

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na
região do Médio Paranapanema, SP**

Tânia Cerbino Cintra

Dissertação apresentada para obtenção de Mestre em
Recursos Florestais, com opção em Tecnologia de
Produtos Florestais

**Piracicaba
2009**

Tânia Cerbino Cintra
Engenheiro Florestal

Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do
Médio Paranapanema, SP

Orientador:
Prof. Dr. **JOSÉ OTÁVIO BRITO**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências Florestais. Área de concentração:
Tecnologia de Produtos Florestais

Piracicaba
2009

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Cintra, Tânia Cerbino

Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP / Tânia Cerbino Cintra. - - Piracicaba, 2009.
84 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2009.
Bibliografia.

1. Árvores florestais - Paranapanema (SP) 2. Biomassa 3. Energia 4. Madeira 5. Plantas nativas I. Título

CDD 634.9
C575a

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”

AGRADECIMENTOS

Ao professor Brito, pela valiosa orientação desde a graduação, pelas oportunidades de crescimento, sempre com muita disposição, bom humor e amizade.

Ao Melo e a equipe do Instituto Florestal de São Paulo, que possibilitaram a realização do trabalho graças ao excelente material fornecido com muita gentileza e bom humor.

A toda equipe do laboratório, pela ajuda ímpar em termos práticos e psicológicos, especialmente Udemilson, Davi, Diego, Paulo, Giana.

A Professora Sonia pela ajuda nas suadas análises estatísticas.

Aos maravilhosos amigos da pós-graduação que estiveram do meu lado compartilhando esses intensos momentos, Ticiane, Rose, Marina e Felipe (Grelha).

Aos meus pais, pelo amor e apoio aos estudos e ao crescimento pessoal. Em especial, à minha mãe, por não me deixar olhar o lado negativo das coisas e sempre acreditar no poder do conhecimento.

Ao meu companheiro-guarda de todos os momentos, que esteve comigo me iluminando e me protegendo.

E à todos aqueles que durante esse período, de uma maneira direta ou indireta, colaboraram para o desenvolvimento desse trabalho.

"Bom mesmo é ir a luta com determinação, abraçar a vida com paixão, perder com classe e vencer com ousadia, pois o triunfo pertence a quem se atreve... A vida é muita para ser insignificante."

Charles Chaplin

"A natureza é o único livro que oferece um conteúdo valioso em todas as suas folhas."

Johann Wolfgang Von Goethe

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Situação mundial do uso de madeira para energia	10
1.2 Aspectos do uso da madeira para energia no Brasil	11
1.3 Origem da madeira para fins energéticos.....	16
1.4 Oportunidade ligada ao uso de madeira para fins energéticos	17
1.5 Revisão bibliográfica	18
Referências	19
2 CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS PLANTADAS NA REGIÃO DO MÉDIO PARANAPANEMA, SP	21
Resumo	21
Abstract	22
2.1 Introdução	22
2.2 Revisão bibliográfica	24
2.2.1 Principais características da madeira frente ao seu uso energético.....	24
2.2.1.1 Poder calorífico.....	24
2.2.1.2 Composição química	25
2.2.1.3 Composição Imediata.....	26
2.2.1.4 Teor de umidade	27
2.2.1.5 Densidade básica.....	27
2.2.2 Características gerais das espécies estudadas	28
2.3 Material e métodos	33
2.3.1 Seleção de árvores, áreas e espécies.....	34
2.3.2 Características dos locais de coleta	34
2.3.3 Procedimentos de campo.....	35
2.3.3.1 Abate e pesagem das árvores.....	35
2.3.3.2 Amostragem para determinação da massa seca	35
2.3.4 Caracterização da madeira para fins energéticos	36

2.3.4.1 Determinação e classificação da densidade básica	36
2.3.4.2 Análise imediata	36
2.3.4.3 Poder calorífico superior.....	36
2.3.4.4 Determinação do teor de lignina e de extrativos totais	36
2.3.5 Cálculos das estimativas de produção	37
2.3.6 Análise estatística.....	37
2.4 Resultados e discussão.....	38
2.4.1 Produtividade florestal	38
2.4.2 Características da madeira.....	42
2.4.2.1 Densidade básica da madeira	42
2.4.2.2 Poder calorífico superior.....	45
2.4.2.3 Análise imediata	47
2.4.2.4 Teor de lignina e extrativos	51
2.4.3 Produtividade energética.....	53
2.5 Conclusões.....	56
Referências	57
3 INFLUÊNCIA DA IDADE DE PLANTIO NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA LIGADAS À PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA ESPÉCIES NATIVAS NA REGIÃO DO MÉDIO PARANAPANEMA, SP.	62
Resumo	62
Abstract	62
3.1 Introdução	63
3.2 Revisão bibliográfica	64
3.2.1 Influência da idade nas características da madeira.....	64
3.2.2 Características gerais das espécies estudadas	66
3.3 Material e métodos.....	67
3.3.1 Seleção de árvores, de áreas e de espécies.....	68
3.3.2 Características dos locais de coleta	68
3.3.3 Procedimento de campo e de laboratório.....	69
3.3.3.1 Abate e corte dos discos	69
3.3.3.2 Caracterização da madeira para fins energéticos	69

3.4 Resultados e discussão.....	70
3.5 Conclusões.....	75
Referências	76
ANEXOS	79

RESUMO

Avaliações energéticas de espécies florestais nativas plantadas na região do Médio Paranapanema, SP

O uso de energias renováveis é uma tendência mundial, cada vez mais difundida, principalmente por razões ambientais e econômicas. Das diversas formas existentes de energias renováveis, a biomassa tem grande destaque, devido sua alta capacidade produtiva e versatilidade de aplicação. No Brasil, a biomassa tem grande expressão no suprimento energético do país, 31,6% do total, e a madeira corresponde à quase metade desse valor (BRASIL, 2008). Boa parte do suprimento dessa fonte provém ainda de florestas nativas, o que evidencia a necessidade de ampliação de plantios florestais visando o atendimento sustentado dessa crescente demanda. Entretanto, para que os plantios florestais cumpram efetivamente suas funções, os mesmos precisam ser orientados tanto por altas produtividades florestais como pelas qualidades ideais da madeira para uso energético. As espécies brasileiras são, relativamente, pouco conhecidas do ponto de vista energético, uma vez que a maior parte dos plantios são, tradicionalmente, realizados com espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. O presente trabalho buscou trazer informações sobre características qualitativas e quantitativas de espécies florestais brasileiras, assim como a influência da idade nas características da madeira relacionadas ao uso energético, a fim de prover subsídios para a seleção de espécies com vocação para tal finalidade. A pesquisa foi desenvolvida a partir de plantios estabelecidos como parte de ações de recuperação de áreas florestais na região de Assis, SP. Em tais áreas, o Instituto Florestal do Estado de São Paulo desenvolveu equações alométricas para quantificação da produção de biomassa e carbono (MELO et al., 2008). A partir desses plantios foi realizado, adicionalmente, o presente estudo, que visou avaliar o potencial energético de espécies florestais nativas. No primeiro estudo, foram avaliadas 12 espécies entre 6 a 8 anos, para as quais foram estudadas suas características quanto a produção de biomassa e as relacionadas as principais propriedades da madeira visando a finalidade energética. A segunda avaliação comparou as características da madeira de duas espécies em duas faixas de idade distintas, 6 e 8 anos e 36 e 37 anos. Com base nos resultados obtidos concluiu-se que: a) Nenhuma das espécies estudadas apresentou características limitantes em suas madeiras, em relação ao uso energético; b) O fator decisivo para a seleção de espécies para plantio foi a produção de biomassa; c) Em que pese esse último aspecto, quatro espécies se mostraram mais potenciais para o uso energético, quais sejam: *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), *Acacia polyphyla* (Monjoleiro); d) No estudo sobre a *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco) e o *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), constatou-se a influência da idade em todas as características analisadas, para ambas as espécies analisadas. e) Ainda no segundo trabalho, constatou-se que a densidade básica, o poder calorífico, o carbono fixo, o teor de extrativos totais e o teor de lignina se relacionaram positivamente com o aumento da idade, enquanto que o teor de materiais voláteis e de cinzas mostraram influência negativa do efeito da idade.

Palavras-chave: Biomassa; Madeira; Energia; Espécies nativas; Idade

ABSTRACT

Energy assessments of Brazilian species planted in the region of the Middle Paranapanema, SP

The use of renewable sources of energy is a worldwide trend and is being increasingly widespread, mainly for environmental and economic reasons. Biomass has become one of the most commonly used renewable sources of energy in the last years. Many of the biomass fuels used today comes in the form of wood products and others sources. In Brazil, woody biomass has great expression in the country's energy supply, 12,5% of the total (BRASIL, 2008). However, the growing demand for such application requires the expansion of forest plantations for sustained production. Meanwhile, the forest plantations should be targeted by productivity of forests and the characteristics of wood during energy use to reach high yields. The Brazilian species are, relatively, little known in terms of energy uses, since most of the plantations are traditionally carried out with species of the genus Pine and Eucalyptus. This study aimed to bring about qualitative and quantitative characteristics of Brazilian forest species, as well as a study about the influence of age on the characteristics of wood energy uses, in order, to provide subsidies for the selection of species with vocation for this purpose. The research was conducted from recovery plantations in the region of Assis, Brazil. In such areas, the Forest Institute of the State of Sao Paulo developed tissues for quantification of biomass production and carbon (MELO et al., 2008) and, in addition, this study was conducted, aiming to offer new data and information for this important segment. In the first study, 12 species from 6 to 8 years were evaluated, on the energy production and properties of wood related to this purpose. The second assessment compared the characteristics of two species of wood in two distinct age groups, 6 and 8 years and 36 and 37 years. Based on the results it was concluded that: a) None of the species studied showed limitations on its woods' characteristics, related to energy use; b) The decisive factor on the selection of species for planting was the production of biomass; c) Related with the last point, four species present more potential for energy use, namely: *Enteroplobium contortisiliquum*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Cytharexylum myrianthum* and *Acacia polyphyla* d) In the second study, conducted on the *Anadenanthera falcata* and *Myracrodruon urundeuva*, there was the influence of age in all properties of the woods, for both species analyzed. e) Considering the last species mentioned, it was found that the density, the heating value, the carbon fixed, the extractives content and the lignin content were positively associated with age, while the volatile materials content and ash showed negative influence of the effect of age.

Keywords: Biomass; Wood energy; Brazilian species; Age

1 INTRODUÇÃO

1.1 Situação mundial do uso de madeira para energia

O consumo mundial de energia se desenvolveu ao longo das últimas décadas baseando-se, principalmente, em fontes não renováveis, o que vem desencadeando uma série de questionamentos em relação ao abastecimento energético e ao equilíbrio ambiental e econômico. Com isso, muitos países vêm buscando alternativas energéticas que minimizem esses problemas, sobretudo mediante a intensificação do uso de fontes renováveis, incluindo-se nesse contexto a madeira.

A madeira, como uma das fontes de energia mais antiga, teve importante participação no desenvolvimento da humanidade, principalmente para o aquecimento de residências e cozimento de alimentos. Atualmente, ela apresenta participação diferenciada em diversas partes do mundo, dependendo do nível de desenvolvimento do país, disponibilidade de florestas, questões ambientais e sua competição econômica com outras fontes energéticas, como petróleo, gás natural, hidroeletricidade, energia nuclear etc. (BRITO, 2007). De acordo com World [...] (2007) o consumo de energia mundial proveniente da madeira cresceu 50% desde 2004. Segundo o mesmo órgão, há duas populações distintas utilizando essa fonte energética, uma tipicamente de países desenvolvidos, que utiliza equipamentos de alta tecnologia com altas eficiências e baixas emissões. Enquanto a outra, que represente a vasta maioria (estimada em 3 bilhões de pessoas), utiliza essa fonte em pequenas escalas com ineficiência e altas taxas de poluição.

Como pode ser observado na figura 1.1, o uso de madeira para energia é mais evidente em países em desenvolvimento, pois nessas regiões é uma importantes no suprimento da energia primária, especialmente para os setores domésticos e industriais. Pode-se notar também que nos países desenvolvidos a madeira também tem participação no suprimento de energia, sobretudo no que diz respeito a energias ambientalmente mais saudáveis.

Embora o pressuposto das últimas décadas seja de que o uso da madeira como fonte energética é o responsável pelo desmatamento, há boas evidências de que o

suprimento de madeira para energia nos países em desenvolvimento pode ser sustentável, mesmo em áreas muito populosas, caso houver programas nacionais de reflorestamentos e florestas bem manejadas (WORLD..., 2008).

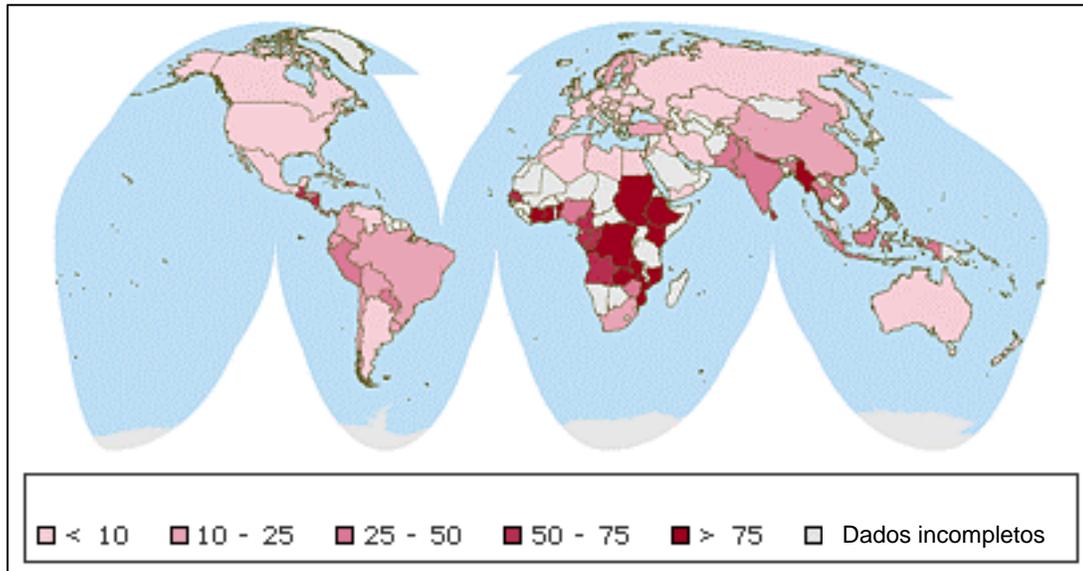


Figura 1.1 - Porcentagem da biomassa florestal na matriz energética nacional de alguns países (WORLD..., 2007)

1.2 Aspectos do uso da madeira para energia no Brasil

No Brasil, a riqueza em alternativas energéticas, faz dele uma grande potencia produtora de energia renovável. Dentre essas fontes, a biomassa tem tido grande destaque pelas condições ambientais favoráveis de produção. A madeira, por sua vez, representa grande parte da biomassa consumida sendo que, segundo o Ministério de Minas e Energia, em 2008, representou 12,5% da oferta interna de energia, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1.1 - Oferta interna de energia no Brasil por fonte, ano base de 2007

Fontes	Milhões de toneladas equivalentes de petróleo	%
Petróleo e Derivados	87,9	36,7
Gás Natural	22,3	9,3
Carvão Mineral e Derivados	14,8	6,2
Produtos da Cana-de-açúcar	38,4	16,0
Energia Hidráulica e Eletricidade	35,3	14,7
Lenha e Carvão Vegetal	29,9	12,5
Outras fontes	10,8	4,5

Fonte: Brasil (2008)

A madeira representava a principal fonte de energia até a década de 70, quando foi superada pelo petróleo. A energia elétrica, por sua vez, só foi ultrapassar a participação do abastecimento energético vindo da madeira em 1995. Essas informações estão apresentadas na figura 1.2, onde se pode observar também, que embora houve uma queda na participação porcentual relativa ao consumo total da madeira, ela se manteve em torno dos 20 e 33 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. Ainda é possível destacar que, nos últimos dez anos, houve um aumento da participação da madeira na oferta interna de energia nacional. Segundo Brito (2007), esse recente crescimento talvez esteja sendo motivado pelas incertezas quanto à oferta de outras fontes e, sobretudo, pelas vantagens econômicas e oportunidades ambientais e estratégicas oferecidas pelo uso da madeira como fonte de energia.

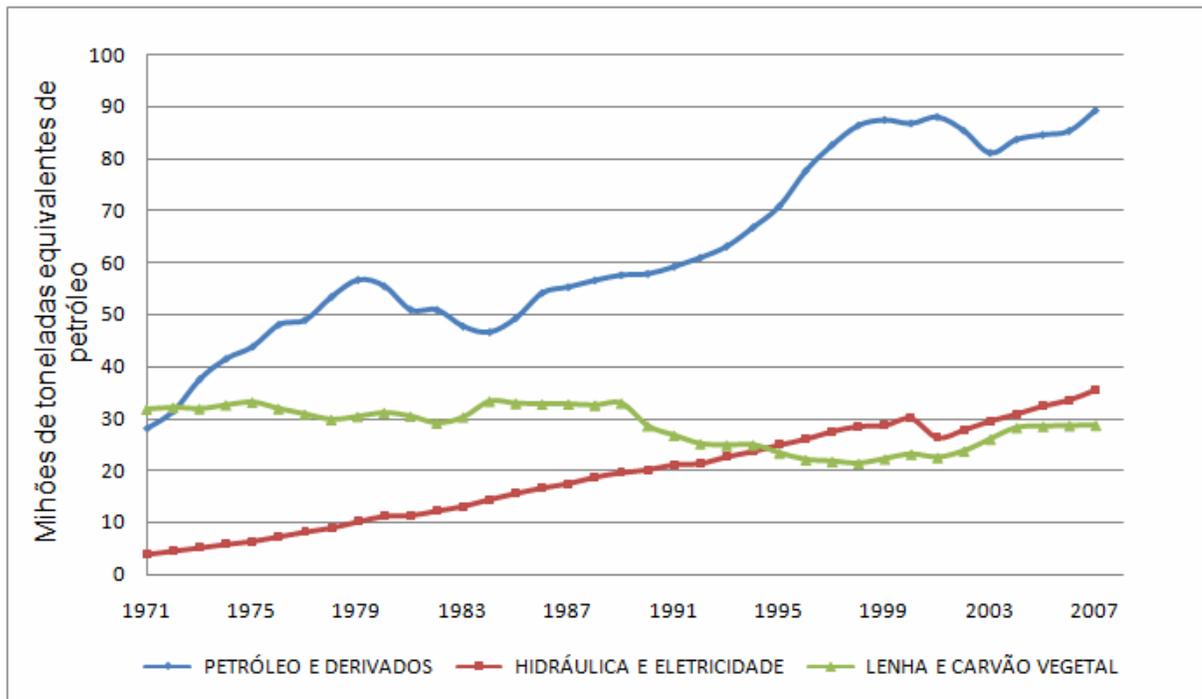


Figura 1.2 - Evolução da oferta interna de energia no Brasil – 1970 a 2007 (BRASIL, 2008)

Os valores aferidos à madeira na oferta interna de energia nacional, apresentados em toneladas equivalentes de petróleo, quando transformados para unidades volumétricas alcançam a ordem de 180 milhões de metros cúbicos anuais de madeira. Por outro lado, o consumo anual relacionado a outros importantes usos industriais de madeira no Brasil estão ao redor de 150 milhões metros cúbicos anuais, compreendendo a madeira para produção de celulose e papel, serraria e chapas e painéis (SOCIEDADE..., 2006). Deste modo, é possível concluir que mais da metade da madeira usada no Brasil possui destinação energética, conforme ilustra a figura 1.3.

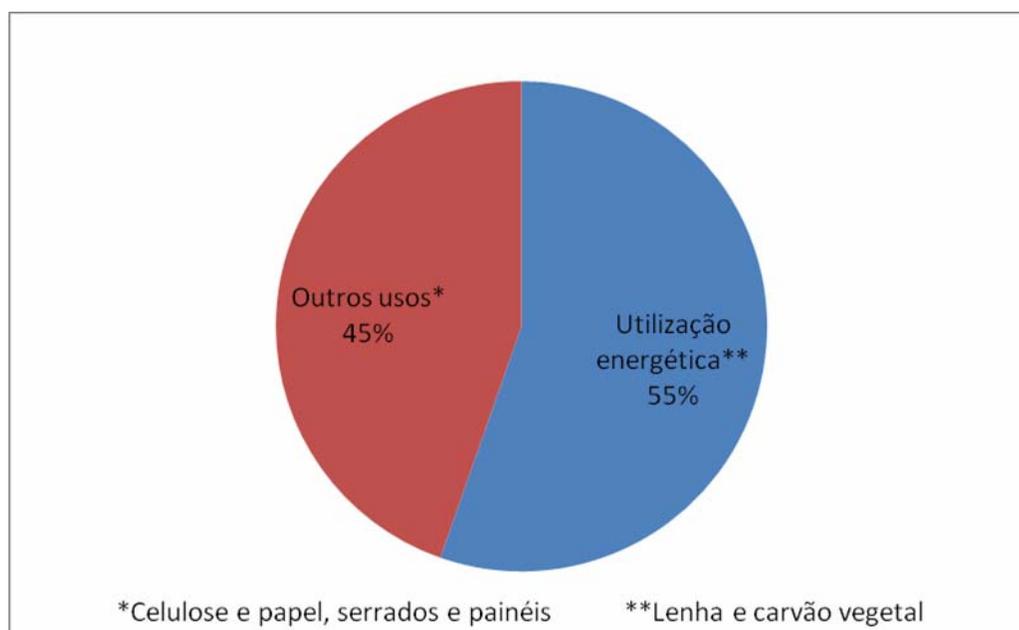


Figura 1.3 - Destino da madeira consumida anualmente no Brasil (BRASIL, 2008; SOCIEDADE..., 2006)

A utilização da madeira no Brasil está espalhada nos vários setores da economia e os principais consumidores são os produtores de carvão vegetal, as residências, as indústrias e o setor agropecuário, conforme ilustram a tabela 1.2 e a figura 1.4.

Tabela 1.2 - Consumo de madeira para energia por setor em 2007

Setor	Lenha (1.000 t)	%	Carvão vegetal (1.000 t)	%
Transformação*	39.703	43,0	-	-
Residencial	25.200	27,3	801	8,0
Industrial	19.564	21,2	8.745	87,8
Agropecuário	7.600	8,2	11	0,1
Outros	250	0,3	402	4,0
Total	92.317	100	9958	100

Fonte: Balanço energético Nacional (BRASIL, 2008)

*Principalmente na produção de carvão vegetal e, em pequena escala, produção de eletricidade.

