELLI, E. Plantas medicinais dos Cariris Velhos, Paraíba, Parte II: Subclasses Magnoliidae, Caryophyllidae, Dilliniidae e Rosidae. **Rev. Bras. Farm.**, v. 77, p. 97-102, 1996.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). **Standard method for chemical analyses of wood charcoal**. Philadelphia: 1977. 1042 p.

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**. V. 5, p.24-42, 1998.

ANDRADE, A.S. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* I: influência da idade e classe de produtividade**. 2006. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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**, v. 11, p. 253-262, 2005.

ARAÚJO, L.V.C.; PAULO, M.C.S.; PAES, J.B. Características dendrométricas e densidade básica da jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir.) de duas regiões do estado da Paraíba. **R. Caatinga**, v.20, p.89-96, 2007.

ASSIS, C.O.; TRUGILHO, P.F.; MENDES, L.M.; SILVA, J.R.M.; LIMA, J.T. Sistema alternativo para carbonização de madeira. **Scientia Forestalis**, v. 36, p. 133-140, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas Técnicas NBR 8112**. Brasília, 1983. n.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. **Normas Técnicas NBR 8633**. Brasília, 1983. n.p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **NORMAS ABTCP**. Normas Técnicas ABTCP. São Paulo, ABTCP, 1974. n.p.

BARACUHY, J. G. V. **Manejo integrado de microbacias hidrográficas no Semiárido Nordeste. Um estudo de caso**. 2001. 133p. (Tese de Doutorado em Recursos Naturais). Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

BASTOS FILHO, J. G. **Desenvolvimento de um forno metálico para carbonização da madeira**. 1988. 37 f. Dissertação (mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1988.

BELINI, U.L.; TOMAZELLO FILHO, M.; CHAGAS, M.P.; DIAS, C.T.S. Caracterização da estrutura anatômica, densidade básica e morfologia de cavacos da madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de painéis MDF. **Árvore**, Viçosa, v.32, p.707-713, 2008.

BRAGATTO, J. **Avaliação da composição química da parede celular de plantas de tabaco (*Nicotiana tabacum*) que superexpressam o gene *ugdH* de soja, que codifica a enzima UDP-glicose desidrogenase (EC 1.1.1.22)**. 2007.74f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. São Paulo.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Correlação entre as características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 1 densidade e teor de lignina na madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. **IPEF**, Piracicaba, 1993. 6 p. (Circular técnica, 181).

BURGER, L. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da Madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p. ISBN 85-213-0669-5.

CARVALHO, A.M.M.L.; VITAL, B.R.; GOMIDE, J.L.; DELLA LUCIA, R.M.; LEITE, H.G. Efeito da impregnação da madeira de *Eucalyptus grandis* com sais ígnifugos na produção e na qualidade do carvão vegetal. **R. Arvore**, Viçosa, v.22, p.253- 262, 1998.

CUNHA, M. P. S. C. et al. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: 1989. v.2, p. 93-121.

GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWWIG, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-66.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O PAPEL**, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

JOHNSON, D. V. **Relatório sobre o manejo da Caatinga, semi-árido do Nordeste Brasileiro**. In: PROJETO PNUD/FAO/BRA/85/007. Natal: 1985. (Circular Técnica, 3).

COELHO JUNIOR, L.M.; REZENDE, J.L.P.; SÁFADI, T.; CALEGARIO.; N. Análise temporal do preço do carvão vegetal oriundo de floresta nativa e de floresta plantada. **Scientia Forestalis**, n. 70, p. 39-48, 2006.

LEPAGE. E.S. **Química da Madeira**. In: LEPAGE, E. S. (Coord.). Manual de preservação de madeira. São Paulo: IPT, 1986. v. 1, p. 69-97.

LIMA, J. T.; BREESE, M. C.; CAHALAN, C. M. Variation in wood density and mechanical properties in *Eucalyptus* clones. In: THE FUTURE OF EUCALYPTS FOR WOOD PRODUCTS. 2000, Launceston, Tasmania. **Proceedings...** Launceston: IUFRO., 2000, p. 282-291.

LIMA, S.R.; OLIVEIRA, G.S.; MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.A.; CHANG, R. Estudo dos constituintes macromoleculares, extrativos voláteis e compostos fenólicos da madeira de candeia – *Moquinia polymorpha* (Less.) dc. **Ciência Florestal**, v. 17, p. 145-155, 2007.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil, 4. ed., v. 1, Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002. 368 p.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da Madeira**. Curitiba – PR: UFPR. 2005. 3. ed. 86p.(manual Didático).

MAIA, G. N. **Caatinga**: árvores e arbustos e suas utilidades. São Paulo: D&Z Computação, 2004. 413 p.

MEDEIROS NETO, P.N. **Correlação entre teores de extrativos e a resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos**. Patos, 2008, 27f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Florestal - Curso de Engenharia Florestal), Universidade federal de Campina Grande, 2008.

MELO, R.R.; PAES, J.B.; LIMA, C.R.; FERREIRA, A.G.; Estudo da variação radial da densidade básica de sete madeiras do Semi-Árido. **R. Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL DE GARÇA/FAEF, n.7, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. **Mapa de cobertura vegetal dos Biomas brasileiros**. Brasília, DF, 2007. 17p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-MMA. Disponível em:< <http://www.mma.gov.br>>. Acesso em 02 dez. 2010.

MORAIS, S. A. L.; NASCIMENTO, E. A.; MELO, D. C. Análise da madeira de *Pinus oocarpa* parte I – estudo dos constituintes macromoleculares e extrativos voláteis. **R. Árvore**, Viçosa, v.29, p.461-470, 2005a.

MORAIS, S.A.L.; NASCIMENTO, E.F.; MELO, D.C. Análise da madeira do *Pinus oocarpa* parte II: caracterização estrutural da lignina da madeira moída. **R. Árvore**, Viçosa, v.29, p.471-478, 2005b.

OLIVEIRA, A. C.; A.C. O. 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, p. 431-439, 2010.

OLIVEIRA, J.T.; SIEDLER, N.C.; NOGUEIRA, M. **Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro II**. Jerônimo Monteiro : Ed. Aquarius,2007. 302p.

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

OLIVEIRA, J.T.S.; SOUSA, L.C.; DELLA LUCIA, R.M.; SOUSA JUNIOR, W.P. Influência dos extrativos na resistência ao apodrecimento de seis espécies de madeira. **R. Árvore**, v.29, p.819-826, 2005.

OLIVEIRA, E. **Características anatômicas, químicas e térmicas da madeira de três espécies de maior ocorrência no semiárido nordestino**. 2003. 122p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais.

OLIVEIRA, E. **Correlações entre parâmetros de qualidade da madeira e do carvão de *Eucalyptus grandis* (W. Hill ex-Maiden)**. 1988. 47f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1988.

OLIVEIRA, J. B.; GOMES, P. A.; ALMEIDA, M. R. Propriedades do carvão vegetal. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Carvão vegetal: destilação, carvoejamento, controle de qualidade**. Belo Horizonte: CETEC. 1982b. p.39-61.

OLIVEIRA, J. B.; VIVACQUA FILHO, A.; GOMES, P. A. Produção de carvão vegetal - aspectos técnicos. In: PENEDO, W. R. (Ed.) **Produção e utilização de carvão vegetal**. Belo Horizonte: CETEC. 1982a. p. 60-73.

PAULA, J.E.; ALVES, J.L.H. **897 Madeiras nativas do Brasil: anatomia – dendrologia - dendrometria - produção - uso**. 1. ed, Porto Alegre, Cinco Continentes, 2007. 438p.

PAULA, J.E.; SILVA JUNIOR, F.G.; SILVA, A.P.P. Caracterização anatômica de madeiras nativas de matas ciliares do centro-oeste brasileiro. **Scientia Forestalis**, n.58, p.73-89, 2000.

PINHEIRO, P.C.C.; SÉYE, O. **Influência da temperatura de carbonização nas propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus***. In: Congresso Anual da ABM, 53., 1998, Belo Horizonte. Disponível em: <  
<http://www.demec.ufmg.br/professor/paulocpinheiro/papers/abm98.pdf>. Acesso: em 15 fev.2010.

SABONARO, D. Z.; GALBIATTI, J.A. Efeito de níveis de irrigação em substratos para a produção de mudas de ipê-roxo. **Scientia Forestalis**, n. 74, p. 95-102, 2007.

SANTIAGO, A.R.; ANDRADE, A.M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de Eucalipto. **Ciência Florestal**, v.15, p 1-7, 2005.

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2008.

SILVA, M.G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M.M.; NAGAISH, T.Y.R.; GALVÃO, G.R. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta amazonica**. v. 37. P. 61-70, 2007.

SILVÉRIO, F.O.; BARBOSA, L.C.A.; GOMIDE, J.L.; REIS, F.P.; VELOSO, D.P. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **R. Árvore**, v. 30, p.109 - 116, 2006.