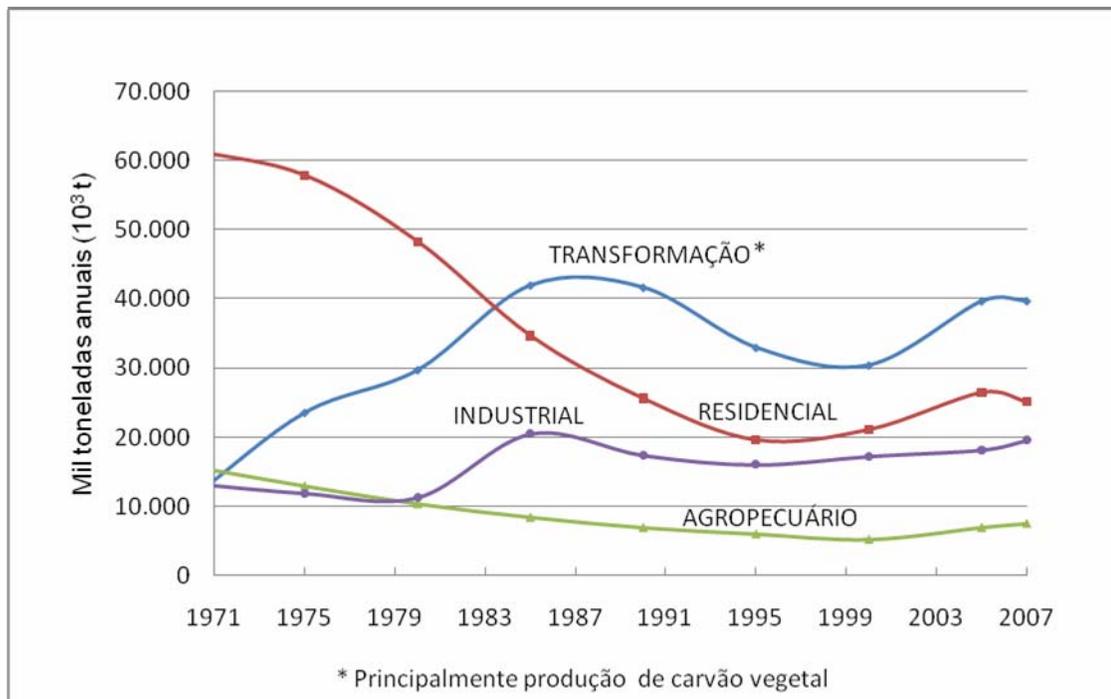


Figura 1.4 – Evolução do consumo de madeira para energia por segmento no Brasil (BRASIL, 2008)

A produção de carvão vegetal se destaca em decorrência da demanda pelo produto no setor siderúrgico. O Brasil é o maior produtor mundial de aço e tem como a principal base o carvão vegetal para fins de redução do minério de ferro. O crescimento do uso de carvão vegetal proveniente de madeira de florestas plantadas vem apresentando um franco crescimento, o que mostra uma evolução significativa de ações que visam a sustentabilidade. Como segundo importante consumo de madeira para energia no Brasil aparece o setor residencial. Neste setor a madeira é bastante usada para cocção de alimentos e, em menor escala, para aquecimento domiciliar. Considerando um consumo médio anual de 2 metros cúbicos de madeira por pessoa anuais, pode-se então estimar a existência atual de um contingente de pelo menos 30 milhões de pessoas dependentes da madeira como fonte de energética domiciliar. Muito provavelmente, tratam-se de pessoas vinculadas às camadas mais pobres da população, que possuem dificuldades de acesso a outras fontes energéticas, por razões econômicas ou estruturais.

O terceiro mais importante consumo de madeira para energia no Brasil encontra-se disperso em uma série de componentes atrelados ao ramo industrial, representados

por milhares de empreendimentos industriais do ramo químico, têxtil, alimentos e bebidas, papel e celulose e cerâmicas. Os ramos que mais se destacam situa-se no ramo de alimentos e bebidas e no ramo cerâmico, representando mais de 60% do consumo (BRASIL, 2008).

O setor agrícola se apresenta como o quarto grande consumidor de madeira para energia no País. Embora, o diagnóstico não seja preciso sobre a distribuição desse consumo no setor agrícola, assume-se que a utilização de madeira esteja relacionada à demanda de energia para secagem de produtos agrícolas, sobretudo de grãos.

1.3 Origem da madeira para fins energéticos

Infelizmente, a principal fonte de madeira para produção de energia, no Brasil, tem sido os ecossistemas naturais, como o cerrado, a mata atlântica e a caatinga. O uso mais intensivo da madeira como insumo energético está concentrado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. A degradação desses biomas e a pressão conservacionista, associadas à cada vez maior necessidade de madeira para energia, têm levado, felizmente, a uma crescente dificuldade para a obtenção desse recurso com base em florestas nativas (BRITO; DEGLISE, 1991; SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2006). Decorrente disso, alguns setores que consomem madeira para energia têm se empenhado grandes esforços para a produção de seus próprios insumos. A exemplo disso, o setor siderúrgico brasileiro só alcançou a viabilidade do uso de madeira para fins energéticos quando evoluiu da situação tecnológica primitiva e rudimentar, baseada na simples destruição das florestas, para a incorporação de tecnologias florestais mais avançadas, assegurando a eficiência e a produção sustentada. Segundo o IBGE (2007) a produção de carvão da silvicultura (florestas cultivadas) aumentou 3,3% de 2005 para 2006. Já o carvão oriundo do extrativismo apresentou declínio de 15,7% nesse mesmo período, revertendo a tendência de crescimento observada desde 1998. No entanto, ainda o carvão vegetal oriundo de florestas nativas representa 49% do total produzido.

Os consumidores de lenha do setor industrial também encontraram, além do plantio de florestas, alguns novos nichos de abastecimento para essa demanda, como resíduos florestais, resíduos da indústria madeireira e de poda urbana. O setor residencial, por sua vez, está ainda baseado intensamente nas formas rudimentares, como a extração de lenha das formações vegetais nativas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2007) 55% da lenha provém de extrativismo vegetal, o qual está concentrado na região Norte e Nordeste do país.

1.4 Oportunidade ligada ao uso de madeira para fins energéticos

Conforme observado, inegavelmente a madeira ainda é um componente essencial no atendimento da demanda energética do Brasil, tudo indicando que isso continuará sendo predominante, com a maior parte do consumo situada nos setores de produção de carvão vegetal, domiciliar, industrial e agropecuário. No entanto, ações específicas ainda se fazem necessárias para que uso da madeira como fonte energética seja sustentada, que passam, necessariamente, pela intensificação dos plantios florestais. Atualmente, há predomínio do plantio de espécies do gênero *Pinus* e *Eucalyptus*. Entretanto, ocorre que, a opção pelo uso de outros materiais florestais é uma alternativa possível e real que não pode ser descartada, como são os casos da escolha de espécies nativas.

A escolha pelo uso de espécies nativas para plantios florestais com finalidade energética deve superar, necessariamente, a barreira da ausência de conhecimentos básicos ligados a tal aplicação. Em geral, o que existe são informações generalizadas, encontradas em textos não ligados à questão energética e obtidas a partir de materiais com pouca ou nenhuma referência das condições silviculturais das madeiras avaliadas. É nesse contexto que se insere o presente trabalho, o qual teve por objetivo a busca de novos conhecimentos específicos sobre o potencial de espécies florestais brasileiras de origem plantada, na a proposta de seus usos para fins energéticos.

1.5 Revisão bibliográfica

Embora haja grande utilização de madeira para fins energéticos, há, relativamente, poucos estudos que descrevam as características importantes do desempenho das espécies brasileiras para tal fim, ainda mais quando comparado com a diversidade da flora brasileira. Esses estudos se restringem ainda mais quando se diz respeito a florestas plantadas.

Maraboto et al. (1983) estudou o poder calorífico e teor de cinzas e sílica de dez espécies da Amazônia brasileira e peruana, das quais três apresentaram-se ótimas para queima em caldeira. Foram elas: *Aspidosperma obscurinervium* (Piquiá-Marfim) *Ocotea cymbarum* (Louro Inhamui) e *Ospteophloeum platyspermum* (Ucuubarana), pois apresentaram poder calorífico acima de 4.800 kcal/kg, teor de cinzas abaixo da média e sem presença de sílica. Outras três espécies se destacaram por altos rendimentos de carvão, foram a *Aspidosperma obscurinervium*, *Apuleia mollaris* (Pau-Amarelo) e *Maquira coreaceae* (Muiratinga).

O estudo de Andrade et al. (1989) sobre o potencial de produção de carvão de oito espécies do Rio de Janeiro demonstrou que a Aroeira (*Astronium urundeuva*), o Pau-Jacaré (*Piptadenia gonocantha*) e o Angico-branco (*Piptadenia peregrina*) se destacaram pelas suas altas densidades básicas e baixo teor de cinzas.

Vale (2002), em sua avaliação no cerrado, destacou que três espécies se sobressaíram quanto à densidade e poder calorífico superior: *Sclerolobium paniculatum*, *Pterodon pubescens* e *Dalbergia miscolobium*, as quais também apresentaram valores médios de carbono fixo e baixos valores de cinzas.

No estudo de produção de biomassa para energia de 23 espécies com cinco anos de idade, realizado pela Companhia Paranaense de Energia – COPEL (SILVA; REICHMANN NETO; TOMASELLI, 1983), a espécie que apresentou maior poder calorífico foi o Angico-Vermelho (*Parapiptadenia rígida*) (5.324 kcal/kg), porém as espécies nativas que apresentaram bom potencial silvicultural quanto a produção biomassa energética foram a Casuarina (*Casuarina equisetifolia*), a Bragatinga (*Mimosa scabrella*), a Grevillea (*Gmelina arborea*) e o Araribá (*Centrolobium tomentosum*).

Paula (2005), através da caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, selecionou as espécies *Lindackeria paraensis* (Farinha-seca), *Parkia platycephala* (Faveira), *Platonia insignis* (Bacuri), *Salvertia convallariodora* (Folha-Larga), *Swartzia flaemingii* (Jacarandá), *Vataifrea macrocarpa* (Amargoso) e *Zeyhera tuberculata* (Pau-d'arco-cabeludo), as quais apresentaram bom potencial para geração de energia segundo as características de fração parede das fibras, percentual de fibras, raios, parênquima axial, biomassa total por m³ de madeira seca e densidade básica da madeira.

Oliveira et al. (2006) estudando a madeira da *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir., uma espécie nativa que tem boa ocorrência no estado da Paraíba, observou que essa espécie apresentou bom potencial para a produção de carvão vegetal, no qual o rendimento foi de 39,68%.

Brito e Barrichelo (1981) estudaram o comportamento na destilação seca da madeira de 67 espécies amazônicas e concluíram que, de um modo geral, as madeiras da Amazônia podem ser consideradas bastantes aptas a produção de carvão vegetal.

Referências

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, jan./dez. 1998.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008**: ano base 2007: resultados preliminares Rio de Janeiro, 2008. 25 p.

BRITO, J.O; BARRCHELO, L.E.G. Considerações sobre a produção de carvão vegetal com madeira da Amazônia. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 2, n. 5, p. 1-27, mar.1981.

BRITO, J.O.; DEGLISE, X. States and potential of using wood for energy in Brazil. **Revue Forestière Française**, Paris, n. 6, p. 175-179, 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura 2006**. Comunicação Social 11 de dezembro de 2007. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>> Acesso em: 26 out. 2008

MARABOTO, M.T.; CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; CUNHA, Z.B. Poder calorífico e pirolise de dez espécies florestais da Amazonia brasileira - peruana.

In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3, 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EESC; LaMEN, 1989. v. 3, p. 7-28.

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

PAULA, J.E. Caracterização anatômica da madeira de espécies nativas do cerrado, visando sua utilização na produção de energia. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 90-100, jan./mar. 2005

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. Novembro de 2006. Disponível em: <www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>. Acesso em: 10 out. 2008.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Survey of energy resources 2007**. Wood Fuels. 2007. Disponível em: <http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/bioenergy/712.asp> Acesso em: 15 out. 2008.

WORLD RESEARCH INSTITUTE. **Earth trends**. The Environmental Portal. Disponível em: <<http://www.earthtrends.wri.org>> Acesso em: 15 out. 2008.

2. CARACTERIZAÇÃO DA MADEIRA E DO POTENCIAL ENERGÉTICO DE ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS PLANTADAS NA REGIÃO DO MÉDIO PARANAPANEMA, SP

Resumo

O uso de biomassa como fonte energética vem crescendo a cada ano no mundo devido ao potencial de renovabilidade desse material e ao fato da sua aplicação ser ambientalmente muito mais saudável que os combustíveis fósseis. No Brasil, a utilização energética de biomassa proveniente de florestas continua com grande destaque e representa atualmente 12,5% da oferta de energia interna do país (BRASIL, 2008). Concomitantemente, cresce a necessidade de ampliação de plantios florestais visando o atendimento da crescente demanda por tal aplicação, onde tradicionalmente tem sido usadas espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Entretanto, podem existir situações em que os plantios devam ser conduzidos com outras espécies o que pode ocorrer, por exemplo, em função do interesse do produtor ou por exigência da legislação ambiental, sendo que nesse último caso, poderia ser citada a implantação da chamada Reserva Legal. No entanto, para que isso se viabilize faz-se necessária a existência de informações mínimas no âmbito ecológico, silvicultural, bem como aquelas relacionadas às características energéticas da madeira, que possam subsidiar a tomada de decisões para a execução dos plantios florestais. É diante de tais circunstâncias que o presente trabalho se justifica e vem oferecer novos subsídios ligados a tais demandas. A pesquisa foi desenvolvida a partir de plantios estabelecidos como parte de ações de recuperação de áreas florestais na região de Assis, SP, e nas quais o Instituto Florestal do Estado de São Paulo desenvolveu equações alométricas para quantificação de biomassa e carbono (MELO, 2008). Os plantios em questão permitiram com que o presente estudo fosse realizado adicionalmente, visando a avaliação do potencial energético de algumas espécies florestais nativas. No caso específico, utilizou-se de doze espécies com idades entre 6 a 8 anos e plantadas no espaçamento de 6 m² por planta. Nesse contexto, as espécies foram avaliadas quanto o seu potencial de produção de biomassa e as principais características de suas madeiras visando tal aplicação. A escolha se baseou, ainda, no fato das mesmas serem bastante recomendadas para recomposição de áreas florestais e, desse modo, existindo informações razoáveis sobre as espécies, no que diz respeito à aspectos ecológicos. Os resultados obtidos mostraram que: a) Nenhuma das espécies estudadas apresentou características limitantes em suas madeiras, em relação ao uso energético; b) O fator decisivo na seleção de espécies para plantio foi a produção de biomassa; c) Em que use esse último aspecto, quatro espécies se mostraram mais potenciais para o uso energético, quais sejam: *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), *Acacia polyphyla* (Monjoleiro).

Palavras-chave: Biomassa; Madeira; Energia; Espécies nativas

Abstract

The use of biomass as an energy source is growing every year in the world, due to its potential of renewability and the its application be environmentally much healthier than fossil fuels. In Brazil, the use of biomass energy from forests continues with great emphasis and currently represents 12.5% of the supply of energy inside the country (BRAZIL, 2008). Concurrently, increase the need for expansion of forest plantations aimed at supplying the growing demand for such application, which traditionally has been used species of the genus *Pinus* and *Eucalyptus*. However, other species may be also conducted in plantations, in such situations, for example, depending on the interests of the producer or requirement of environmental legislation. However, to enable this is necessary minimal information within ecological, silvicultural, as well as those related to energy characteristics of wood, which can support decision making to the forest plantations. Within these circumstances, this work will provide new subsidies linked to such demands. The research was conducted from plantations of recovery areas in the region of Assis, Brazil, and in which the Forest Institute of the State of Sao Paulo developed tissues for quantification of biomass and carbon (MELO, 2008). These plantations have enabled the present study was performed additionally, aimed at assessing the energy potential of some Brazilian forest species. In the specific case, it was used 12 species aged 6 to 8 years and planted at a spacing of 6 m² per plant. In this context, have been studied the potential for energy production and the main features of wood linked such application. The results showed that: a) None of the species studied showed limitations on its woods' characteristics for energy uses; b) The decisive factor for the selection of species for planting was the production of biomass c) Regarding the last point, four species were more potential for energy use, namely: *Enteroplobium contortisiliquum*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Cytharexylum myrianthum*, *Acacia polyphyla*.

Keywords: Biomass; Wood energy; Brazilian species

2.1 Introdução

Nas últimas décadas, o mundo vem sofrendo as conseqüências negativas do crescimento populacional desordenado e do uso de combustíveis fósseis, o que vem estimulando o interesse por energias renováveis, com grande destaque para o uso da biomassa, por conta da sua alta capacidade produtiva e versatilidade de aplicação.

No Brasil, a biomassa (produtos da cana-de-açúcar, lenha, carvão vegetal e outras fontes renováveis) representa a segunda fonte energética no suprimento energético com 31,6% do total. Participando desse quadro, a madeira corresponde à quase metade desse total, responsável por 12,5% da oferta de energia interna no país,

o que significa um consumo da ordem de 180 milhões de metros cúbicos anuais ligados a produção de lenha e de carvão vegetal (BRASIL, 2008).

Infelizmente, grande parte da exploração da madeira para obtenção de energia ainda vem ocorrendo de forma não sustentada, sem atender a qualquer regime de manejo. Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura (2006) e o IBGE (2007), mais da metade da madeira destinada à utilização energética no Brasil tem origem na exploração de matas nativas, que ressalta a necessidade premente de novos plantios florestais visando tal abastecimento. Tradicionalmente, as recomendações para atendimento dessa demanda têm recaído sobre espécies dos gêneros *Pinus* e *Eucaliptus*. Entretanto, podem haver situações em que os plantios devam ser conduzidos a partir de outras espécies. Isso pode ocorrer por opção voluntária do produtor ou por exigência da legislação ambiental, sendo que nesse último caso, poderia ser citada a implantação da chamada Reserva Legal, definida pela legislação (BRASIL, 2001) como sendo “a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, excetuada a de preservação permanente, necessária ao uso sustentável dos recursos naturais...” e “podendo apenas ser utilizada sob regime de manejo florestal sustentável”. Deste modo, a área de Reserva Legal se mostra como uma ferramenta potencial para contribuir no suprimento da demanda por produtos florestais, inclusive energéticos.

Diante desse cenário, a escolha de novas espécies poderia recair, por exemplo, sobre essências nativas. No entanto, para que isso se viabilize, faz-se necessário o conhecimento das características essenciais para essa utilização, o que diz respeito às características ecológicas, silviculturais e aquelas relacionadas às características energéticas da madeira, subsidiando desse modo a tomada de decisões para a execução dos plantios.

Considerando tais aspectos, tornam-se essenciais e preciosos a existência de experimentos florestais estabelecidos com espécies nativas, em que se conheça a correta identificação das espécies, as condições originais de terreno e do plantio, as idades das árvores, somadas a possibilidade de se coletar material para análise das características da madeira.

Tais circunstâncias se fizeram presentes na pesquisa, permitindo assim com que se obtivesse novos dados e informações referentes a qualificação de espécies brasileiras destinadas à geração de energia e, por extensão, a indicação de espécies com vocação com vistas à formação de maciços florestais destinados à produção de madeira para energia.

2.2 Revisão bibliográfica

2.2.1 Principais características da madeira frente ao seu uso energético

A busca por uma solução racional do uso da madeira para energia tem sido alvo de algumas pesquisas, sobretudo quando aos seus parâmetros químicos e físicos, que exerçam influência nas suas propriedades combustíveis.

Com base na literatura, pode-se afirmar que os parâmetros que exercem as maiores influências no desempenho da madeira na produção de energia são: o poder calorífico, a composição química, a composição imediata, o teor de umidade e a densidade (BRITO; BARRICHELO, 1977a, 1977b, 1979, 1980; DOAT, 1977; DOAT; PETROFF, 1975; CORDER, 1973; SHAFIZADEH; DEGROOT, 1976).

2.2.1.1 Poder calorífico

Para Corder (1973), o poder calorífico é a propriedade mais importante de um combustível. Ele representa a quantidade de calor liberado durante a queima total de uma determinada quantidade de combustível, expresso em caloria por grama ou quilocaloria por quilograma. O poder calorífico pode ser expresso de duas maneiras: poder calorífico superior e poder calorífico inferior. Na primeira, a água formada durante a combustão, na reação entre o hidrogênio elementar da madeira e o oxigênio, é condensada e seu calor latente é recuperado e é somada à energia mensurada. Por outro lado, no poder calorífico inferior, o calor de condensação da água não é considerado, pois ele é perdido na forma de vapor. Em termos práticos, o poder calorífico inferior é mais usual, pois na maioria dos processos práticos de geração de energia não há condições de recuperação do calor latente do vapor d'água. No entanto,

o poder calorífico superior mostra o máximo potencial de fornecimento energético da madeira, por isso está mais presente em diversos trabalhos de pesquisa, de forma a permitir a comparação entre diferentes fontes de energia.

Doat (1977), em pesquisa com 105 espécies de 5 países tropicais, encontrou valores para poder calorífico superior entre 4.310 e 5.170 kcal/kg. Vale, Fiedler e Silva (2002) obtiveram uma variação de 4.516 a 4.990 kcal/kg para espécies do cerrado, enquanto que Quirino et al. (2005) indicam valores entre 3.350 a 5.260 kcal/kg para a madeira de mais de cem espécies brasileiras.

2.2.1.2 Composição química

As madeiras de diferentes espécies apresentam-se uniformes em relação à composição química elementar. Vários autores relatam teores constantes dos principais elementos formadores da madeira, e descrevem concentrações de 50% para o carbono, 6% de hidrogênio, 43% de oxigênio e 0,5% de nitrogênio (CORDER, 1973; DOAT, 1977; BRITO; BARRICHELO, 1978, BRITO, 1979; BROWNING, 1963). Relatam também que o enxofre ocorre na madeira em quantidades insignificantes quando comparado com qualquer combustível fóssil.

Segundo Oliveira et al. (1982), o comportamento da madeira frente ao processo de queima ou destilação seca é o somatório do comportamento de cada um de seus componentes (celulose, hemiceluloses, lignina e extrativos). Segundo Doat (1977), os constituintes químicos da madeira podem apresentar variações relevantes, sendo que a lignina pode variar de 20 a 40%, a celulose de 30 a 50%, as pentosanas (hemiceluloses) de 9 a 28%, as mananas e galactanas (hemiceluloses) de 0 à 12% e os extrativos de 0,2 à 20%.

Para Andrade (1998), o constituinte químico da madeira que exerce maior influência sobre as características físicas e químicas dos seus derivados energéticos é, sem dúvida, a lignina. Brito e Barrichelo (1977a) constataram que, embora a lignina comece a degradar-se sob o efeito de temperaturas relativamente baixas (por volta de 150 graus centígrados), observa-se que, ao contrário da celulose e das hemiceluloses, a sua decomposição é mais lenta, apresentando mais resistência à degradação térmica do que esses polissacarídeos. Por isso os autores afirmam que a lignina está

diretamente correlacionada com a produção e o rendimento gravimétrico do carvão vegetal, já que esse produto é o resíduo carbonoso da queima controlada da madeira.

O poder calorífico da lignina que varia de 5.834 a 6.371 kcal/kg, devido a sua estrutura complexa e aromática, o que evidencia sua influência positiva no uso energético da madeira. Isso é verdadeiro, sobretudo, quando se compara com a celulose e hemiceluloses, que apresentam poder calorífico menor, variando entre 3.607 a 4.143 kcal/g, atribuídos ao maior grau de oxidação desses polissacarídeos (DOAT, 1977; SHAFIZADEH; DEGROOT, 1976).

O efeito dos extrativos também pode ser favorável à aplicação energética. Segundo Shafizadeh e DeGroot (1976), aqueles que são solúveis em álcool apresentam altos valores calóricos e podem chegar até a 8.500 kcal/kg. Doat (1977) observou uma grande variabilidade no poder calorífico dos diferentes tipos de extrativos. Para algumas gomas obteve valores por volta de 3.500 kcal/kg e para extrativos solúveis em solventes, como álcool e benzeno, apresentaram valores ao redor de 6.500 kcal/kg.

2.2.1.3 Composição Imediata

A análise imediata de um combustível fornece a porcentagem de material volátil, carbono fixo e cinzas. Durante a queima da madeira, conforme a temperatura do processo aumenta, vapores de água e outros gases são liberados. Uma parte desses gases é combustível e corresponde a queima na fração gasosa (material volátil), sendo que as reações químicas desencadeadas nesse processo emitem energia na forma de calor e luz, gerando as chamas. Para Brito e Barrichelo (1978), a proporção entre os componentes voláteis e carbono fixo influencia as características de queima do combustível pelo fato dos componentes voláteis, quando aquecidos, saírem do material e se queimarem rapidamente na forma gasosa, enquanto que o carbono fixo queima-se vagorosamente na fase sólida como carvão vegetal. Segundo Brame e King (1942) apud Brito e Barrichello (1978), a combustão através de chama faz com que unidades de calor se difundam em um espaço bastante amplo da região da queima. Tal comportamento é contrário ao que ocorre com o carbono fixo, que se queima na forma sólida, desprendendo energia em pontos mais próximos da região da combustão,

permitindo a obtenção de altas intensidades de calor em pontos específicos. No caso do cozimento de alimentos, a queima mais lenta pode ser vantajosa, uma vez que os aparelhos de queima têm eficiência muito baixa (VALE, 2002b).

O teor de cinzas refere-se aos constituintes inorgânicos da madeira e o seu conhecimento é muito importante, pois, após a queima, as cinzas comportam-se como a porção residual da madeira e exigem um sistema próprio para sua retirada, e por serem um material abrasivo pode causar problemas de corrosão em equipamentos metálicos (BRITO, 1979). Para Foelkel (1977) apud Andrade et al. (1998), altos teores de cinzas também são indesejados, pois reduzem significativamente as qualidades físicas e químicas do carvão vegetal. Em algumas espécies, principalmente na casca, o teor de cinzas é bastante elevado e a casca e o alburno, sempre possuem mais minerais do que o cerne (MARABOTO, 1989).

Vale et al. (2002b) observaram que durante a queima da madeira de espécies do cerrado as quantidades médias de materiais voláteis e de carbono fixo foram, respectivamente, 77,91% e 20,73% e o teor de cinzas variou de 0,15% a 2,73%. Cunha et al. (1989), estudando madeiras de espécies amazônicas, obtiveram a variação de 0,03% até 3,00% para teor de cinzas da madeira.

2.2.1.4 Teor de umidade

O teor de umidade é uma propriedade que varia na madeira e na casca de modo bastante amplo. O calor oferecido pela combustão da madeira se relaciona negativamente em função desse teor, pois a energia oriunda da queima da madeira é gasta no aquecimento e vaporização da água, ou seja, quanto maior o teor de umidade menor será o poder calorífico (FARINHAQUE, 1981). Para Earl et al. (1975), citado por Cunha et al. (1989), é muito importante que a madeira a ser usada como combustível apresente baixos teores de umidade, com o intuito de aumentar a eficiência do combustível e diminuir custos com o manejo e transporte.

2.2.1.5 Densidade básica

Doat (1975), Cunha et al. (1989) e Ferrari (1988) afirmam que não há correlação entre o poder calorífico superior e a densidade da madeira. Brito e Barrichello (1977)

relataram que a densidade básica não apresentou correlação com o rendimento gravimétrico, carbono fixo, materiais voláteis e teor de cinzas do carvão vegetal. No entanto, madeiras com maiores densidade básica implicam numa maior concentração de massa por volume, o que é interessante durante aplicação energética desse material.

Para Moreira (1964) e Brito e Barrichello (1980) madeiras mais densas produzem carvão vegetal mais denso e madeiras mais leves produzem carvões mais leves e porosos. Segundo Vale et al. (2002b), ao se utilizar de madeira com baixa densidade para a produção direta de calor, haverá uma queima rápida e uma menor produção de energia por unidade de volume, ao contrário do que ocorre com madeiras com maiores densidades, porém essas apresentam maiores dificuldades para início da queima. Os mesmos autores sugerem a faixa intermediária entre madeiras médias e madeiras duras, variando a densidade básica de 0,65 a 0,80 g/cm³ para utilização da madeira na forma de lenha, com o intuito de facilitar o início da queima.

Com relação a um produto energético em específico, o carvão vegetal, a densidade da madeira se correlaciona positivamente com a densidade do carvão vegetal, ou seja, quanto mais densa for a madeira mais denso será o carvão vegetal (DOAT; PETROFF, 1975; BRITO; BARRICHELO, 1980). Andrade et al. (1998) apontaram que um elevado gradiente de densidade existente entre as regiões da casca e da medula de árvores de maior diâmetro ocasionam maior presença de fissuras e trincas no carvão vegetal. Portanto esses autores indicaram o uso de árvores de menor diâmetro para uma melhor qualidade de carvão vegetal.

2.2.2 Características gerais das espécies estudadas

***Acacia polyphylla* DC.**

Família: Leguminosae- Mimosoideae

Chamada popularmente de Monjoleiro, essa espécie ocorre da região amazônica até o Paraná, na floresta latifoliada semidecídua (LORENZI, 1992). É muito usada na restauração de áreas degradadas e na arborização urbana e rural, por ser uma planta pioneira de rápido crescimento (RODRIGUES, 2007). No entanto, Durigan (2004) a

considera uma espécie com ritmo de crescimento médio. A madeira é moderadamente pesada (0,79 g/cm³). Segundo Nogueira (1977), a lenha produzida é de boa qualidade.

***Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.**

Família: Leguminosae- Mimosoideae

Ocorre nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, principalmente no cerrado (LORENZI, 1992). O Angico-Branco é uma espécie heliófita e pioneira (LORENZI, 1992). Garrido (1975) observou o melhor crescimento dentre as espécies que estudou, dentre elas a Aroeira, o Cambará e o Sagaraji, porém seu fuste apresentou tortuosidade. Para Durigan (2004) ela é considerada de rápido crescimento. Sua madeira é muito pesada (0,93 g/cm³). Apresenta ótima qualidade de lenha e carvão (LORENZI, 2002).

***Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan**

Família: Leguminosae- Mimosoideae

O Angico-Vermelho está distribuído do Maranhão até São Paulo, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, principalmente na floresta latifoliada semidecídua (MENDES, 1982; LORENZI, 1992). Árvore de fuste retilíneo de até 30 m, grande na mata e pequena no Cerrado e na Caatinga. Segundo Rodrigues (2007), Salomão (1980) e Durigan (2004) o Angico-Vermelho apresenta rápido crescimento. Garrido (1975) observou um excelente desenvolvimento em relação a outras espécies nativas. Mendes (1982) apresenta resultados de incremento médio anual de 20 m³/ha.ano⁻¹, e densidade básica de 0,62 t/m³. Entretanto, Paula (1981) e Lorenzi (1992) classificam a madeira do Angico-Vermelho com sendo muito pesada, com peso específico entre 0,85 e 1,05 g/cm³. Paula (1982) cita essa espécie como uma madeira de alto teor de lignina e altamente recomendada para a lenha, produção de álcool, coque e carvão.

***Croton floribundus* Spreng.**

Família: Euphorbiaceae

O Capixingui ocorre no Rio de Janeiro, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, principalmente na floresta latifoliada semi-decídua (LORENZI, 1992). É uma espécie heliófila e pioneira (CARVALHO, 1994; LORENZI, 1992). Kageyama et al. (1991), Paula

(1982) e Durigan (2004) apresentam o Capixingui espécie com crescimento rápido comprovado em vários plantios e em regeneração natural. Entretanto, Speltz (1968) obteve para a espécie incremento médio anual em volume com casca de até 6,40 m³/ha.ano⁻¹, em Telêmaco Borba, PR. A madeira do Capixingui é moderadamente densa (0,50 a 0,60 g/cm³), a 15% de umidade (CARVALHO, 1994; LORENZI, 1992). Nogueira (1977) aponta que a lenha produzida é de má qualidade. No entanto, Brito e Alves (1996) concluíram que a madeira do Capixingui é propícia a produção de carvão quando comparada as madeiras atualmente utilizadas para essa finalidade, por exemplo, o Eucalipto.

***Cytharexylum myrianthum* Cham.**

Família: Verbenaceae

Ocorre da Bahia ao Rio Grande do Sul, na floresta pluvial atlântica e matas de galeria (LORENZI, 1992). Conhecido como Pau-Viola, essa espécie é considerada pioneira de rápido crescimento (LORENZI, 1992; RODRIGUES, 2007; DURIGAN, 2004). No entanto, apresentou crescimento moderado com produtividade volumétrica máxima, para Carvalho (1992) de 6,55 m³/ha.ano⁻¹. Sua madeira é leve (0,50 a 0,70 g/cm³), a 15% de umidade. A lenha é de qualidade regular (NOGUEIRA, 1977).

***Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong**

Família: Mimosaceae

Inoue et al. (1983), Nogueira (1977) e Durigan et al. (2004) conceituaram o comportamento da Timbaúva, ou Tamboril, como sendo de rápido crescimento, consideraram também como sendo uma planta heliófila e pioneira. Ainda Rodrigues et al. (2007) e Lorenzi (1992) e indicaram essa espécie para plantios de recuperação de áreas degradadas, devido principalmente ao seu rápido crescimento inicial. Porém, Carvalho (1994) classifica seu o comportamento como muito irregular, tanto em crescimento como em sobrevivência. O mesmo autor obteve uma produção volumétrica máxima de 30 m³/ha.ano⁻¹, aos onze anos de idade. A madeira da Timbaúva é leve (0,35 a 0,60 g/cm³), a 15% de umidade (CARVALHO, 1982; LORENZI, 1992).

Heliocarpus popayanensis* Kunth*Família: Tiliaceae**

O Algodoeiro ocorre em São Paulo, Minas e norte do Paraná, na floresta latifoliada semi-decídua na bacia do Paraná. Segundo Rodrigues (2007) por ser uma planta pioneira de rápido crescimento, é ótima para plantios mistos destinados à recomposição de áreas degradadas de preservação permanente. A madeira é leve (LORENZI; 1992).

Inga uruguensis* Hooker et Arnott.*Família: Mimosaceae**

O Ingá ocorre de São Paulo até o Rio Grande do Sul, principalmente na floresta pluvial atlântica. Planta pioneira e heliófita (LORENZI; 1994). Segundo Vilas Boas (2004) e Durigan (2004) a espécie apresenta rápido crescimento. A madeira é moderadamente pesada (0,58 g/cm³).

Myracrodruon urundeuva* Allemão*Família: Anacardiaceae**

A Aroeira estende-se de estados do Nordeste, particularmente, Ceará, até a Argentina. Ocorre também na região Centro-oeste do país e na pré-Amazônia (NOGUEIRA et al., 1982).

Árvore de grande porte (NOGUEIRA, 1982), espécie heliófila. A Aroeira apresenta crescimento lento a moderado (GOLFARI; CASER, 1977; DURIGAN et al., 2004). Garrido (1975) caracteriza seu comportamento como sendo de crescimento razoável, não forma tronco principal sem a intervenção humana, com necessidade de desbrota e desrama artificial para a formação de fuste. O incremento médio máximo registrado é de 5,60 m³/ha.ano⁻¹, aos nove anos (CARVALHO, 1994). A madeira da aroeira é muito densa (1,00 a 1,21 g/cm³), a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989; LORENZI, 1992). Nogueira (1977), Andrade et al. (1998) e Paula (1982) fazem menção à boa qualidade da lenha e do carvão que a espécie produz. O poder calorífico da madeira é de 4.582 Kcal/kg (SILVA et al., 1983).

Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.*Família: Caesalpinaceae**

A Canafístula ocorre na Bahia, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul até o Paraná, principalmente na floresta latifoliada semi-decídua (LORENZI, 2002). Nogueira (1982a) a classifica como árvore de primeira magnitude, com tronco cilíndrico mais ou menos reto ou levemente curvo e achatado com leves quinas, casca escura ou marrom provida de ramificações cimosas ascendente, formando copa ampla. É uma espécie heliófila e pioneira (LORENZI, 2002). Essa espécie apresenta rápido crescimento (RODRIGUES, 2007; GURGEL FILHO, 1975; DURIGAN, 2004). A estimativa para o incremento volumétrico médio é de 5 a 13 m³/ano, com casca (GURGEL FILHO, 1975). Outro autor registrou a produtividade volumétrica máxima em 19,60 m³/ha.ano⁻¹ (NOGUEIRA et al., 1982a). A madeira da Canafístula é muito pesada (0,75 a 0,90 g/cm³), a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989; CARVALHO, 1982). Produz lenha e carvão de qualidade regular; poder calorífico da madeira de 4.755 Kcal/kg (SILVA et al., 1982).

Terminalia glabrescens* Mart.*Família Combretaceae**

A Mirindiba ocorre em áreas de cerrado, brejo, mata seca, mata ciliar. Durigan et al. (2004) a classifica seu ritmo de crescimento como médio.

Zanthoxylum* sp.*Família: Rutacea**

Ocorre em Minas Gerais e São Paulo, principalmente na floresta latifoliada semidecídua. A Mamica-de-Porca é uma planta heliófita e pioneira, com ritmo de crescimento médio (DURIGAN, 2004). A madeira é moderadamente pesada (LORENZI, 2002).

2.3 Material e métodos

A pesquisa foi desenvolvida a partir de plantios estabelecidos como parte de ações de recuperação de áreas florestais na região de Assis, SP, em cujos locais o Instituto Florestal do Estado de São Paulo desenvolveu equações alométricas para quantificação de biomassa e carbono (MELO et al., 2008). Os plantios em questão permitiram com que pudesse ser estabelecido um estudo adicional, visando a avaliação do potencial energético de algumas espécies florestais nativas, visando oferecer novos dados e informações para este importante segmento de utilização de madeira. No caso específico, utilizou-se de espécies com idades entre 6 a 8 anos plantadas no arranjo de 3 por 2 metros.

Foram utilizadas amostras provenientes de 12 espécies florestais plantadas, coletadas em três experimentos localizados na região de Assis, na Estação Experimental de Assis, na Fazenda Canatuba e na Fazenda Canaã. A tabela 2.1 apresenta a relação das espécies estudadas com os números de árvores amostradas, idade, espaçamento de plantio e local de coleta por espécie.

Tabela 2.1 - Números de árvores amostradas, idade, espaçamento de plantio e local de coleta por espécie

Espécie	Número de árvores	Idade	Arranjo de plantio	Local
<i>Acacia polyphyla</i>	2	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
<i>Anadenanthera falcata</i>	5	6	3 x 2m	Estação Experimental de Assis
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	2	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
	1	7	3 x 2m	Faz. Canaã
<i>Croton floribundus</i>	2	6	3 x 2m	Estação Experimental de Assis
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	4	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	3	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	3	7	3 x 2m	Faz. Canaã
<i>Inga uruguensis</i>	3	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	3	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
<i>Peltophorum dubium</i>	5	7	3 x 2m	Faz. Canaã
<i>Terminalia glabrescens</i>	2	6	3 x 2m	Estação Experimental de Assis
<i>Zanthoxylum sp.</i>	4	7	3 x 2m	Faz. Canaã

2.3.1 Seleção de árvores, áreas e espécies

A amostragem das árvores realizada pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo procurou selecionar o maior número de espécies compreendendo a maior variação possível de DAP, para se desenvolver uma equação adequada a plantios multi-específicos. Dentro dessa seleção, a pesquisa específica, alvo do presente trabalho, elegeu as espécies com idades entre 6 e 8 anos, em analogia com a idade de corte dos plantios florestais com finalidade energética.

As áreas selecionadas tiveram como base o Banco de Dados da Floresta Estadual de Assis sobre plantios de restauração, levando-se em conta três áreas da região, quais sejam: Floresta Estadual de Assis (Assis, SP), Fazenda Canaã (Taruma, SP) e Fazenda Canatuba (Taruma, SP).

2.3.2 Características dos locais de coleta

Com base no sistema Köppen, o clima da região de Assis é do tipo Cwa, em que a temperatura média do mês mais quente é 23° C e o mês mais frio é inferior a 18° C. A estação mais seca ocorre entre os meses de abril a setembro. Essa informação se aplica à todos os locais de coleta:

- Estação Experimental de Assis: Localizada nas coordenadas 22°35' S e 50°25' W de Greenwich. O solo local é um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, muito profundo, com horizonte A fraco e horizonte B latossólico, muito poroso, bastante permeável, bem drenado, ácido e de baixa fertilidade.

- Fazenda Canatuba: Localizada nas coordenadas 22°43' S e 50°25' W de Greenwich. O solo é uma associação de Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho, ambos Eutróficos. A vegetação anterior ao plantio era a cana-de-açúcar.

- Fazenda Canaã: Localizada nas coordenadas 22°45' S e 50°25' W de Greenwich. Predomina no local o Latossolo Vermelho Eutrófico. Em que a vegetação anterior ao plantio era a cana-de-açúcar.

2.3.3 Procedimentos de campo

2.3.3.1 Abate e pesagem das árvores

Essa etapa foi executada pela equipe do Instituto Florestal do Estado de São Paulo entre os meses de setembro a dezembro de 2006, em que as árvores foram abatidas e os valores de DAP e altura foram medidos. Todo material obtido foi pesado no campo em dinamômetro com capacidade de 200 kg e precisão de 50 gramas.



Figura 2.1 - Pesagem do tronco

2.3.3.2 Amostragem para determinação da massa seca

Para determinação do teor de massa seca do tronco foram colhidas três discos de madeira de 3 cm de espessura: uma de base (junto ao colo da árvore), uma a 50% da altura e a última no topo do tronco. Estas amostras, logo após serem coletadas, foram pesadas em uma balança semi-analítica com capacidade de 5 kg e precisão de 0,1 g e posteriormente secas em estufa a 60° C, até estabilização do peso, quando eram novamente pesadas.

A biomassa total foi calculada em porcentagem de massa seca, obtida a partir das amostras, por meio da fórmula:

$$\% \text{ massa seca} = (\text{peso seco} / \text{peso úmido}) \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

2.3.4 Caracterização da madeira para fins energéticos

Os três discos de madeira proveniente de cada árvore, desprovidos de casca, foram utilizados para caracterizar a madeira com vista à utilização energética. Esse material foi encaminhado ao Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE), do Departamento de Ciências Florestais - ESALQ/USP, para realização das análises.

A partir de amostras das três posições de altura no tronco, constitui-se uma amostra composta, moída na fração 40 mesh para a realização dos testes de análise imediata, poder calorífico superior, teor de lignina e extrativos totais. Para a determinação da densidade básica foram retiradas cunhas de cada disco obtido na amostragem de cada espécie.

2.3.4.1 Determinação e classificação da densidade básica

A densidade básica foi determinada pelo método da balança hidrostática, segundo a norma ABCP M 14/70.

A densidade básica da madeira foi classificada em três grupos: leve ($< 0,5 \text{ g/cm}^3$), moderadamente pesada ($0,5 \text{ a } 0,8 \text{ g/cm}^3$) e pesada a muito pesada ($> 0,8 \text{ g/cm}^3$), de acordo a classificação utilizada por Ferraz et al. (2004) .

2.3.4.2 Análise imediata

A análise imediata foi realizada segundo a norma NBR 8112 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 1986).

2.3.4.3 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior foi realizado utilizando uma bomba calorimétrica modelo Ika C2000, com metodologia orientada pela norma DIN 51900.

2.3.4.4 Determinação do teor de lignina e de extrativos totais

Os teores de extrativos totais foram determinados segundo a norma ABCP M3/69; os de lignina segundo a norma ABCP M 10/71.

2.3.5 Cálculos das estimativas de produção

Produtividade volumétrica: $PV = MS / (DB \cdot 1000)$ (Eq. 2)

Produtividade: $Pd = PV \cdot 1666$ (Eq. 3)

Incremento médio anual: $IMA = Pd / idade$ (Eq. 4)

Produção energética: $PE = MS \cdot PCS \cdot 10^6$ (Eq. 5)

Produtividade energética: $PdE = PE \cdot 1666$ (Eq. 6)

Onde:

PV = Produção volumétrica (m³)

MS = Massa seca (kg)

DB = Densidade básica (g/cm³)

Pd = Produtividade (m³/ha)

IMA = Incremento médio anual (m³/ha/ano)

PE = Produção energética (Gcal)

PdE = Produtividade energética (Gcal/ ha)

1666 = Número de indivíduos plantado num hectare, no espaçamento de 6m²/indivíduo

2.3.6 Análise estatística

Os resultados foram avaliados estatisticamente por meio de análise de covariância em delineamento inteiramente casualizado e teste de Tukey para comparação de médias entre os tratamentos ao nível de probabilidade de 95%.