SIQUEIRA FILHO, J.A.; SANTOS, A.P.B.; NASCIMENTO, M.F.S.; ESPIRITO SANTO, F.S. **Guia de Campo de Árvores da Caatinga**. Petrolina: 2009.64 p.il. 21 cm. Inclui bibliografia.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2.ed. New York: Academic Press. 1993. 293 p.

STURION, J.A.; PEREIRA, J.C.D.; CHEMIN, M.S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p.55-59, 1988.

SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE – SUDEMA. **Atualização do diagnóstico florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa: SUDEMA, 2004. 268p.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 264 om-88: preparation of wood for chemical analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1992. v.1.

TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. **TAPPI test methods T 257 om- 92: sampling and preparing wood for analysis**. Atlanta: Tappi Technology Park, 1992. v.1.

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**, v. 20, p. 137-145, 2010.

VALE, A.T.; NOGUEIRA, M. Carbonização de madeiras do Cerrado e análise do carvão vegetal. **R. Arvore**, Viçosa, V.25, p.271-276, 2001.

VALENTE, A.F.; LELLES, J.G. **Carbonização da madeira de *Eucalyptus***. Informe Agropecuário, Belo Horizonte- BH, n.141, p.74-79, 1986.

VALERIO.;A.F.; WATZLAWICK L.F.; SANTOS, R.T.; SILVESTRE,R.; KOEHLER, H.S. Determinação da densidade básica da madeira de peroba (*Aspidosperma polineuron* Muell. Arg.) ao longo do fuste. **R. Caatinga**, v.21, p54-58,. 2008.

VELLOSO, A.L.; SAMPAIO, E.V.S.B.; PAREYN, F.G.C. **Ecorregiões proposta para o bioma Caatinga**. Recife, PE, 76f. 2002.

VITAL, B. R.; ALMEIDA, J.; VALENTE, O.F.; PIRES, I.E. Características de crescimento das árvores e de qualidade da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* para a produção de carvão. **IPEF**, n.47, p. 22-28, 1994.

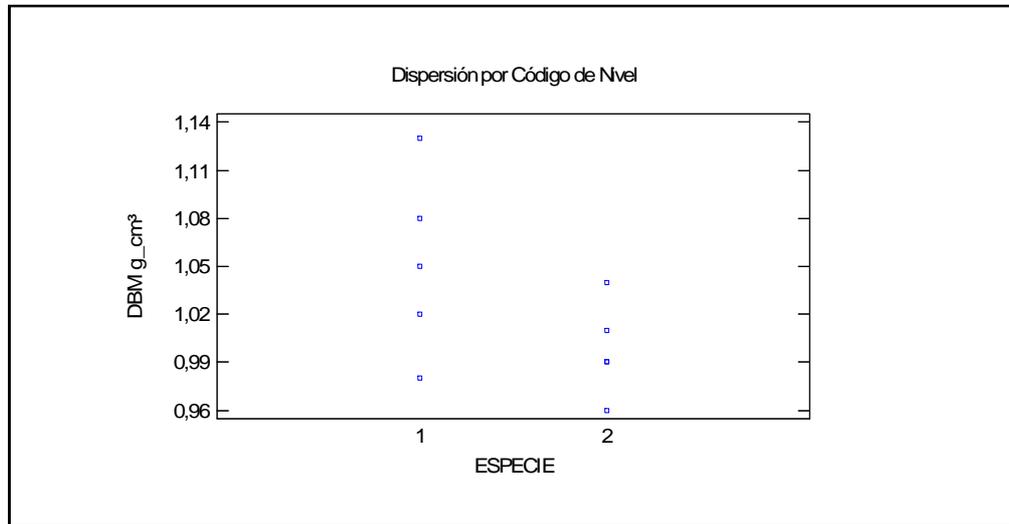
VITAL, B. R.; JESUS, R. M.; VALENTE, O. F. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **R. Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1984. 21 p. (Boletim técnico, 1).

**APÊNDICES**  
**(GRÁFICOS DE DISPERSÃO)**

### Apêndice I

Gráfico de dispersão da variável física (Densidade Básica da Madeira) das espécies estudadas, respectivamente, (Espécie 1= Catingueira e Espécie 2= Pau D'arco)



## Apêndice II

Gráficos de dispersão das variáveis dendrométricas das espécies estudadas, respectivamente, (Espécie 1= Catingueira e Espécie 2= Pau D'arco)