2.4 Resultados e discussão

2.4.1 Produtividade florestal

Estão apresentados na tabela 2.2 os valores de massa seca determinados pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo (MELO et al., 2008). A partir desses valores foram calculadas as produções volumétricas com base nas densidades básicas das árvores. Ainda foram estimadas as produtividades por hectare, considerando-se a densidade de 1666 árvores por hectare e, por último, o incremento médio anual, baseado na idade das árvores, apresentadas na tabela 2.3.

Os valores médios de massa seca variaram de 8,6 (*Terminalia glabrescens*) a 129,0 kg/árvore (*Enteroplobium contortisiliquum*), os de produção volumétrica de 0,014 (*Terminalia glabrescens*) a 0,316 m³/árvore (*Enteroplobium contortisiliquum*), os de produtividade de 22,8 (*Terminalia glabrescens*) a 526,3 m³/ha (*Enteroplobium contortisiliquum*) e os de incremento médio anual de 3,55 (*Terminalia glabrescens*) a 65,78 m³/ha.ano⁻¹ (*Enteroplobium contortisiliquum*).

Embora os valores médios de massa seca não apresentaram diferença estatística entre as espécies, pode-se observar que algumas árvores (Anexo A) tiveram tanto produções muito baixas como extremamente produtivas, o que já é uma evidência de avaliação comparativa do potencial de utilização das espécies para fins energéticos. Algumas espécies como *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola) e *Acacia polyphyla* (Monjoleiro) se destacaram por apresentarem árvores com altas produtividades, com incrementos médios anuais estimados de 16,0 a 65,8 m³/ha.ano⁻¹. Comparando-se esses resultados à produtividades médias dos gêneros mais tradicionalmente plantados, *Eucalyptus* e *Pinus*, 38 e 28 m³/ha.ano⁻¹ (SOCIEDADE..., 2006), respectivamente, pode-se dizer que as espécies estudadas apresentaram potenciais interessantes.

As variações observadas nas tabelas 2.2 e 2.3 e nas figuras 2.2 e 2.3 mostram uma grande amplitude nos valores entre árvores da mesma espécie, isso se deve provavelmente, a variações genéticas, já que a idade, as características do solo e os tratamentos silviculturais de todas as espécies não variaram, com exceção da *Anadenanthera*

macrocarpa (Angico-Vermelho). Outro fator que favoreceu essa grande variação foi a seleção das árvores, que buscou grande variação de diâmetros, o que aumentou a amplitude da produção de biomassa.

As figuras 2.2 e 2.3 mostram a distribuição da produção de massa seca e do incremento médio anual estimado para as espécies, em ordem crescente, onde cada barra horizontal demonstra a média dos valores para cada espécie e as barras verticais representam a amplitude de variação de valores máximos e mínimos entre as árvores de uma mesma espécie.

Tabela 2.2 – Resultados médios de massa seca (MS)

Espécie	MS* (kg)	C.V. (%)
<i>Acacia polyphyla</i>	57,6 ^{ab}	69,7
<i>Anadenanthera falcata</i>	9,4 ^b	143,2
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	89,1 ^{ab}	128,1
<i>Croton floribundus</i>	11,7 ^{ab}	101,4
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	72,3 ^{ab}	101,5
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	129,0 ^a	28,9
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	35,4 ^{ab}	33,5
<i>Inga uruguensis</i>	16,2 ^{ab}	70,5
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	12,8 ^{ab}	39,3
<i>Peltophorum dubium</i>	16,9 ^{ab}	42,0
<i>Terminalia glabrescens</i>	8,6 ^b	19,0
<i>Zanthoxylum sp.</i>	19,3 ^{ab}	39,5

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 90% de probabilidade.

Embora houve uma grande variação entre as médias de massa seca para as espécies só foi observada diferença estatística entre as espécies, ao nível de 90% de probabilidade, o que não ocorreu para 95% de probabilidade. Esse fato deve-se aos altos valores de coeficiente de variação de cada espécie e ao baixo número de árvores com resultados de massa seca mais elevados, como por exemplo, a *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho) e o *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola) que apresentaram apenas uma árvore bem destacada quanto a sua produção (Anexo A). Já as estimativas volumétricas apresentaram diferenças estatísticas entre as espécies,

pois o uso da densidade básica para o cálculo dessas estimativas possibilitou essa diferenciação, ainda que os coeficientes de variação ainda estarem muito altos e os números de árvores amostradas serem os mesmos.

Tabela 2.3 – Resultados estimados médios para Produção volumétrica (PV), Produtividade (Pd) e Incremento Médio anual (IMA)

Espécie	PV* (m³)	C.V.	Pd* (m³/ha)	C.V.	IMA* (m³/ha.ano⁻¹)	C.V.
<i>Acacia polyphyla</i>	0,077 ^{ab}	55,6	128,4 ^{ab}	55,6	16,06 ^{ab}	55,6
<i>Anadenanthera falcata</i>	0,017 ^b	141,4	28,1 ^b	141,4	4,68 ^b	141,4
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,128 ^{ab}	124,2	213,4 ^{ab}	124,2	27,09 ^{ab}	121,1
<i>Croton floribundus</i>	0,024 ^b	105,3	39,4 ^b	105,3	6,57 ^b	105,3
<i>Cytherexylum myrianthum</i>	0,181 ^{ab}	103,9	301,6 ^{ab}	103,9	37,96 ^{ab}	102,5
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	0,316 ^a	20,9	526,3 ^a	20,9	65,78 ^a	20,9
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,114 ^{ab}	39,0	189,9 ^{ab}	39,0	27,13 ^{ab}	39,0
<i>Inga uruguensis</i>	0,037 ^b	67,6	61,2 ^b	67,6	7,66 ^b	67,6
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,017 ^b	41,6	28,4 ^b	41,6	3,55 ^b	41,6
<i>Peltophorum dubium</i>	0,034 ^b	35,2	56,6 ^b	35,2	8,09 ^b	35,2
<i>Terminalia glabrescens</i>	0,014 ^b	23,4	22,8 ^b	23,4	3,80 ^b	23,4
<i>Zanthoxylum sp.</i>	0,031 ^b	44,0	51,7 ^b	44,0	7,38 ^b	44,0

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

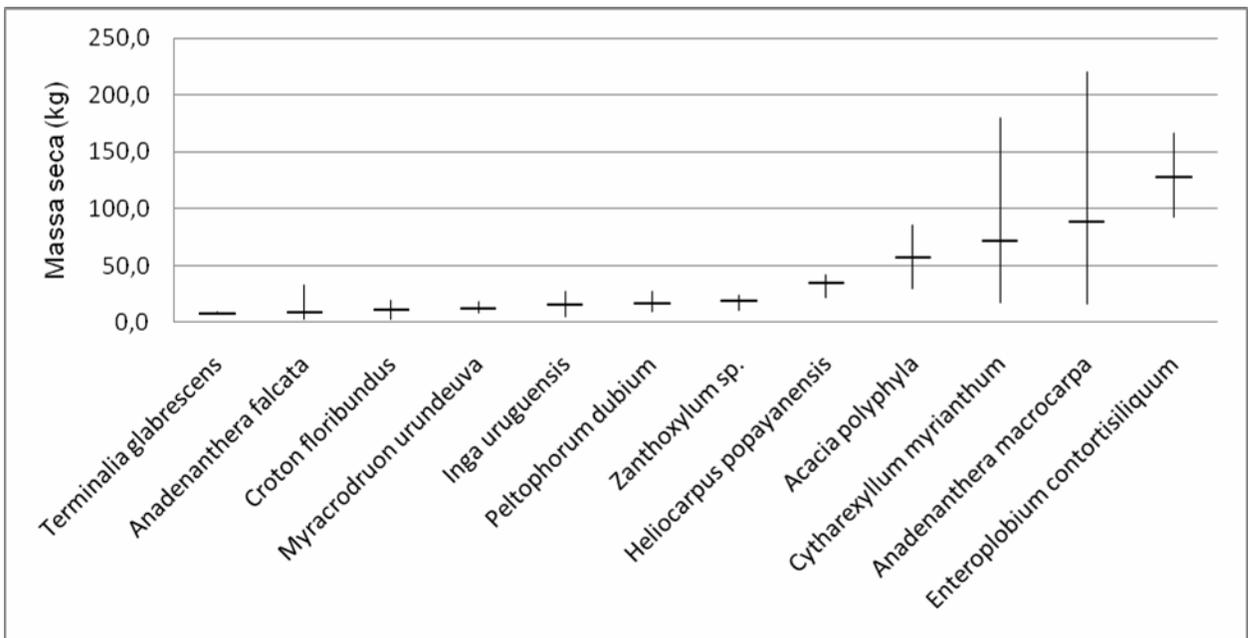


Figura 2.2 - Distribuição da Massa seca (MS) das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

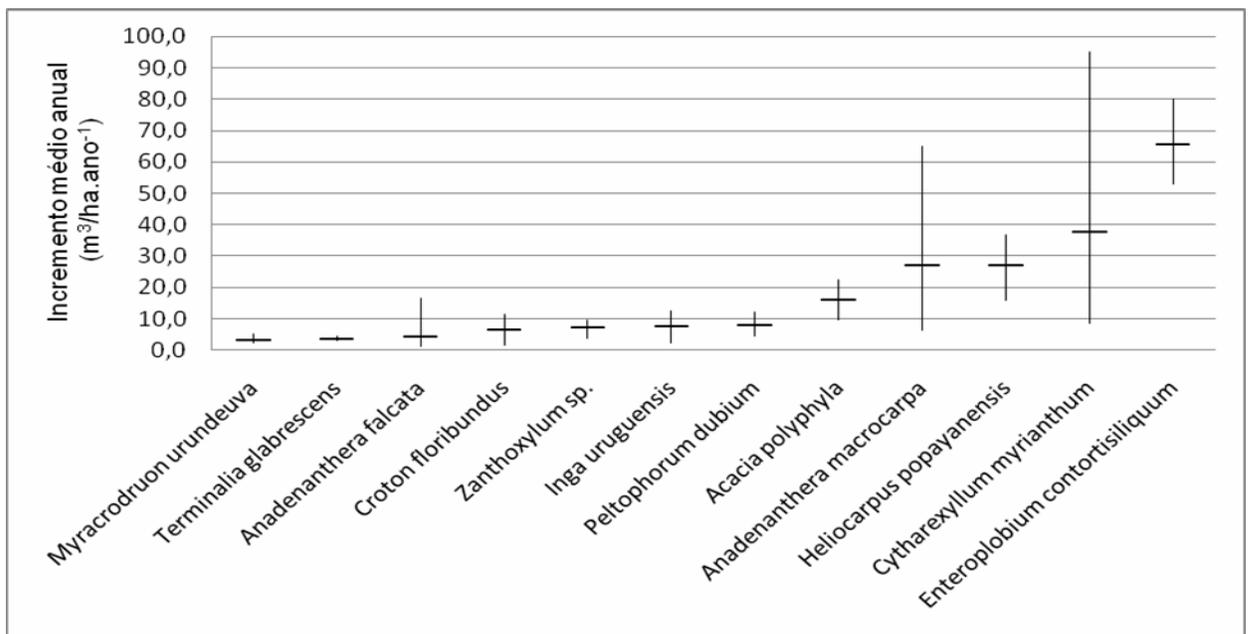


Figura 2.3 - Distribuição do Incremento médio anual estimado (IMA) das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

2.4.2 Características da madeira

2.4.2.1 Densidade básica da madeira

A densidade básica representa a concentração de massa por volume na madeira e influencia a velocidade da queima durante a produção direta de energia, assim como na densidade do carvão vegetal oriundo dessas madeiras. Por isso, é interessante que as madeiras apresentem densidades de moderadamente pesadas a pesadas. Alguns autores assumem que essa faixa seja acima de $0,65 \text{ g/cm}^3$ (LORENZI, 2002; VALE, 2002).

As densidades básicas médias das madeiras das espécies estudadas estão apresentadas na tabela 3, com valores que variaram de $0,316 \text{ g/cm}^3$ a $0,786 \text{ g/cm}^3$. Esses valores estão dentro do intervalo que Quirino et al. (2005) apresentaram para 108 espécies florestais brasileiras, que variou de $0,20$ a $1,08 \text{ g/cm}^3$.

Tabela 2.4 - Resultados das médias de densidade básica (DB) e poder calorífico superior (PCS) e coeficiente de variação (CV) das espécies estudadas

Espécie Florestal	DB* (g/cm^3)	CV (%)
<i>Acacia polyphyla</i>	0,712 ^a	17,5
<i>Anadenanthera falcata</i>	0,551 ^{bcd}	3,5
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,655 ^{ab}	15,8
<i>Croton floribundus</i>	0,515 ^{bcd}	8,4
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	0,420 ^{de}	12,1
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	0,404 ^{de}	8,9
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,316 ^e	12,3
<i>Inga uruguensis</i>	0,435 ^{de}	4,1
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,753 ^a	2,7
<i>Peltophorum dubium</i>	0,488 ^{cd}	10,9
<i>Terminalia glabrescens</i>	0,634 ^{abc}	4,5
<i>Zanthoxylum sp.</i>	0,636 ^{abc}	7,5

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

A figura 2.4 representa a distribuição das densidades das espécies estudadas em ordem crescente. As espécies que se destacaram por apresentarem densidade

básica considerada moderadamente pesada, entre 0,50 e 0,8 g/cm³ (FERRAZ et al., 2004), foram *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), *Acacia polyphyla* (Monjoleiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Zanthoxylum* sp. (Mamica-de-Porca), *Terminalia glabrescens* (Mirindiba), *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco) e *Croton floribundus* (Capixingui).

Também se pode observar que houve variação na densidade básica entre árvores de mesma espécie. As maiores amplitudes foram encontradas nas espécies *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Acacia polyphyla* (Monjoleiro), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho). Para Trugilho et al. (1996) as causas para variação na densidade básica podem ser atribuídas às diferentes condições ambientais e genéticas de cada árvore ou ainda em função de diferentes idades. Como as espécies estudadas estavam submetidas às condições ambientais e idades iguais, o fator genético deve ser a possível causa dessa variação.

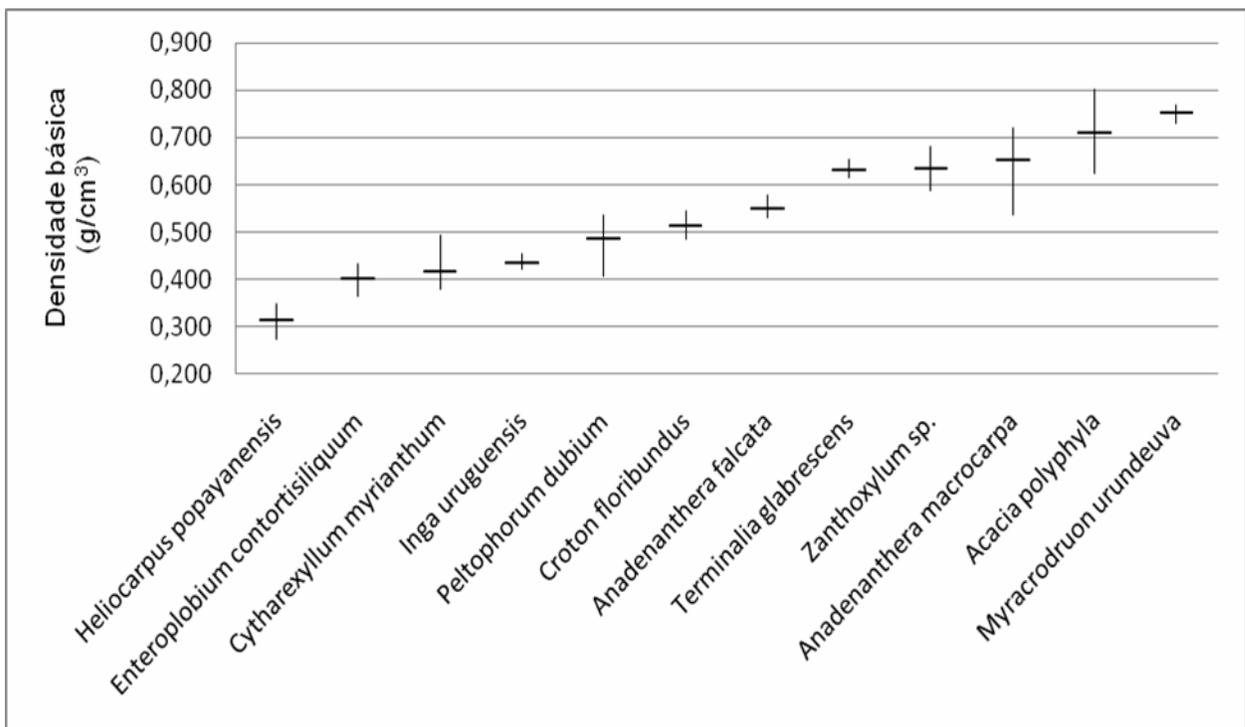


Figura 2.4 - Distribuição da densidade básica das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

Essas grandes variações podem comprometer o uso dessas espécies, pois ocasionará também grandes variações em seu desempenho durante o uso energético, assim como na qualidade de seus produtos, o que não é interessante quando se almeja altos desempenhos e produtos com qualidades padronizadas.

Algumas das árvores consideradas de rápido crescimento pela literatura apresentaram densidades básicas baixas, valores inferiores a $0,5 \text{ g/cm}^3$, como é o caso de *Heliocarpus popayanensis* (Algodoeiro), *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), *Inga uruguensis* (Ingá) e *Peltophorum dubium* (Canafístula). No entanto, outras espécies também consideradas de rápido crescimento apresentam densidades básicas moderadamente pesadas, como as espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco), *Acacia polyphyla* (Monjoleiro) e *Croton floribundus* (Capixigui).

A maioria das médias de densidade básica das espécies apresentou valores mais baixos do que os citados na literatura, como pode ser observado na tabela 2.5. Apenas duas espécies, *Croton floribundus* (Capixigui) e *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril) apresentaram resultados dentro dos intervalos apresentados na literatura. Essa discrepância provavelmente tem origem nas diferentes condições ambientais, de solo, de idade ou ainda nos diferentes genótipos das árvores analisadas.

Tabela 2.5 - Comparação entre valores de densidade básica obtidos para madeiras estudadas e os mencionados na literatura

Espécie	Densidade básica (g/cm ³)	
	Dado obtido na pesquisa	Dado da literatura (Fonte)
<i>Acacia polyphylla</i>	0,71	0,79 (NOGUEIRA, 1977)
<i>Anadenanthera falcata</i>	0,55	0,93 (LORENZI, 1992)
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,65	0,85 a 1,05 (LORENZI, 2002)
<i>Cytherexylum myrianthum</i>	0,42	0,50 a 0,70 (NOGUEIRA, 1977)
<i>Inga uruguensis</i>	0,44	0,58 (VILAS BOAS, 2004)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,79	1,00 a 1,21 (MAINIERI; CHIMELO, 1989; LORENZI, 1992)
<i>Peltophorum dubium</i>	0,49	0,75 a 0,90 (MAINIERI; CHIMELO, 1989; LORENZI, 1992)
<i>Croton floribundus</i>	0,52	0,50 a 0,60 (CARVALHO, 1994; LORENZI, 1992)
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	0,33	0,35 a 0,60 (SILVA; REICHMANN NETO, 1986; LORENZI, 1992)

2.4.2.2 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior variou de 4.511 a 4.769 kcal/kg, estando dentro dos intervalos já citados na revisão bibliográfica.

Embora os valores de poder calorífico apresentaram pouca variação entre as espécies, houve diferença estatística entre os resultados, conforme o observado na tabela 2.6 e na figura 2.5, pode-se destacar algumas espécies que apresentaram valores mais elevados e acima de 4.700 kcal/kg, que foram *Peltophorum dubium* (Canafístula), *Croton floribundus* (Capixingui), *Inga uruguensis* (Ingá), *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco) e *Zanthoxylum* sp. (Mamica-de-Porca).

Tabela 2.6 - Resultados das médias de poder calorífico superior (PCS) e coeficiente de variação (CV) das espécies estudadas

Espécie Florestal	PCS* (kcal/kg)	CV (%)
<i>Acacia polyphyla</i>	4.612 ^{bcd}	0,84
<i>Anadenanthera falcata</i>	4.744 ^a	0,36
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	4.665 ^{abc}	0,71
<i>Croton floribundus</i>	4.765 ^a	0,39
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	4.583 ^{cd}	1,39
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	4.753 ^a	0,20
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	4.511 ^d	0,49
<i>Inga uruguensis</i>	4.757 ^a	0,89
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	4.590 ^{bcd}	1,49
<i>Peltophorum dubium</i>	4.769 ^a	0,70
<i>Terminalia glabrescens</i>	4.686 ^{abc}	0,60
<i>Zanthoxylum sp.</i>	4.702 ^{ab}	0,48

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

As espécies *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira) e *Peltophorum dubium* (Canafístula) mostraram resultados semelhantes aos apresentados na literatura conforme Silva et al. (1983, 1982).

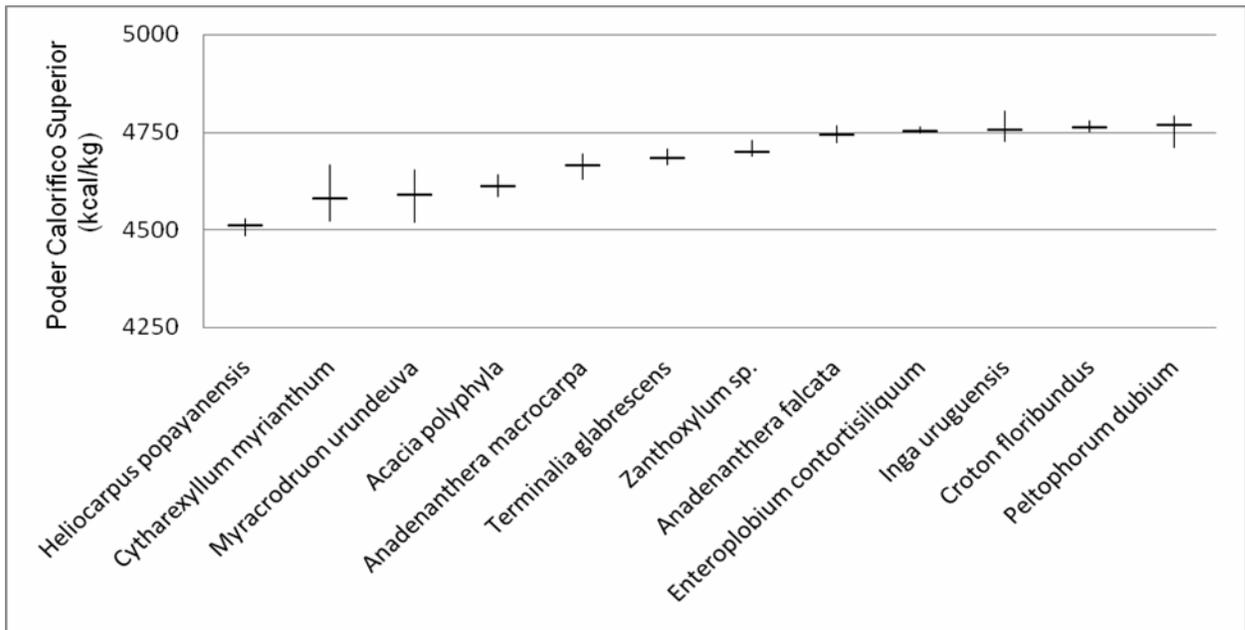


Figura 2.5 - Distribuição do poder calorífico superior das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

2.4.2.3 Análise imediata

Como já foi relatado na revisão de literatura, parte da madeira se queima na forma gasosa (materiais voláteis), resultando na denominada chama, enquanto outra parte se queima na forma sólida, o que é chamado de carbono fixo.

Os resultados da análise imediata das espécies analisadas mostrados na tabela 2.7 e figura 2.6 a 2.8 estão dentro dos intervalos encontrados na literatura, porém a literatura apresenta uma maior amplitude para os teores de carbono fixo e materiais voláteis. O teor de materiais voláteis variou de 79,6% a 84,9%, o teor de carbono fixo de 14,4% a 19,6% e o teor de cinzas variou de 0,46 a 3,49%. Brito e Barrichello (1978), considerando oito espécies de eucalipto, encontraram valores entre 74,1 a 89,9%, para materiais voláteis, de 9,6 a 24,3%, para carbono fixo e de 0,30 a 0,53%, para o teor de cinzas. Enquanto isso, no trabalho de Vale (2002b) o teor de materiais voláteis variou de 74,6 a 81,2%, o teor de carbono fixo de 17,3 a 24,8%, e o teor de cinzas de 0,15 a 2,73%.

Tabela 2.7 - Resultados da análise imediata e coeficiente de variação (CV) das espécies estudadas

Espécie	MV* (%)	CV (%)	CF* (%)	CV (%)	CZ* (%)	CV (%)
<i>Acacia polyphylla</i>	82,7 ^a	0,3	15,7 ^{ab}	2,8	1,60 ^{bc}	12,1
<i>Anadenanthera falcata</i>	79,5 ^a	2,5	19,6 ^a	8,9	0,90 ^{bc}	31,2
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	80,1 ^a	2,6	17,2 ^{ab}	5,8	1,13 ^{bc}	7,8
<i>Croton floribundus</i>	82,1 ^a	0,0	16,7 ^{ab}	4,3	1,26 ^{bc}	53,6
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	80,5 ^a	2,5	17,5 ^{ab}	9,7	2,04 ^{ab}	20,3
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	81,8 ^a	2,3	17,3 ^{ab}	11,3	0,88 ^{bc}	29,8
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	80,4 ^a	2,2	16,1 ^{ab}	5,7	3,49 ^a	25,1
<i>Inga uruguensis</i>	81,7 ^a	1,3	16,7 ^{ab}	2,1	1,66 ^{bc}	49,9
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	83,3 ^a	2,1	15,3 ^{ab}	7,9	1,41 ^{bc}	43,6
<i>Peltophorum dubium</i>	83,0 ^a	1,4	16,0 ^{ab}	6,5	1,05 ^{bc}	19,2
<i>Terminalia glabrescens</i>	84,9 ^a	5,3	14,6 ^b	29,3	0,46 ^c	40,4
<i>Zanthoxylum sp.</i>	84,7 ^a	0,1	14,4 ^b	4,5	0,91 ^{bc}	86,7

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

Quando se almeja uma queima que libere grande quantidade de gases ou que a madeira se queime com maior formação de chama, as espécies *Terminalia glabrescens* (Mirindiba), *Zanthoxylum sp.* (Mamica-de-Porca) e *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira) são as mais recomendadas, pois possuem valores de materiais voláteis ligeiramente superiores às outras espécies.

No entanto, quando se prioriza a produção de altas intensidades de calor em pontos localizados deve-se dar preferência as espécies *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril) e *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), pois o teor de carbono fixo dessas espécies é ligeiramente superior.

A amplitude apresentada por algumas espécies mostram que também há grande variação entre árvores de mesma espécie. Na análise do teor de materiais voláteis e de carbono fixo as que apresentaram maiores amplitudes dentro da mesma espécie foram *Terminalia glabrescens* (Mirindiba), *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola) e *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril) e *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho).

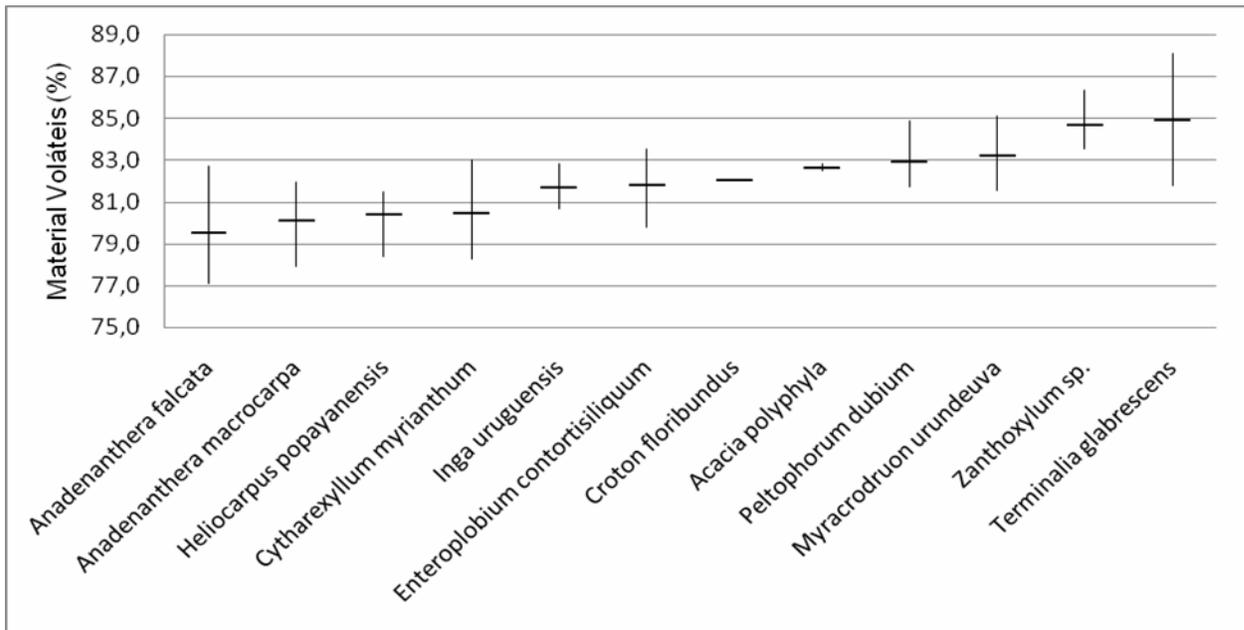


Figura 2.6 - Teor de materiais voláteis das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

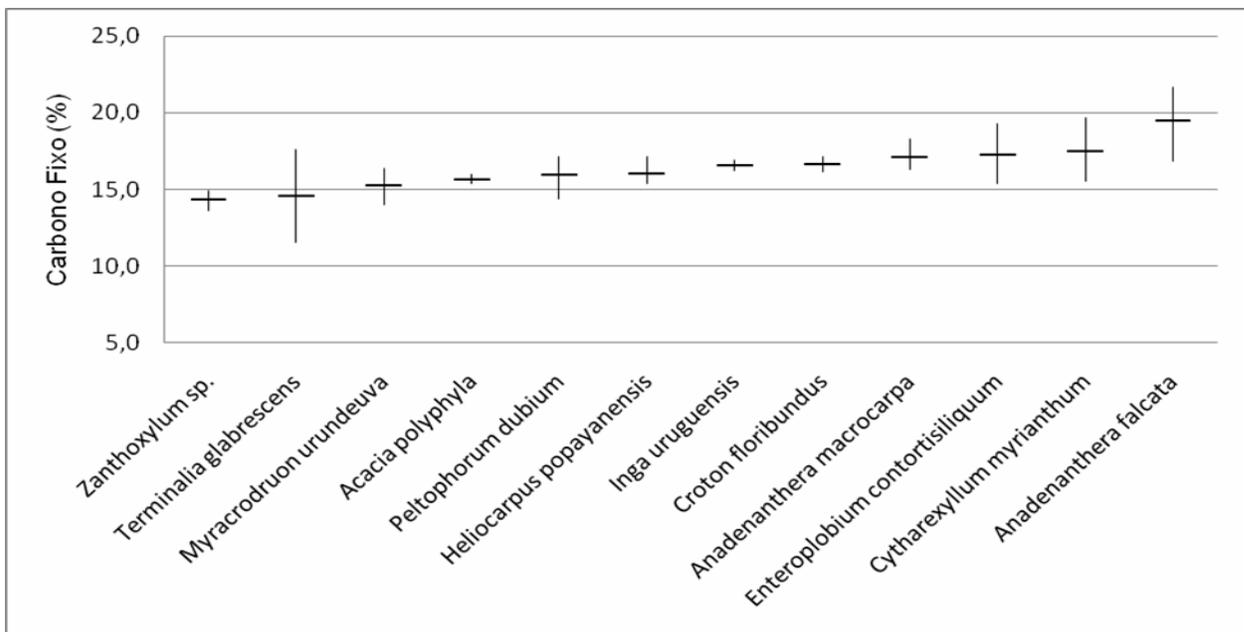


Figura 2.7 - Teor de carbono fixo das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

Quanto ao teor de cinzas, é desejável que ele seja o menor possível, pois esse material residual exige trabalho na sua retirada. Para Earl (1975) apud Cunha et al. (1989), o conteúdo de cinzas na madeira é usualmente baixo, variando de 0,5 a 5% e é de pouca consequência. Avaliando a tabela 2.7 e a figura 2.8 observa-se que espécies com teores médio de cinzas médio abaixo de 1,0% foram *Terminalia glabrescens* (Mirindiba), *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco) e *Zanthoxylum* sp. (Mamica-de-Porca). Deve-se também salientar que várias espécies apresentaram amplo coeficiente de variação devido a alta variação entre árvores de mesma espécie. São os casos da *Zanthoxylum* sp. (Mamica-de-Porca), *Croton floribundus* (Capinxingui), *Inga uruguensis* (Ingá) e a *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira). Deve ser mencionado que, segundo Browning (1963), a composição e a localização do material mineral dependem das condições ambientais em que a planta se desenvolve. Hagglund (1951) apud Maraboto (1989) afirma que o teor de cinzas é totalmente variável, não apenas entre espécies, mas também entre árvores de mesma espécie.

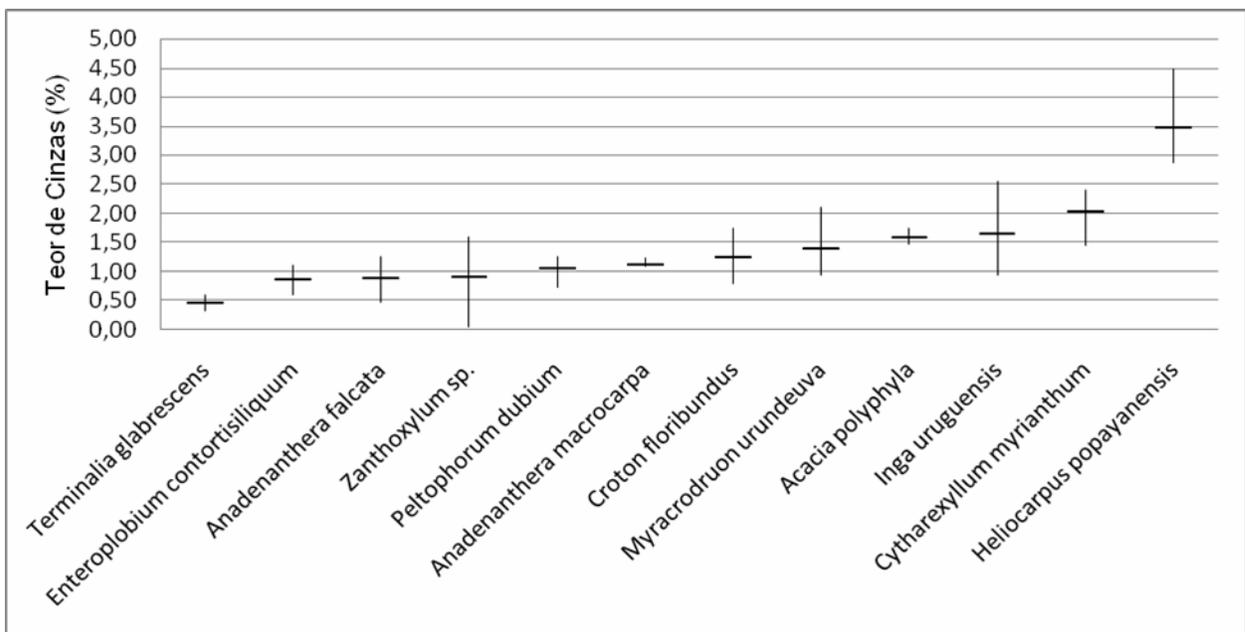


Figura 2.8 - Teor de cinzas das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

2.4.2.4 Teor de lignina e extrativos

A complexa estrutura da lignina faz dela o componente da madeira mais resistente a degradação térmica, podendo ao mesmo influenciar na elevação do poder calorífico da madeira como na qualidade do carvão vegetal (BRITO; BARRICHELO, 1977; SHAFIZADEH; DEGROOT, 1976). Sendo assim, é interessante que se conheça a quantidade desse componente presente na madeira.

Resultados da literatura relatam que a lignina pode variar de 20 a 40% (DOAT, 1977; SHAFIZADEH; DEGROOT, 1976). Conforme ser observado na tabela 2.8 e figura 2.9, as espécies analisadas apresentaram valores mais baixos, entre 18,8 a 26,9%. As espécies com maiores teores foram o *Croton floribundus* (Capixingui), *Inga uruguensis* (Ingá) e *Terminalia glabrescens* (Mirindiba), com valores acima de 26%.

Tabela 2.8 - Resultados do teor de Lignina (L) e de Extrativos totais (Ext) e coeficiente de variação (CV) das espécies estudadas

Espécie florestal	L* %	CV %	Ext* %	CV %
<i>Acacia polyphyla</i>	23,0 ^{abc}	10,5	8,8 ^{abc}	4,2
<i>Anadenanthera falcata</i>	23,1 ^{abc}	7,3	16,4 ^a	24,3
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	22,5 ^{abc}	7,7	11,4 ^{abc}	30,7
<i>Croton floribundus</i>	26,9 ^a	7,1	7,8 ^{bc}	11,9
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	24,1 ^{ab}	15,2	13,8 ^{abc}	5,4
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	21,2 ^{abc}	6,6	14,5 ^{ab}	17,8
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	18,8 ^c	2,9	11,4 ^{abc}	18,7
<i>Inga uruguensis</i>	26,8 ^a	10,6	8,2 ^{bc}	61,2
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	19,9 ^{bc}	6,1	8,1 ^{bc}	22,5
<i>Peltophorum dubium</i>	23,6 ^{abc}	9,7	9,2 ^{abc}	7,4
<i>Terminalia glabrescens</i>	26,3 ^{ab}	0,4	12,7 ^{abc}	7,9
<i>Zanthoxylum sp.</i>	21,5 ^{abc}	8,9	6,5 ^c	14,5

- Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

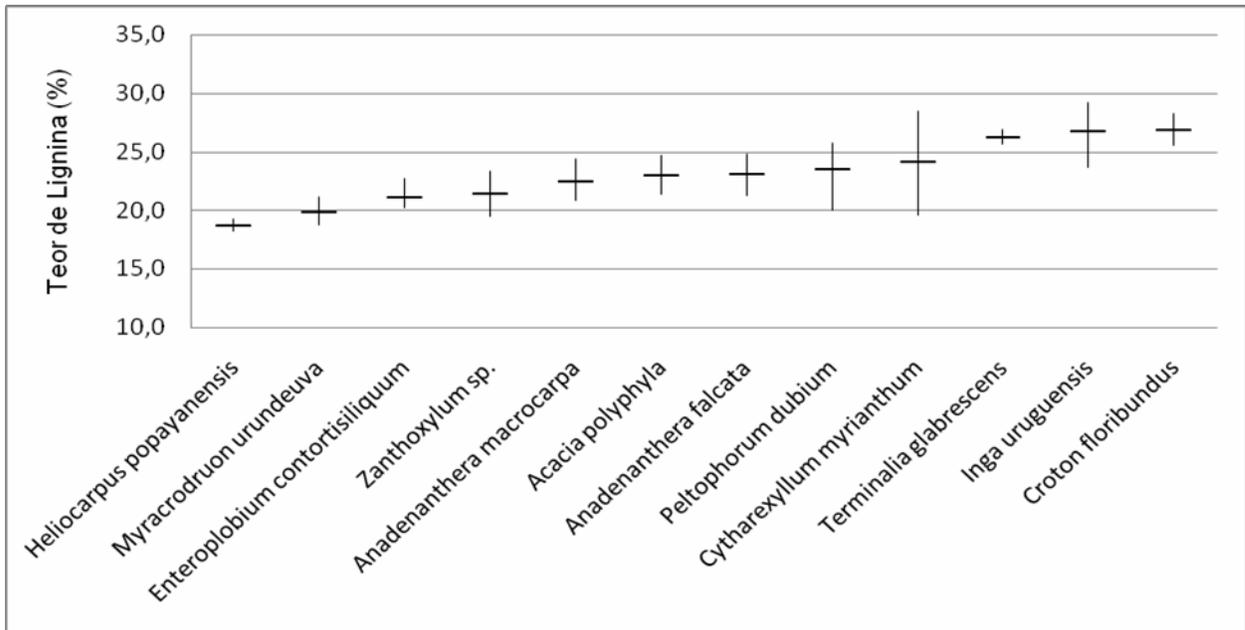


Figura 2.9 - Teor de lignina das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

Os extrativos são também elementos presentes na madeira, que podem influenciar na sua aplicação energética. Doat (1975) encontrou extrativos solúveis em álcool que elevavam o poder calorífico das madeiras tropicais. Porém, certos tipos de extrativos contêm grandes quantidades de açúcares, que diminuem esse valor.

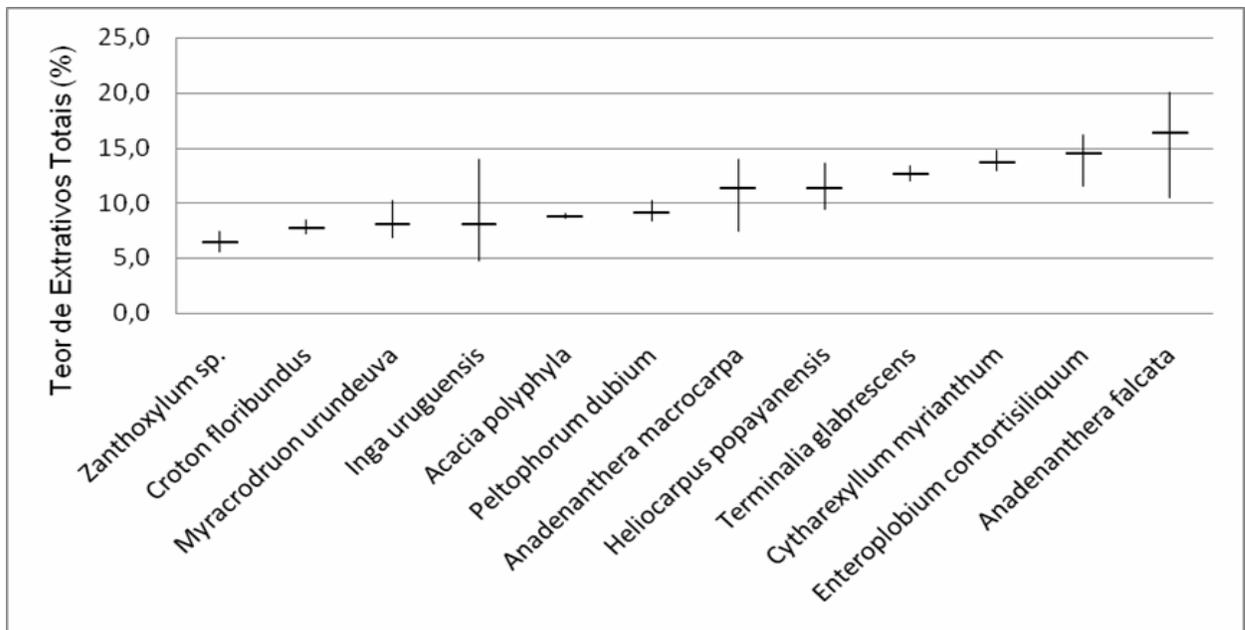


Figura 2.10 - Teor de extrativos das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

O teor de extrativos totais para as espécies analisadas, conforme a tabela 2.8 e figura 2.10, variou de 6,5 a 19,3%. Doat (1973) observou que os extrativos na madeira variaram de 0,2 a 20%. Como se pode observar na figura 2.10 as espécies *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco), *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril) e *Cytherexylum myrianthum* (Pau-Viola) apresentaram os maiores teores de extrativos totais.

2.4.3 Produtividade energética

As produtividades energéticas médias das espécies estão demonstradas na tabela 2.9. Embora não foi observada diferença estatística entre os valores, os resultados para produção energética variaram de 0,04 a 0,61 Gcal/árvore, a produtividade energética variou de 67,4 a 1021,2 Gcal/ha e o incremento energético médio anual variou de 11,2 a 127,7 Gcal/ha.ano⁻¹. Brito e Barrichello (1980) obtiveram valores entre 662 a 1259 Gcal/ha para a produtividade energética de seis espécies de eucaliptos, aos três anos de idade, estando no limite superior e inferior o *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus citriodora*, respectivamente. Em outro trabalho, Brito et al. (1980) apresentaram valores de produção energética de 0,3 a 2,5 Gcal/árvore, para nove espécies de eucaliptos aos dez anos de idade. Em trabalho mais recente, Vale et al. (2000) obtiveram resultados de produção energética da *Acacia mangium* e *Eucalyptus grandis*, aos sete anos de idade, de 0,09 Gcal/árvore e 0,22 Gcal/árvore, respectivamente.

A ausência da diferença estatística entre os resultados das espécies também se deveu, como para os resultados de massa seca, à grande variação dos resultados entre as árvores de mesma espécie e as poucas árvores com resultados mais elevados, como por exemplo, a *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho) e o *Cytherexylum myrianthum* (Pau-Viola) que apresentaram apenas uma árvore bem destacada quanto a sua produção energética (Anexo C).

As figuras 2.11, 2.12 e 2.13 mostram a grande amplitude quanto à produtividade energética, destacando-se a *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho) e *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), nas quais a produção energética variou de 0,08 a 1,03 e de 0,08 a 0,84 Gcal/árvore, respectivamente.

Tabela 2.9 - Produção energética (PE), Produtividade energética (PdE), Incremento energético médio anual (IEMA) das espécies estudadas

Espécie	PE* (Gcal/árvore)	C.V. (%)	PdE* (Gcal/ha)	C.V. (%)	IEMA* (Gcal/ha.ano ⁻¹)	C.V. (%)
<i>Acacia polyphyla</i>	0,26 ^a	69,1	441,3 ^a	69,1	55,2 ^a	69,1
<i>Anadenanthera falcata</i>	0,04 ^a	142,9	97,7 ^a	39,8	12,3 ^a	142,9
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,42 ^a	128,2	693,3 ^a	128,2	88,0 ^a	125
<i>Croton floribundus</i>	0,06 ^a	101,2	97,7 ^a	39,8	15,4 ^a	101,2
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	0,33 ^a	103	556,1 ^a	103	70,1 ^a	101,3
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	0,61 ^a	28,9	1021,2 ^a	28,9	127,7 ^a	28,9
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,16 ^a	33,8	266,0 ^a	33,8	38,0 ^a	33,8
<i>Inga uruguensis</i>	0,08 ^a	71,2	128,8 ^a	71,2	16,1 ^a	71,2
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,06 ^a	39,8	97,7 ^a	39,8	12,2 ^a	39,8
<i>Peltophorum dubium</i>	0,08 ^a	42,4	134,2 ^a	42,4	19,2 ^a	42,4
<i>Terminalia glabrescens</i>	0,04 ^a	19,6	67,4 ^a	19,6	11,2 ^a	19,6
<i>Zanthoxylum sp.</i>	0,09 ^a	39,7	151,6 ^a	39,7	21,7 ^a	39,7

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

É possível observar que os valores encontrados no presente estudo apresentam algumas compatibilidades com os da literatura. Deve-se destacar que as espécies que demonstraram maiores potenciais de produção energética foram o *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola) e a *Acacia polyphyla* (Monjoleiro).

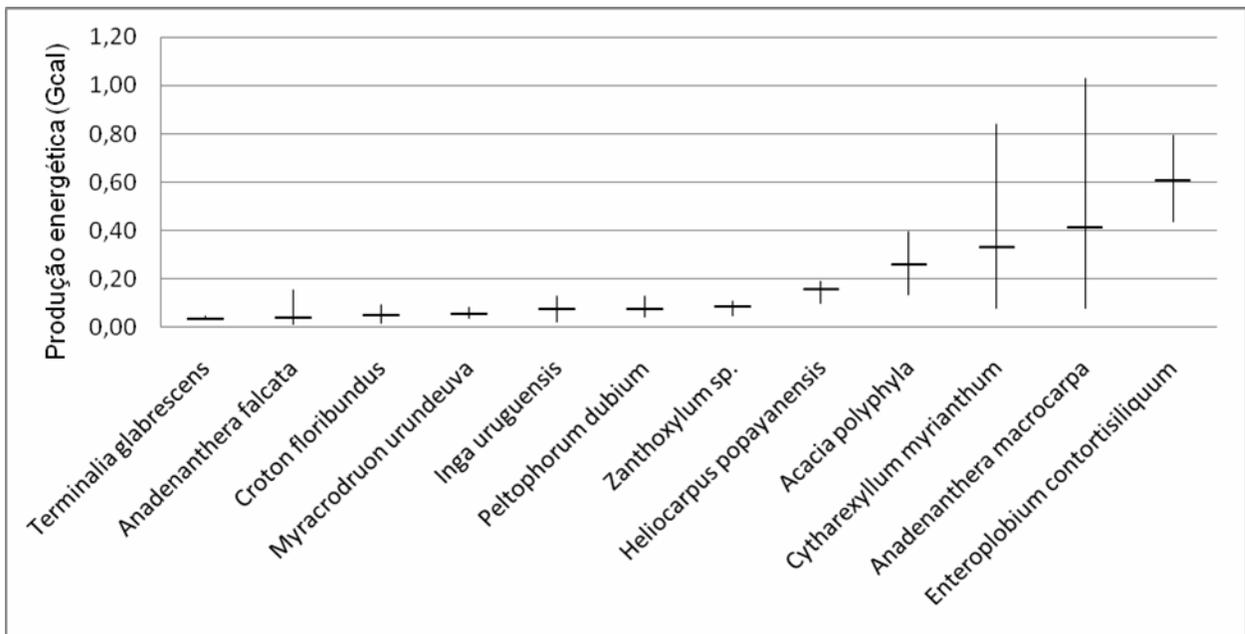


Figura 2.11 - Produção energética das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

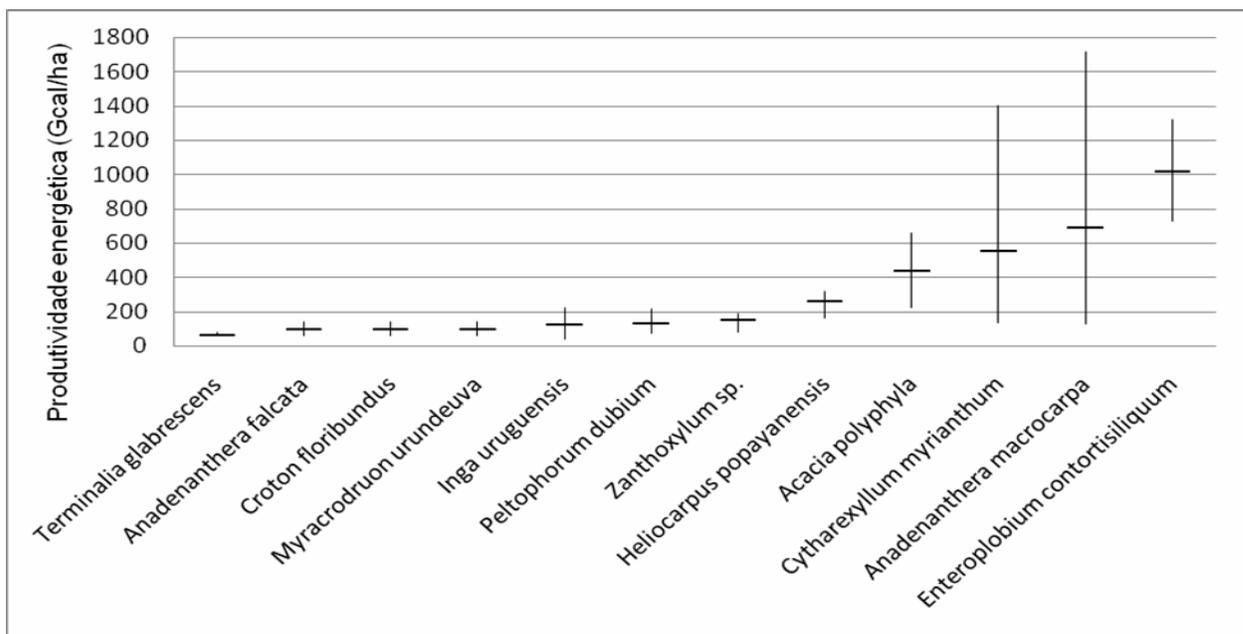


Figura 2.12 - Produtividade energética das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

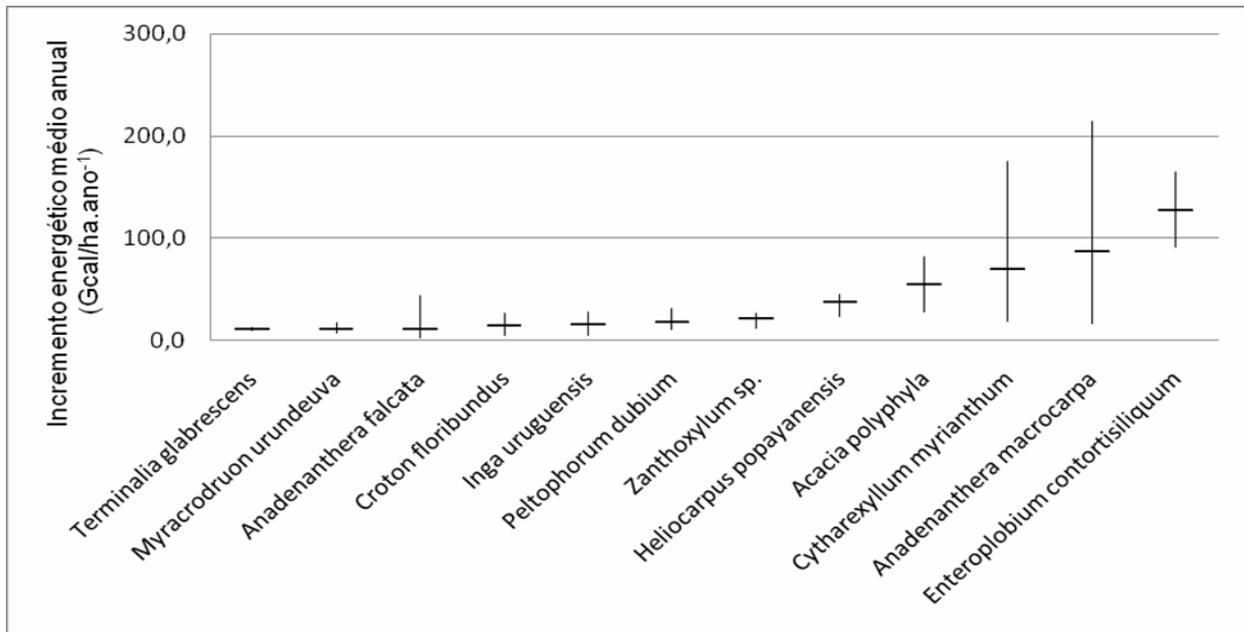


Figura 2.13 – Incremento energético médio anual das espécies florestais estudadas e seus respectivos valores máximos e mínimos

2.5 Conclusões

Com base nos dados, pode-se concluir que:

- No que diz respeito às características da madeira para a aplicação energética, todas as espécies apresentaram resultados dentro de padrões já conhecidos, sem que houvesse destaque a ser apontado para qualquer uma delas;
- A diferenciação entre as espécies ocorreu quanto à produção de biomassa, sendo que as de maior destaque foram o *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril), *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho), *Cytharexylum myrianthum* (Pau-Viola), *Acacia polyphylla* (Monjoleiro);
- Dentre as de maior produção de biomassa, a que apresentou o maior valor de densidade básica e o maior poder calorífico superior foram, respectivamente, as espécies *Anadenanthera macrocarpa* (Angico-Vermelho) e *Enteroplobium contortisiliquum* (tamboril), o que sugere que o melhor uso dessas espécies sejam, respectivamente, para produção de carvão vegetal e o uso direto para energia;

- d) Em relação a análise imediata da madeira das espécies mais produtoras de biomassa, os maiores teores de carbono fixo e de materiais voláteis foram apresentadas pelo *Cytherexylum myrianthum* (Pau-Viola) e *Acacia polyphyla* (Monjoleiro), respectivamente e o menor teor de cinzas pelo *Enteroplobium contortisiliquum* (Tamboril);
- e) Ainda em relação as espécies destacadas quanto à produção de biomassa, a que apresentou o maior teor de lignina e foi o *Cytherexylum myrianthum* (Pau-Viola);
- f) Somando-se todos os aspectos avaliados, a espécie *Anadenanthera macrocarpa* (angico-vermelho) é a que mais atende aos critérios importantes mais para uma adequada utilização energética da madeira, tanto em termos de produção de biomassa, como em relação às características da madeira;
- g) A espécie *Enteroplobium contortisiliquum* (tamboril) embora não tenha apresentado um valor elevado da densidade básica de sua madeira, se mostra muito interessante, pois sua produção energética é compatível com espécies mais tradicionalmente utilizadas em plantios florestais na atualidade;
- h) Embora haja grande potencial de uso para algumas das espécies estudadas, são ainda necessários trabalhos continuados para a seleção de genótipos superiores em função da variabilidade nos resultados obtidos entre indivíduos.

Referências

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, jan./dez.1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas de ensaio**. São Paulo, 1986. Não paginado.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**. Rio de Janeiro, 1986. Não paginado.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008**: ano base 2007: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2008. 25 p.

BRASIL. Medida Provisória N.º 2166-67, de 24 de agosto de 2001. **Altera os arts. 1o, 4o, 14, 16 e 44, e acresce dispositivos à Lei no 4.771, de 15 de setembro de 1965.** Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/mpv/2166-67.htm>> Acesso em: 25 set. 2007

BRITO, J.O. **Queima ou combustão da madeira para fins energéticos.** Piracicaba: ESALQ/Departamento de Silvicultura, 1979. 36 p.

_____. O uso energético da madeira. Estudos Avançados, São Paulo, v. 21, n. 59, p.185-193, 2007.

BRITO, J.O. ; ALVES, C.G. Estudo da produção de carvão e celulose química de madeira de espécies florestais pioneiras nativas brasileiras. In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 4., 1996, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ, 1996. p. 509.

BRITO J. O.; BARRICHELO L.E.G. Comportamentos isolados da lignina e da celulose da madeira frente à carbonização. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n. 28, p. 1-4, 1977a.

_____. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: 1 - Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, Piracicaba, n. 14, p. 9-20, 1977b.

_____. Usos diretos e propriedades da madeira para geração de energia. **Silvicultura**, São Paulo, v. 2, n. 12, p. 26-28, nov.1978a.

_____. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, Piracicaba, n. 16, p. 63-70, jun.1978b.

_____. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão: 2 - Densidade da madeira x densidade do carvão. **IPEF**, Piracicaba, n. 20, p.121-126, 1980.

BROWNING, B.L. **The chemistry of wood.** New York: Interscience, 1963. 689 p.

CARVALHO, P.E.R. Resultados experimentais de espécies madeireiras nativas no estado do Paraná. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p. 747-765, 1982.

_____. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira.** Colombo: EMBRAPA, CNPF, 1994. 640 p.

CORDER, S.E. **Wood and bark as fuel.** Corvallis: School of Forestry, 1973. 28 p.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; CABRAL, M.T.F.D.; CUNHA NETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1989. **Anais...** São Carlos, 1989. v. 2, p. 93-121.

DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG; V. DIN 51900. **Testing of solid and liquid fuels - Determination of gross calorific value by the bomb calorimeter and calculation of net calorific value:** method using isothermal water Jacket: Beuth Verlag GmbH, 2005. 20 p.

DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-Sur-Marne, n. 172, p. 33-55, mar./abr.1977.

DOAT, J.; PETROFF, G. La carbonisation des bois tropicaux. **Bois et Forêts des Tropiques**, Nogent-Sur-Marne, n. 159, p. 55-72, jan./fev.1975.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M.F.; FRANCO, G.A.D.C.; CONTIERI, W.A. A flora arbustivo-arbórea do Médio Paranapanema: base para restauração dos ecossistemas naturais. In: VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. (Org.). **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista**. São Paulo: Páginas & Letras, 2004. p. 199-239.

FARINHAQUE, R. Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga, e aspectos gerais de combustão. **Série Técnica FUPEF**, Curitiba, n. 6, p. 1-14, jan.1981.

FERRARI, G. Influenza dell umidità e della densità basale sul potere calorifico del legno. **Quaderni di Ricerca**, Roma, n. 21, p. 1-16, 1988.

FERRAZ, I.D.K.; LEAL FILHO, N.; IMAKAWA, A.M.; VARELA, V.P.; PIÑA-RODRIGUES, F.C.M. Características básicas para um agrupamento ecológico preliminar de espécies madeireiras da floresta de terra firme da Amazônia Central. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 34, n. 4, dez. 2004.

GARRIDO, M.A.O. Características silviculturais de algumas espécies indígenas sob povoamentos puros e mistos. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 9, p. 63-71, 1975.

INOUE, M.T.; REICHMANN, F.; CARVALHO, P.E.R.; TORRES, M.A.V. **A silvicultura de espécies nativas**. Curitiba: FUPEF, 1983. 60 p.

KAGEYAMA, P.Y.; DIAS, I.S. Aplicação da genética em espécies florestais nativas. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p. 782-791, 1982.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 382 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

MARABOTO, M.T.; CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; CUNHA, Z.B. Poder calorífico e pirólise de dez espécies florestais da Amazônia brasileira - peruana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., São Carlos, 1989. **Anais...** São Carlos: EESC; LaMEN, 1989. v. 3, p. 7-28.

MELO, A.C.G.; MIRANDA, D.L.C.; SANQUETTA, C.R.; DURIGAN, G.; FORSTER, H.W.; FLORSHEIN, S.M.B.; LIMA, I.L. **Quantificação de biomassa e carbono em reflorestamentos de restauração.** (Relatório final de projeto de pesquisa) São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente; Instituto Florestal, 2008. 38 p.

MENDES, C.J.; REZENDE, G.C.; SUITER, W.; MORAES, T.S.A. Considerações sobre o potencial silvicultural e energético de quatro espécies nativas. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p. 1350-1359, 1982.

MOREIRA, C.S. **Contribuição ao estudo da eficiência de pequenos fornos na produção de carvão vegetal destinado a alto forno.** 1964. 110 p. Tese (Doutorado em Recursos florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1964.

NOGUEIRA, J.C.B. Reflorestamentos heterogêneos com essências indígenas. São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Florestal**, São Paulo, n. 24, p. 1-77, 1977.

NOGUEIRA, J.C.B.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; MORAIS, E.; COELHO, L.C.C.; MARIANO, G.; KAGEYAMA, P.Y.; ZANATTO, A.C.S.; FIGLIOLIA, M.B. Conservação genética de essências nativas através de ensaios de progênie e procedência. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p. 957-969, 1982.

OLIVEIRA, J.B. de; VIVACQUA FILHO, A.; MENDES, M.G.; GOMES, P.A. Produção de carvão vegetal – aspectos técnicos. In: PENEDO, W.R. **Produção e utilização de carvão vegetal.** Belo Horizonte: CETEC, 1982. p. 59-73.

PAULA, J.E. Estudo das Estruturas Internas das Madeiras de 16 Espécies Nativas, Visando Seu Aproveitamento Para Produção de Álcool, Coque e Carvão. **Brasil Florestal**, Brasília, v. 47, p. 23-50, 1981.

_____. Espécies nativas com perspectivas energéticas. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p.1259-1315, 1982.

QUIRINO, W.F.; VALE A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira.** Caxias do Sul, v. 15, n. 89, p. 100-106, abr. 2005.

RODRIGUES, R.R.; GANDLFI, S.; SOUZA V.C. **Projeto matrizes de árvores nativas - banco de dados**. Disponível em: <<http://www.lerf.esalq.usp.br/matbanc.php>> Acesso em: 20 fev. 2007

SHAFIZADEH, F.; DEGROOT, W.F. Combustion characteristics of cellulosic fuels. In: SHAFIZADEH, F.; SARKANEN, K.V.; TILLMAN, D.A. **Thermal uses and properties of carbohydrates and lignins**. New York: Academic Press, 1976. p. 1-17.

SILVA, L.B.X.; REICHMANN, F.; TOMASELLI, I. Estudo comparativo da produção de biomassa para energia entre 23 espécies florestais. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 872-878, 1983.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e números do Brasil florestal**. Novembro de 2006. Disponível em: <www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf> Acesso em: 25 maio 2008

SPELTZ, R.M. Comportamento de algumas essências nativas na Fazenda Monte Alegre. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 1., 1968, Curitiba. Curitiba: FIEP, 1969. p. 299-302.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.12, n.1, p. 71-80, 2002.

VALE, A.T.; FIEDLER, N.C.; SILVA, G.F. Avaliação energética da biomassa do cerrado em função do diâmetro das árvores. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 115-126, 2002.

VALE, A.T.; BRASIL M.A.M.; CARVALHO C.M.; VEIGA R.A.A. Produção de energia do fuste de eucalyptus grandis hill ex-maiden e acacia mangium willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. **Pesquisas em conservação e recuperação ambiental no oeste paulista: resultados da cooperação Brasil/Japão**. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004. 480 p.

3 INFLUÊNCIA DA IDADE DE PLANTIO NAS CARACTERÍSTICAS DA MADEIRA LIGADAS À PRODUÇÃO DE ENERGIA PARA ESPÉCIES NATIVAS NA REGIÃO DO MÉDIO PARANAPANEMA, SP.

Resumo

Historicamente, o Brasil sempre teve a madeira como uma das importantes fontes de energia e esse quadro ainda se mostra atual na sua participação na matriz energética nacional. No entanto, há de se ampliar os plantios florestais para que essa demanda seja sustentada, e o alcance dos melhores desempenhos florestais dependerá não apenas das melhores produtividades, mas também da qualidade da madeira visando tal fim. As principais características da madeira que definem seu comportamento durante o uso energético são bem conhecidas e podem apresentar grandes variações, e os principais fatores que influenciam isso são decorrentes, principalmente, da variação da idade, do ambiente e de aspectos genéticos. O presente estudo visou especificamente identificar a influência da idade nas características da madeira relacionadas ao uso energético. Para tanto, utilizou-se de duas espécies nativas plantadas, *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco) e *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), com idades, respectivamente, de 6 e 36 anos e 8 e 37 anos. Os resultados indicaram que a idade influenciou em todas as características analisadas, para ambas as espécies estudadas. A densidade básica, o poder calorífico, o carbono fixo, o teor de extrativos totais e o teor de lignina se relacionaram positivamente com o aumento da idade, enquanto que o teor de materiais voláteis e de cinzas tiveram influência negativa do efeito da idade.

Palavras-chave: Idade; Características da madeira; Energia; Espécies nativas plantadas

Abstract

Historically, Brazil has always had the wood as one of the major sources of energy and yet this framework is shown in its current participation in the national energy matrix. However, the forest plantations should be enlarge to sustain that demand, and the scope of the best performances depend not only the best forest productions, but also the quality of wood aimed at that purpose. The main characteristics of wood that define their behavior during the energy use are well known and can present big variations, and the main factors influencing this are arising, mainly, from the variation of age, environmental and genetic aspects. This study aimed specifically identifies the influence of age on the characteristics of wood related energy use. This study aimed, specifically, identify the influence of age on the characteristics of wood related to energy use. To that end, it was used two Brazilian species, *Anadenanthera falcata* (Angico-White) and *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira), aged, respectively, 6 and 36 years and 8

and 37 years. The results indicated that age influenced all the characteristics analyzed for both species studied. The density, the heating value, the carbon fixed, the extractives content and the lignin content were positively associated with age, while the volatile material content and ash had negative influence of the effect of age.

Keywords: Wood energy; Brazilian species; Age

3.1 Introdução

O uso da madeira ainda se mostra em evidência na matriz energética brasileira e representa atualmente 12,5% da oferta de energia interna no país (BRASIL, 2008). Simultaneamente, torna-se mais evidente a necessidade de ampliação de plantios florestais visando suprimento da crescente demanda por tal aplicação.

Além de aumentar a área reflorestada é necessário o desenvolvimento de pesquisas, que visem a obtenção de florestas com altas produtividades e adequada qualidade da madeira. Durante algum tempo, a seleção de árvores matrizes produtivas dentro no Brasil foi baseada em valores fenotípicos das características de crescimento (VITAL et al., 1994). Isso, contudo, não assegura que a árvore selecionada tenha qualidade que proporcione a sua melhor utilização, sendo necessário, portanto, incluir as características da madeira que exerçam influência no comportamento durante o uso final, o que, no presente estudo, levou em conta a utilização energética.

São diversas as características da madeira que exercem influência sobre seu uso energético. Alguns autores que já estudaram as características físicas e químicas da madeira destacam que as principais são o poder calorífico, a composição elementar, o teor de compostos químicos, a composição imediata, o teor de umidade e a densidade básica (BRITO; BARRICHELO, 1977a, 1977b, 1979, 1980; CORDER, 1973; DOAT, 1977; DOAT; PETROFF, 1975; SHAFIZADEH; DEGROOT, 1976).

O efeito das características anteriormente mencionadas sobre o desempenho da madeira durante a utilização energética já é bem conhecido, já tendo sido observadas importantes variações das mesmas entre espécies, dentro de uma mesma espécie e até mesmo dentro do tronco de uma mesma árvore (VALE; FIEDLER; SILVA, 2002; QUIRINO et al.; 2005; DOAT, 1977; CUNHA et al., 1989). São atribuídos a essas variações principalmente fatores relacionados à idade, as características genéticas e

ambientais à que a árvore está submetida (TRUGILHO et al., 1996; TOMAZELLO FILHO, 1985).

Existem muitos estudos sobre o efeito da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira. No entanto, é pouco conhecido esse efeito sobre alguns parâmetros relacionados ao seu desempenho na produção de energia, sobretudo no que diz respeito às espécies nativas plantadas. E diante desse quadro objetivou-se realizar no sentido de estudar a madeira das espécies *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco) e *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira) nas idades de 6 e 36 anos e 8 e 37 anos, respectivamente.

3.2 Revisão bibliográfica

3.2.1 Influência da idade nas características da madeira

A variação de densidade básica em função da idade das árvores é a propriedade estudada em diversos trabalhos. E é uma propriedade que indica a concentração de material lenhoso na madeira através da relação entre massa e volume e, por conseqüência, indica também a concentração de material energético contido na madeira. Para Vale (2002) madeiras com baixas densidades implicam em uma queima mais rápida.

Ferreira (1972), analisando *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden em diferentes idades, encontrou diferenças significativas entre os povoamentos de 11 anos e os de 12, 13, 14 e 16, entre os de 12 e 14 anos e entre 14 e 16 anos. Verificou também que houve uma tendência para o aumento da densidade em função da idade dos talhões, embora os talhões de 11 e 16 anos apresentaram as densidades básicas médias mais baixas.

Corroborando, Rezende e Ferraz (1985), no estudo que observou a variação anual de densidade básica do *Eucalyptus grandis*, constataram que essa propriedade teve valores crescentes até o 10^o ano, aproximadamente, e a partir disso decresceu até o 13^o ano. Silva et al, (2004) também analisando a madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden nas idades de 10, 14, 20 e 25 anos, verificaram um aumento sistemático

da densidade da madeira com a idade, havendo uma tendência de estabilização nas árvores com idades acima de 20 anos.

Para Lima et al. (2000) apud Trevisan et al. (2008), a densidade varia gradualmente, aumentando rapidamente no período juvenil, mais lentamente numa fase intermediária e por fim se tornar mais ou menos constante na fase da maturidade da árvore. A madeira juvenil é conhecida como aquela formada no período de rápido crescimento da árvore, que é caracterizada pela variação na dimensão dos componentes anatômicos, principalmente vasos e fibras na direção da medula para a casca da árvore. Segundo Cruz (2000), esse fato pode ser explicado devido ao alto incremento da madeira nos primeiros anos na região próxima da medula, no qual, inicialmente, as células da madeira se multiplicam antes de atingirem o tamanho genético característico da espécie. A cada camada de crescimento da árvore, as células vão aumentando seu tamanho até se estabilizarem. Concordando com isso, Silva et al. (2007), observou um aumento da espessura da parede e do comprimento das fibras e diminuição do diâmetro dos vasos e largura das fibras em função do aumento de idade.

Quanto aos constituintes químicos da madeira, a lignina é considerada o mais importante durante o uso energético, devido ao seu alto poder calorífico e a sua resistência a degradação térmica, em função da sua alta complexidade (ANDRADE, 1998; BRITO; BARRICHELO, 1977). Segundo Trugilho et al. (1996) e Severo et al. (2006), ela tende a diminuir com o aumento da idade da árvore, pois os indivíduos mais jovens tendem a possuir uma maior proporção de madeira juvenil que é mais rica em lignina do que a madeira madura. O mesmo autor observou uma diminuição significativa no teor de lignina no *Eucalyptus saligna* aos 12, 24, 26 e 48 meses. Esse teor apresentou também correlação negativa com a densidade básica e teor de holocelulose, indicando que quanto menor for o teor de lignina, maior será o teor de holocelulose e a densidade básica da madeira. O mesmo autor ainda sugere que madeiras mais densas possuam menores quantidades de lignina. Entretanto, Sturion et al. (1988) na sua avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus vimnalis* não observou queda significativa no teor de lignina.

Trugilho et al. (1996) também observou uma diminuição significativa no teor de extrativos totais e de cinzas com aumento da idade. No entanto, WEHR (1991), estudando as alterações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* em diversas idades, encontrou teores médios de extrativos totais se correlacionando positivamente em função do aumento da idade da árvore.

Corroborando nesse aspecto, Andrade (2006) mostra também um aumento significativo dos teores de holocelulose e extrativos totais, enquanto que o teor de lignina e material inorgânico apresentaram tendência inversa. O mesmo autor atribuiu a elevação dos teores de extrativos totais à tendência de maturidade das árvores, com o início de formação do cerne. Burger e Richter (1991) relatam que, ao longo do desenvolvimento das árvores, as partes internas do câmbio perdem gradativamente sua atividade vital podendo adquirir coloração mais escura em decorrência da deposição de substâncias como, por exemplo, taninos, resinas, gorduras, carboidratos solúveis e outras substâncias resultantes da transformação dos materiais de reserva contidos nas células parenquimáticas do alburno interno. Os mesmos autores relatam que a formação do cerne pode estar condicionada a diversos fatores, dentre eles a espécie, idade, qualidade do sítio e o clima.

Com relação à composição imediata do carvão, Sturion et al. (1988) observou que o rendimento de carvão vegetal e o teor de carbono fixo do carvão não se alteraram com a mudança da idade de corte.

Informações sobre a influência da idade no poder calorífico e análise imediata da madeira não foram encontradas na literatura, o que evidencia a necessidade do presente estudo.

3.2.2 Características gerais das espécies estudadas

***Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg.**

Família: Leguminosae- Mimosoideae

Ocorre nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, principalmente no cerrado (LORENZI, 1992). O Angico-Branco é uma espécie heliófita e pioneira (LORENZI, 1992). Para Durigan (2004) a considerada de rápido crescimento.

Sua madeira é muito pesada (0,93 g/cm³). Apresenta ótima qualidade de lenha e carvão (LORENZI, 1992).

***Myracrodruon urundeuva* Allemão**

Família: Anacardiaceae

A Aroeira estende-se de estados do Nordeste, particularmente, Ceará, até a Argentina. Ocorre também na região Centro-oeste do país e na pré-Amazônia (NOGUEIRA et al., 1982).

Árvore de grande porte, espécie heliófila (NOGUEIRA, 1982). A Aroeira apresenta crescimento lento a moderado (DURIGAN et al., 2004). A madeira da Aroeira é muito densa (1,00 a 1,21 g/cm³), a 15% de umidade (MAINIERI; CHIMELO, 1989; LORENZI, 1992). Nogueira (1977), Andrade et al. (1998) e Paula (1982) fazem menção à boa qualidade da lenha e do carvão que a espécie produz. O poder calorífico da madeira é de 4.582 Kcal/kg (SILVA et al., 1983).

3.3 Material e métodos

A pesquisa foi desenvolvida a partir de plantios que foram estabelecidos como parte de ações de recuperação de áreas florestais na região de Assis, SP, em locais em que o Instituto Florestal do Estado de São Paulo desenvolveu equações alométricas para quantificação de biomassa e carbono (MELO et al., 2008). No caso específico, utilizou-se de espécies com idades de 6, 8, 36 e 37 anos.

Foram utilizadas amostras provenientes de 2 espécies florestais plantadas, coletadas em três experimentos localizados na região de Assis, na Estação Experimental de Assis, na Fazenda Canatuba e na Fazenda Canaã. A tabela 3.1 apresenta a relação das espécies estudadas com os números de árvores amostradas, idade, espaçamento de plantio e local de coleta por espécie.

Tabela 3.1 - Números de árvores amostradas, idade, espaçamento de plantio e local de coleta por espécie

Espécie	Número de árvores	Idade	Arranjo de plantio	Local
<i>Anadenanthera falcata</i>	4	6	3 x 2m	Estação Experimental de Assis
	4	36	2 x 2m	Estação Experimental de Assis
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	3	8	3 x 2m	Faz. Canatuba
	3	37	2 x 2m	Estação Experimental de Assis

3.3.1 Seleção de árvores, de áreas e de espécies

A amostragem das árvores foi feita pelo Instituto Florestal do Estado de São Paulo, tendo sido definidas para o estudo duas faixas de idade distintas, quais sejam: entre 6 e 8 anos e entre 36 e 37 anos. Em função da disponibilidade do material foram coletadas quatro árvores por faixa de idade da *Anadenanthera falcata* (Angico-branco) e três árvores por faixa de idade para *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira).

3.3.2 Características dos locais de coleta

Com base no sistema Köppen, o clima da região de Assis é do tipo Cwa, em que a temperatura média do mês mais quente é 23° C e o mês mais frio é inferior a 18° C. A estação mais seca ocorre entre os meses de abril a setembro. Essa informação se aplica em todos os locais de coleta, quais sejam:

- Estação Experimental de Assis, localizada nas coordenadas 22°35' S e 50°25' W de Greenwich. O solo local é um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, muito profundo, com horizonte A fraco e horizonte B latossólico, muito poroso, bastante permeável, bem drenado, ácido e de baixa fertilidade.

- Fazenda Canatuba, localizada nas coordenadas 22°43' S e 50°25' W de Greenwich. O solo é uma associação de Latossolo Vermelho e Nitossolo Vermelho, ambos Eutróficos.

3.3.3 Procedimento de campo e de laboratório

3.3.3.1 Abate e corte dos discos

O abate das árvores foi executado entre os meses de setembro a dezembro de 2006. Em seguida, foram colhidas três discos com 3 cm de espessura, tomadas na base (junto ao colo da árvore), a 50% da altura e no topo do tronco.

3.3.3.2 Caracterização da madeira para fins energéticos

Os três discos de madeira provenientes de cada árvore, desprovidos de casca, foram utilizados para caracterizar a madeira com vista a utilização energética. Esse material foi encaminhado ao Laboratório de Química, Celulose e Energia (LQCE) do Departamento de Ciências Florestais ESALQ/USP, para realização das análises.

A partir dos discos das três posições de altura no tronco, constituiu-se uma amostra composta, parte da qual foi moída na fração 40 mesh para a realização dos testes de análise imediata, poder calorífico superior, teor de lignina e extrativos totais. Para a determinação da densidade básica foram retiradas cunhas de cada disco obtido coletado.

As seguintes análises foram realizadas:

a) Determinação da densidade básica

A densidade básica foi determinada pelo método da balança hidrostática, segundo a norma ABCP M 14/70.

b) Análise imediata

A análise imediata foi realizada segundo a norma NBR 8112 (ABNT, 1986).

c) Poder calorífico superior

O poder calorífico superior foi realizado utilizando uma bomba calorimétrica modelo Ika C2000, a sua determinação foi orientada pela norma DIN 51900.

d) Determinação do teor de lignina e de extrativos totais

Os teores de extrativos totais foram determinados segundo a norma ABCP M3/69; os de lignina segundo a norma ABCP M 10/71.

3.4 Resultados e discussão

Os resultados obtidos para *Anadenanthera falcata* (Angico-branco) e *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira) estão apresentados na tabela 3.2, 3.3 e nos anexos D e E, e ilustrados nas figuras de 3.1 a 3.14, compreendendo as diferentes idades estudadas.

Tabela 3.2 – Resultados das características da madeira de *Anadenanthera falcata*

Propriedades	6 anos	CV (%)	36 anos	CV (%)
Densidade Básica g/cm ³	0,55 ^{a**}	3,5	0,69 ^b	3,7
Poder Calorífico Superior kcal/kg	4.744 ^{a**}	0,4	4.916 ^b	1,1
Materiais Voláteis %	79,6 ^{a*}	2,5	76,5 ^a	3,1
Carbono Fixo %	19,6 ^{a*}	8,9	23,0 ^b	9,9
Teor de Cinzas %	0,90 ^{a*}	31,2	0,51 ^b	28,6
Teor de Extrativos Totais %	16,4 ^{a*}	24,3	19,2 ^a	12,6
Teor de Lignina %	23,1 ^{a*}	7,3	26,4 ^b	7,2

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

** Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 99% de probabilidade.

Tabela 3.3 - Resultados das características da madeira de *Myracrodruon urundeuva*

Propriedades	8 anos	CV (%)	37 anos	CV (%)
Densidade Básica g/cm ³	0,75 ^{a**}	2,7	0,88 ^b	5,4
Poder Calorífico Superior kcal/kg	4.590 ^{a**}	1,5	4.811 ^b	1,8
Materiais Voláteis %	83,3 ^{a*}	2,1	80,0 ^b	1,3
Carbono Fixo %	15,3 ^{a**}	7,9	19,2 ^b	5,6
Teor de Cinzas %	1,41 ^{a*}	43,6	0,86 ^a	8,9
Teor de Extrativos Totais %	8,1 ^{a**}	22,5	22,4 ^b	20,1
Teor de Lignina %	19,9 ^{a*}	6,1	23,1 ^a	19,4

* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

** Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, segundo teste de Tukey, ao nível de 99% de probabilidade.

Como pode ser observado, a maioria das características analisadas sofreram influência da idade. Primeiramente, os resultados de densidade básica se mostraram positivamente relacionados com a idade da árvore, considerando-se as duas espécies, o que vai ao encontro de resultados já citados na revisão bibliográfica.

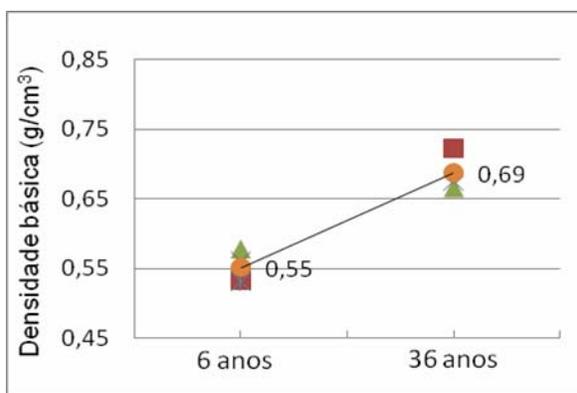


Figura 3.1 – Variação de densidade básica para *Anadenanthera falcata*

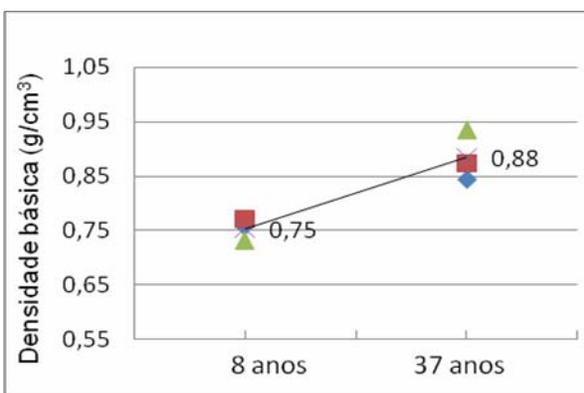


Figura 3.2 – Variação de densidade básica para *Myracrodruon urundeuva*

Comparando-se ainda os resultados de densidade básica com os mencionados na literatura, conforme a tabela 3.4, observa-se que as idades entre 6 a 8 anos são

menores. No entanto, aqueles obtidos para as madeiras entre 36 e 37 anos mais se aproximam aos da literatura, o que sugere que os dados coletados pelos autores deveriam ser de madeiras com idades mais avançadas, o que corresponderia a visão de uso para processamento em serrarias.

Tabela 3.4 - Comparação entre valores de densidade básica obtidos para madeiras estudadas e os mencionados na literatura

Espécie	Densidade básica (g/cm ³)		
	6 e 8 anos (dados da pesquisa)	36 e 37anos (dados da pesquisa)	Dado da literatura (Fonte)
<i>Anadenanthera falcata</i>	0,55	0,69	0,93 (LORENZI, 1992)
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,75	0,88	1,00 a 1,21 (MAINIERI; CHIMELO, 1989; LORENZI, 1992)

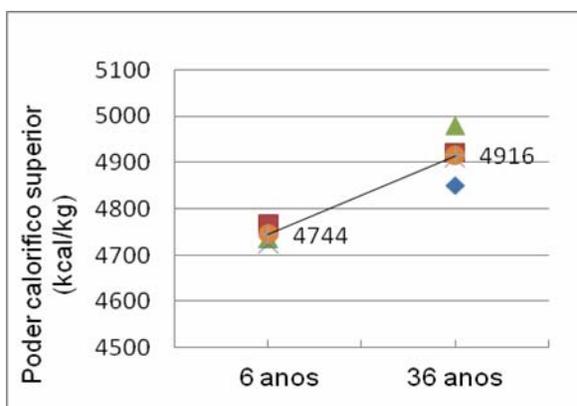


Figura 3.3 – Variação de poder calorífico superior para *Anadenanthera falcata*

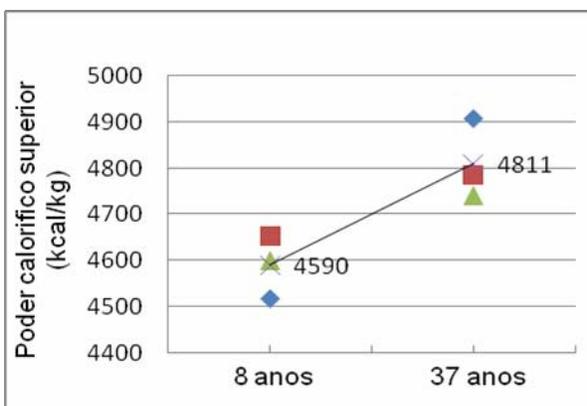


Figura 3.4 - Variação de poder calorífico superior para *Myracrodruon urundeuva*.

O poder calorífico superior também se correlacionou positivamente com a idade, indicando que árvores mais velhas possuem mais energia por unidade massa.

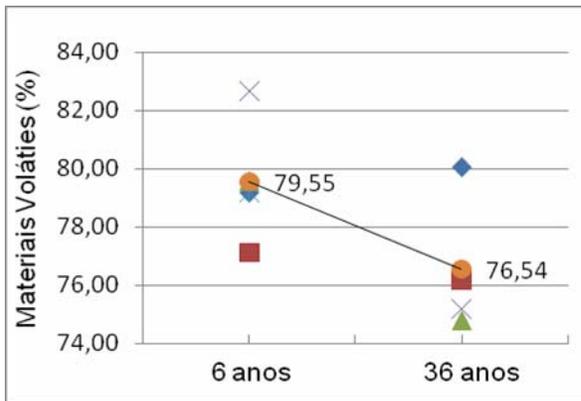


Figura 3.5 – Variação do teor de materiais voláteis para *Anadenanthera falcata*

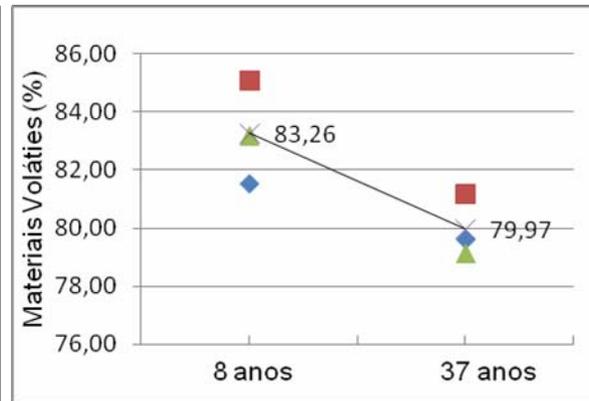


Figura 3.6 – Variação do teor de materiais voláteis para *Myracrodruon urundeuva*.

A análise imediata desses materiais indicou que há uma tendência de aumento da quantidade de madeira que se queima na forma sólida (carbono fixo) e diminuição da quantidade que se queima na forma gasosa (materiais voláteis) com o envelhecimento da árvore, embora o resultado de materiais voláteis não tenha apresentado significativa diferença para *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco).

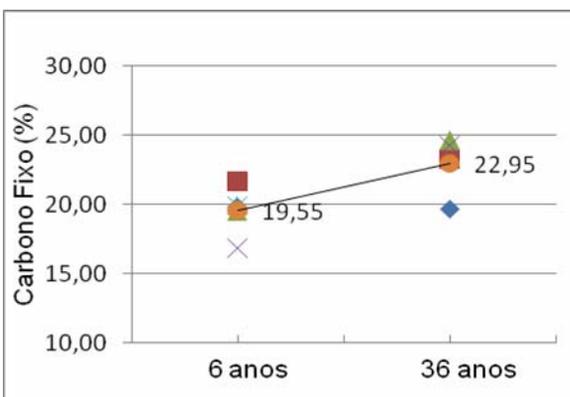


Figura 3.7 – Variação do teor de carbono fixo para *Anadenanthera falcata*

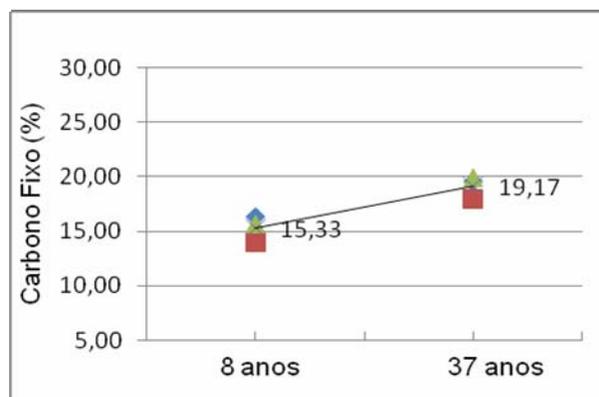


Figura 3.8 – Variação do teor de carbono fixo para *Myracrodruon urundeuva*

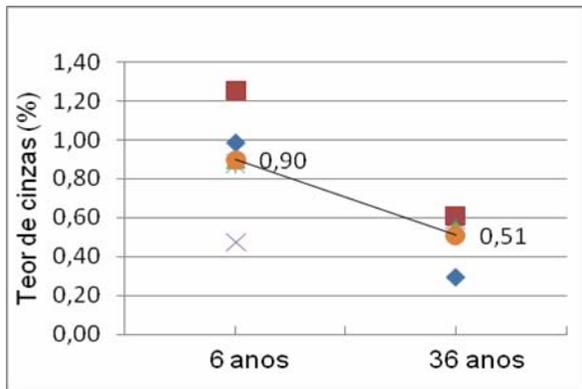


Figura 3.9 – Variação do teor de cinzas para *Anadenanthera falcata*

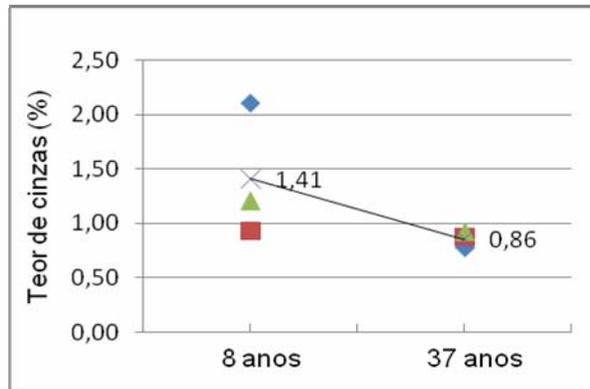


Figura 3.10 – Variação do teor de cinzas para e *Myracrodruon urundeuva*

O teor de cinzas apresentou uma leve tendência de diminuição com a idade, porém para a espécie *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira) essa tendência não se apresentou estatisticamente significativa. A grande variação desse teor entre as árvores analisadas tornou difícil a conclusão sobre a influência da idade sobre essa propriedade.

O teor de extrativos totais apresentou relação positiva com o aumento de idade, porém foi mais clara e significativa apenas para a espécie *Myracrodruon urundeuva* (Aroeira). Essa tendência converge com os resultados já citados na revisão bibliográfica, além de evidenciar que madeiras mais maduras tendem a acumular extrativos, devido ao processo de formação do cerne.

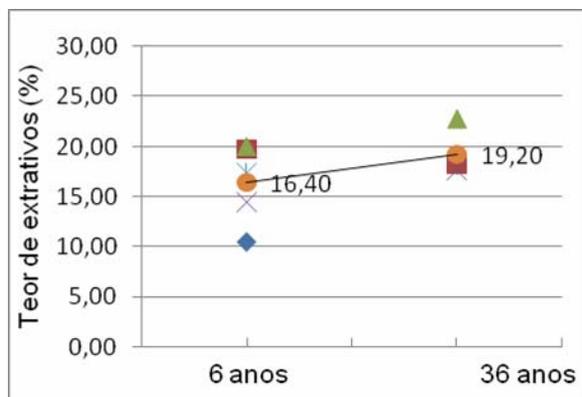


Figura 3.11 – Variação do teor de extrativos totais para *Anadenanthera falcata*

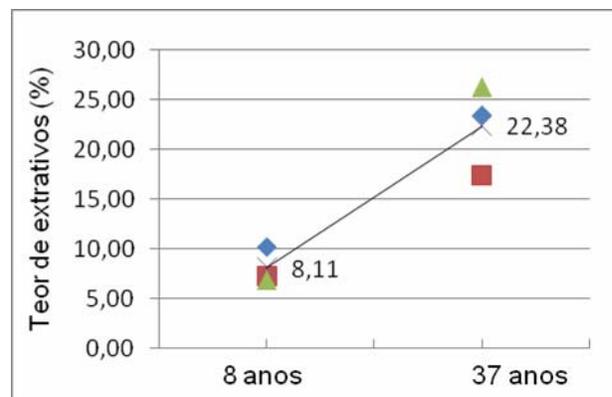


Figura 3.12 – Variação do teor de extrativos totais para *Myracrodruon urundeuva*

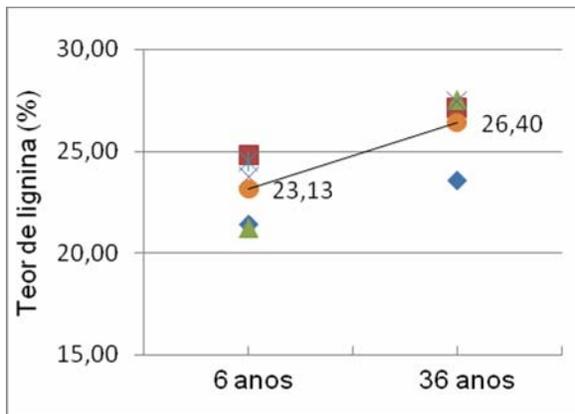


Figura 3.13 – Variação do teor de lignina para *Anadenanthera falcata*

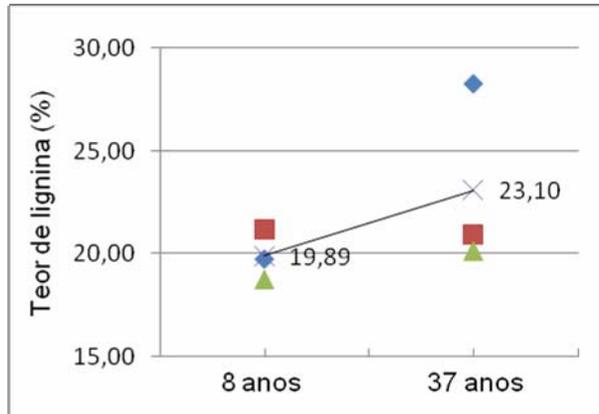


Figura 3.14 – Variação do teor de lignina para *Myracrodruon urundeuva*

O teor de lignina apresentou tendência significativa de crescimento com o aumento de idade apenas para *Anadenanthera falcata* (Angico-Branco), o que corresponde ao mencionado por que Silva et al. (2005). Porém, esse resultado contradiz a tendências de diminuição desse teor em relação à idade para *Eucalyptus grandis*, observado por Trugilho et al. (1996).

Algumas características da madeira de árvores adultas se mostraram favoráveis quando se almeja o uso energético da madeira, como a densidade básica, o poder calorífico, teor de carbono fixo e o teor de lignina. Porém com a crescente necessidade de redução do tempo de produção de biomassa, isso se torna uma característica desfavorável.

As variações ocorridas entre as árvores dentro da mesma faixa de idade também merecem ser destacadas, especialmente as observadas nos teores de cinzas, extrativos e lignina, as quais apresentaram as maiores amplitudes. Vale comentar também que estas devem estar relacionadas às características ambientais e genéticas, já que se tratam das mesmas idades.

3.5 Conclusões

A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que:

- a) Todas as características da madeira analisadas sofreram influência da idade, para pelo menos uma das espécies;
- b) As propriedades que se relacionaram positivamente com o aumento da idade foram a densidade básica, o poder calorífico, o carbono fixo, o teor de extrativos totais e o teor de lignina, enquanto que o teor de materiais voláteis e de cinzas tiveram influência negativa desse fator.

Referências

ANDRADE, A.M.; CARVALHO, L.M. Potencialidades energéticas de oito espécies florestais do estado do Rio de Janeiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 5, n. 1, p. 24-42, jan./dez.1998.

ANDRADE, A.S. de. **Qualidade da madeira, celulose e papel em *Pinus taeda* L.:** influência da idade e classe de produtividade. 2006. 107 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas de ensaio**. São Paulo, 1986. Não paginado.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**. Rio de Janeiro, 1986. Não paginado.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2008:** ano base 2007: resultados preliminares. Rio de Janeiro, 2008. 25 p.

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

DEUTSCHES INSTITUTE FÜR NORMUNG; V. DIN 51900. **Testing of solid and liquid fuels - Determination of gross calorific value by the bomb calorimeter and calculation of net calorific value:** method using isothermal water Jacket: Beuth Verlag GmbH, 2005. 20 p.

FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* nas idades de 11, 12, 13, 14 e 16 anos. **IPEF**, Piracicaba, n. 4, p. 65-89, 1972.

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. **Proceedings...** Launceston: IUFRO. 2000. p. 282-291.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 382 p.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J.P. **Fichas de características das madeiras brasileiras**. São Paulo: IPT, 1989. 418 p.

NOGUEIRA, J.C.B.; SIQUEIRA, A.C.M.F.; MORAIS, E.; COELHO, L.C.C.; MARIANO, G.; KAGEYAMA, P.Y.; ZANATTO, A.C.S.; FIGLIOLIA, M.B. Conservação genética de essências nativas através de ensaios de progênie e procedência. **Silvicultura em São Paulo**, São Paulo, v. 16A, n. 2, p. 957-969, 1982.

OLIVEIRA, F.L. de; LIMA I.L. de; GARCIA J.N.; FLORSHEIM S.M.B. Propriedades da madeira de *Pinus taeda* L. em função da idade e da posição radial na tora. **Revista do Instituto Florestal**, São Paulo, v. 18, n. único, p. 59-70, dez. 2006.

REZENDE, M.A.; FERRAZ, E.S.B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, n. 30, p. 37-41, 1985.

SEVERO, E.T.D.; CALONEGO, F.W.E.; SANSÍGOLO, C.A. composição química da madeira de *Eucalyptus citriodora* em função das direcções estruturais. **Silva Lusitana**, Lisboa, v. 14, n. 1, p. 113–126, 2006.

SILVA, J.C.; MATOS, J.L. M. de; OLIVEIRA, J.T.S.; EVANGELISTA, W.V. Influência da idade e da posição ao longo do tronco na composição química da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 3, p. 455-460, 2005.

SILVA, J.C.; TOMAZELLO FILHO M.; OLIVEIRA, J.T.S.; CASTRO V.R. de. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* hill ex. maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1081-1090, 2007

SILVA, J.C.; OLIVEIRA, J.T.S.; TOMAZELLO FILHO, M.; KEINERT, S. Jr; MATOS J.L.M. de. Influência da idade e da posição radial na massa específica da madeira de *eucalyptus grandis* hill ex. maiden. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 1, p. 13-22, jan./abr. 2004.

SILVA, L.B.X.; REICHMANN, F.; TOMASELLI, I. Estudo comparativo da produção de biomassa para energia entre 23 espécies florestais. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 872-878, 1983.

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, dez. 1988.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, Piracicaba, v. 29, p. 37-45, 1985.

TREVISAN, R.; HASELEIN, C.R.; MELO, R.R. de; STANGERLIN, D.M.; BELTRAME, R.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L. Variação radial da massa específica básica da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 553-559, jul./set. 2008.

TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; MENDES L.M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

_____. **Influência da idade nas características do eucalipto**. Disponível em: <http://www.remade.com.br/pt/revista_materia.php> Acesso em: 20 set. 2008

VALE, A.T.; BRASIL, M.A.M.; LEÃO, A.L. Qualificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VITAL, B.V.; ALMEIDA, J. de; 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**, Piracicaba, n. 47, p. 22-28, maio 1994.

WEHR, T.R. **Variação nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimentos Kraft**. 1991. 84 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

ANEXOS

ANEXO A – Número da árvore amostrada (Arv.), Idade, Massa seca (PS), Produção volumétrica (PV), Produtividade (Pd) e Incremento Médio anual (IMA) das espécies estudadas

Espécie	Arv.	Idade	MS (kg)	PV (m ³)	Pd (m ³ /ha)	IMA (m ³ /ha.ano ⁻¹)
<i>Acacia polyphyla</i>	1	8	29,2	0,047	77,9	9,7
	2	8	86,0	0,107	178,9	22,4
<i>Anadenanthera falcata</i>	1	6	2,9	0,005	8,7	1,4
	2	6	3,6	0,007	11,2	1,9
	3	6	2,2	0,004	6,4	1,1
	4	6	33,3	0,059	98,8	16,5
	5	6	4,9	0,009	15,2	2,5
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	1	8	220,7	0,312	519,2	64,9
	2	8	16,4	0,031	51,0	6,4
	3	7	30,3	0,042	69,9	10,0
<i>Croton floribundus</i>	1	6	3,3	0,006	10,1	1,7
	2	6	20,0	0,041	68,8	11,5
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	1	8	52,1	0,138	229,1	28,6
	2	8	39,2	0,095	158,0	19,8
	3	8	180,1	0,456	759,9	95,0
	4	7	17,6	0,036	59,3	8,5
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	1	8	166,8	0,385	641,5	80,2
	2	8	127,8	0,424	514,8	64,4
	3	8	92,2	0,350	422,5	52,8
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	1	7	21,7	0,066	110,6	15,8
	2	7	42,2	0,154	257,3	36,8
	3	7	42,2	0,121	201,8	28,8
<i>Inga uruguensis</i>	1	8	4,6	0,011	17,9	2,2
	2	8	27,5	0,060	100,5	12,6
	3	8	16,5	0,039	65,3	8,2
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1	8	8,0	0,009	17,6	2,2
	2	8	12,3	0,016	26,6	3,3
	3	8	18,0	0,025	41,0	5,1
<i>Peltophorum dubium</i>	1	7	18,9	0,037	62,3	8,9
	2	7	17,6	0,033	54,5	7,8
	3	7	9,1	0,019	32,4	4,6
	4	7	27,2	0,052	86,3	12,3
	5	7	11,6	0,029	47,5	6,8
<i>Terminalia glabrescens</i>	1	6	7,5	0,011	19,0	3,2
	2	6	9,8	0,016	26,6	4,4
<i>Zanthoxylum sp.</i>	1	7	23,6	0,037	61,5	8,8
	2	7	23,9	0,041	67,8	9,7
	3	7	10,5	0,015	25,6	3,7

ANEXO B – Resultados de Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), Materiais voláteis (MV), Carbono fixo (CF), Teor de cinzas (CZ), Teor de extrativos (E) e teor de lignina (L) das espécies estudadas

Espécie	Db g/cm³	PCS kcal/kg	MV %	CF %	CZ %	E %	L %
<i>Acacia polyphyla</i>	0,624	4.640	82,50	16,04	1,46	8,58	24,75
	0,801	4.585	82,86	15,41	1,74	9,11	21,33
<i>Anadenanthera falcata</i>	0,553	4.756	79,18	19,83	0,99	10,51	21,42
	0,533	4.767	77,10	21,65	1,25	19,71	24,78
	0,577	4.736	79,58	19,52	0,90	20,00	21,23
	0,561	4.724	82,69	16,83	0,47	14,42	23,73
	0,531	4.739	79,18	19,94	0,88	17,34	24,48
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	0,708	4.672	81,97	16,95	1,08	7,40	22,28
	0,536	4.695	80,49	18,28	1,24	13,94	20,88
	0,721	4.629	77,88	16,33	1,08	12,76	24,35
<i>Croton floribundus</i>	0,546	4.778	82,03	17,18	0,78	8,47	25,58
	0,485	4.752	82,08	16,18	1,74	7,16	28,28
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	0,379	4.522	82,99	15,56	1,45	14,77	19,63
	0,414	4.548	80,75	17,03	2,22	13,63	28,52
	0,395	4.667	78,25	19,66	2,09	12,97	23,57
	0,493	4.594	79,87	17,74	2,40	13,77	24,85
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	0,433	4.747	82,23	17,17	0,60	16,18	20,47
	0,414	4.764	83,51	15,38	1,11	11,56	22,77
	0,364	4.749	79,80	19,28	0,92	15,88	20,22
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	0,327	4.486	78,36	17,15	4,49	13,65	18,18
	0,273	4.520	81,37	15,77	2,86	9,42	19,27
	0,348	4.528	81,49	15,39	3,11	11,07	18,82
<i>Inga uruguensis</i>	0,429	4.740	81,58	16,93	1,49	5,91	23,67
	0,455	4.805	82,81	16,27	0,93	4,71	27,70
	0,422	4.725	80,68	16,76	2,56	13,92	29,17
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	0,757	4.518	81,54	16,36	2,11	10,20	19,75
	0,770	4.653	85,09	13,99	0,93	7,26	21,17
	0,731	4.600	83,16	15,64	1,21	6,87	18,75
<i>Peltophorum dubium</i>	0,505	4.783	81,72	17,16	1,13	10,18	25,12
	0,536	4.780	82,27	16,63	1,11	9,42	25,78
	0,466	4.709	82,96	15,96	1,07	8,80	24,13
	0,525	4.791	84,87	14,42	0,71	8,38	19,98
	0,406	4.780	83,02	15,73	1,25	9,21	22,85
<i>Terminalia glabrescens</i>	0,654	4.666	81,77	17,64	0,59	11,98	25,65
	0,614	4.706	88,09	11,58	0,33	13,39	26,90
<i>Zanthoxylum sp.</i>	0,638	4.728	83,51	14,90	1,59	6,46	21,60
	0,588	4.689	84,33	14,57	1,10	7,40	23,33
	0,683	4.689	86,31	13,64	0,04	5,53	19,50

ANEXO C – Número da árvore amostrada (Arv.), Idade, Produção energética (PE), Produtividade energética (PV) e Incremento energético médio anual (IEMA)

Espécie	Arv.	Idade	PE (Gcal)	Pd (Gcal/ha)	IEMA (Gcal/ha.ano ⁻¹)
<i>Acacia polyphyla</i>	1	8	0,14	225,6	28,2
	2	8	0,39	657,0	82,1
<i>Anadenanthera falcata</i>	1	6	0,01	22,8	3,8
	2	6	0,02	28,4	4,7
	3	6	0,01	17,5	2,9
	4	6	0,16	262,0	43,7
	5	6	0,02	38,4	6,4
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	1	8	1,03	1718,1	214,8
	2	8	0,08	128,4	16,0
	3	7	0,14	233,3	33,3
<i>Croton floribundus</i>	1	6	0,02	26,3	4,4
	2	6	0,10	158,5	26,4
<i>Cytharexylum myrianthum</i>	1	8	0,24	392,5	49,1
	2	8	0,18	297,3	37,2
	3	8	0,84	1400,3	175,0
	4	7	0,08	134,4	19,2
<i>Enteroplobium contortisiliquum</i>	1	8	0,79	1319,5	164,9
	2	8	0,61	1014,7	126,8
	3	8	0,44	729,5	91,2
<i>Heliocarpus popayanensis</i>	1	7	0,10	162,2	23,2
	2	7	0,19	317,6	45,4
	3	7	0,19	318,3	45,5
<i>Inga uruguensis</i>	1	8	0,02	36,5	4,6
	2	8	0,13	219,9	27,5
	3	8	0,08	130,1	16,3
<i>Myracrodruon urundeuva</i>	1	8	0,04	60,2	7,5
	2	8	0,06	95,2	11,9
	3	8	0,08	137,8	17,2
<i>Peltophorum dubium</i>	1	7	0,09	150,5	21,5
	2	7	0,08	139,8	20,0
	3	7	0,04	71,1	10,2
	4	7	0,13	217,3	31,0
	5	7	0,06	92,2	13,2
<i>Terminalia glabrescens</i>	1	6	0,03	58,1	9,7
	2	6	0,05	76,8	12,8
<i>Zanthoxylum sp.</i>	1	7	0,11	185,7	26,5
	2	7	0,11	187,0	26,7
	3	7	0,05	82,1	11,7

ANEXO D – Número da árvore amostrada (Arv.), Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), Materiais voláteis (MV), Carbono fixo (CF), Teor de cinzas (CZ), Teor de extrativos (E) e teor de lignina (L) da espécie *Anadenanthera falcata*

Propriedades	Arv.	6 anos	36 anos
	1	0,533	0,68
Densidade Básica g/cm ³	2	0,577	0,72
	3	0,561	0,67
	4	0,531	0,68
Poder Calorífico Superior kcal/kg	1	4756	4852
	2	4767	4921
	3	4736	4981
	4	4724	4911
Materiais Voláteis %	1	79,18	80,04
	2	77,10	76,15
	3	79,58	74,80
	4	82,69	75,18
Carbono Fixo %	1	19,83	19,66
	2	21,65	23,24
	3	19,52	24,66
	4	16,83	24,24
Teor de Cinzas %	1	0,99	0,29
	2	1,25	0,61
	3	0,90	0,55
	4	0,47	0,59
Teor de Extrativos Totais %	1	10,51	18,145
	2	19,71	18,180
	3	20,00	22,810
	4	14,42	17,680
Teor de Lignina %	1	21,42	23,55
	2	24,78	27,12
	3	21,23	27,52
	4	23,73	27,42

ANEXO E – Número da árvore amostrada (Arv.), Densidade básica (Db), Poder calorífico superior (PCS), Materiais voláteis (MV), Carbono fixo (CF), Teor de cinzas (CZ), Teor de extrativos (E) e teor de lignina (L) da espécie *Myracrodruon urundeuva*

Propriedades	Arv.	8 anos	37 anos
Densidade Básica g/cm ³	1	0,757	0,843
	2	0,770	0,873
	3	0,731	0,936
Poder Calorífico Superior kcal/kg	1	4518	4908
	2	4653	4786
	3	4600	4740
Materiais Voláteis %	1	81,54	79,62
	2	85,09	81,17
	3	83,16	79,12
Carbono Fixo %	1	16,36	19,61
	2	13,99	17,95
	3	15,64	19,96
Teor de Cinzas %	1	2,11	0,77
	2	0,93	0,87
	3	1,21	0,92
Teor de Extrativos Totais %	1	10,20	23,41
	2	7,26	17,46
	3	6,87	26,26
Teor de Lignina %	1	19,75	28,25
	2	21,17	20,92
	3	18,75	20,13