

## QUANTIFICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA DA MADEIRA E CASCA DE ESPÉCIES DO CERRADO

### ENERGETIC QUANTIFICATION AND CHARACTERIZATION OF WOOD AND BARK OF SPECIES OF "CERRADO"

Ailton Teixeira do Vale<sup>1</sup> Maria Aparecida Mourão Brasil<sup>2</sup> Alcides Lopes Leão<sup>3</sup>

#### RESUMO

Em uma faixa de cerrado *sensu stricto*, de 63,56 ha, da Fazenda Água Limpa, de propriedade da Universidade de Brasília-DF, foram delimitadas dez parcelas de 20 x 50 m cada nas quais se identificaram e mediram as alturas totais e o diâmetro, tomado a 30 cm de altura do solo, de todas as árvores com diâmetro igual ou superior a 5cm. Foram sorteadas para serem derrubadas e pesadas, no máximo três (3) indivíduos por espécie e por classe de diâmetro, em sete classes diamétricas pré-estabelecidas (5-9; 9-13..., 29-33 cm). Em cada indivíduo, foram coletadas seções transversais a zero (base), 25, 50, 75 e 100% (topo) da altura do tronco, partindo da base, embaladas em sacos plásticos e levadas para laboratório, para obtenção da massa específica básica, do poder calorífico superior e dos teores de cinzas, materiais voláteis e carbono fixo da madeira e da casca. Foram identificadas 47 espécies. A biomassa seca do povoamento apresentou 71% de madeira e 29% de casca, sendo a árvore formada, em média, de 53% de ramos e 47% de tronco. A produção média de biomassa seca total para a área foi de 12,38 t/ha, com variações individuais de 0,44 kg/ha (*Symplocos rhamnifolia*, com um indivíduo/ha) a 2.886,04 kg/ha (*Sclerolobium paniculatum*, com 46 indivíduos/ha). A produção média por árvore foi de 18,39 kg. A massa específica básica da madeira variou de 0,20 g/cm<sup>3</sup> a 0,78 g/cm<sup>3</sup> e a da casca de 0,17 g/cm<sup>3</sup> a 0,67 g/cm<sup>3</sup>. O poder calorífico superior variou de 4.516 kcal/kg a 4.989 kcal/kg, com média de 4.763 kcal/kg, enquanto o da casca variou de 4.187 kcal/kg a 5.738 kcal/kg. O teor de carbono fixo médio foi de 20,73% para a madeira e de 25,19% para a casca. *Vochysia thyoidea* destacou-se pela grande produção energética (392,49 Mcal/árvore, 20 árvores/ha e 7.849,80 Mcal/ha) em função da alta produção de biomassa tanto individual quanto por área, porém com características físicas da madeira inferiores (massa específica baixa - 0,49 g/cm<sup>3</sup> e poder calorífico abaixo da média para a área - 4.713 kcal/kg). *Acosmium dasyrgarum* por sua vez apresentou boas características da madeira (alto poder calorífico - 4.989 kcal/kg, alta massa específica - 0,74 g/cm<sup>3</sup>), mas com baixa produção energética (76,03 Mcal/árvore, 1 árvore/ha e 76,03 Mcal/ha) em função da baixa produção de biomassa. Houve, no entanto, espécies com boas características da madeira e com alta produção de biomassa, individual e/ou por área. São elas: *Sclerolobium paniculatum* (305,72 Mcal/árvore, 46 árvores/ha, 14.063,12 Mcal/ha, 0,72 g/cm<sup>3</sup> e 4849 kcal/kg), *Dalbergia miscolobium* (80,26 Mcal/árvore, 84 árvores/ha, 6.741,84 Mcal/ha, 0,77 g/cm<sup>3</sup> e 4896 kcal/kg) e *Pterodon pubescens* (473,69 Mcal/árvore, 14 árvores/ha, 6.631,66 Mcal/ha, 0,73 g/cm<sup>3</sup> e 4953 kcal/kg). Essas espécies foram responsáveis por 45,85% de toda energia disponibilizada na forma de calor, ou seja, 27.437 Mcal/ha.

**Palavras-chave:** produção de energia, biomassa, cerrado.

#### ABSTRACT

The purpose of this work was to study the production of energy in an area of *sensu stricto* cerrado located on the Água Limpa Farm, University of Brasilia - Brazil. Aerial biomass and the characteristics of the wood and bark of the species found in the total area of 63.56 ha were determined. In ten 20 m x 50 m plots, the total height and diameter, of all the trees whose diameters were either equal to or greater than 5 cm, at 30 cm from the ground, were measured. Seven diameter classes were pre-determined. Then, three

1. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Florestal, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, CEP 70910-900, Brasília (DF). atvale@unb.br
2. Engenheira Agrônoma, Dr<sup>a</sup>, Professora Titular aposentada do Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, CEP 18603-970, Botucatu (SP). mambrasil@laser.com.br
3. Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Livre Docente do Departamento de Recursos Naturais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual de São Paulo, CEP 18603-970, Botucatu (SP). alcidesleao@fca.unep.br

trees of each species were cut down at random and classified according to its diameter class. The green biomass of the stem and branches of each species was measured in the field. In laboratory, humidity, the wood/bark ratio, specific gravity, heat combustion, the content of fixed carbon, volatile material and ash of the wood and bark were obtained from cross-sections. It was also possible to estimate the dry mass of the wood and branches per tree, species and hectare as well as the amount of heat generated by this cerrado community. Forty-seven species were identified. The dry biomass of the community comprised 71% of wood and 29% of bark and trees had an average 53% of branches and 47% of stem. The mean production of total dry biomass in the area was 12.38 t/ha. Mean tree production was 18.39 kg. The specific gravity of the wood ranged from 0.2 g/cm<sup>3</sup> to 0.78 g/cm<sup>3</sup>, and the bark from 0.17 g/cm<sup>3</sup> to 0.67 g/cm<sup>3</sup>. The heat combustion of the woods varied from 4,516 kcal/kg to 4,989 kcal/kg, whereas that of the bark ranged from 17,526 kJ/kg to 24,019 kJ/kg. The mean heat combustion of the wood was 19,937 kJ/kg. The mean fixed carbon content was 20.73% in the wood and 25.19% in the bark. *Vochysia thyrsoidea* presented a great energy production (1,643 MJ/tree, 20 trees/ha e 32,859.00 MJ/ha) due to a great biomass production, but with specific gravity low (0.49 g/cm<sup>3</sup>) and heat combustion low (19,728 kJ/kg). *Acosmium dasycarpum* showing wood with good characteristics (heat combustion – 20,883 kJ/kg, specific gravity – 0,74 g/cm<sup>3</sup>) did not outstand in the community due to their energy production (318.26 MJ/tree, 1 tree/ha e 318.26 MJ/ha) because their biomass production was low. Nonetheless, there were species that presented wood with good characteristics and high dry biomass production: *Sclerolobium paniculatum* (1,279 MJ/trees, 46 trees/ha, 58,834 MJ/ha, 0,72 g/cm<sup>3</sup> e 20,298 kJ/kg), *Dalbergia miscolobium* (336 MJ/tree, 84 trees/ha, 28,224 MJ/ha, 0,77 g/cm<sup>3</sup> e 20,495 kJ/kg) e *Pterodon pubescens* (1,983 MJ/tree, 14 trees/ha, 27,760 MJ/ha, 0,73 g/cm<sup>3</sup> e 20,733 kJ/kg).

**Keywords:** energy production, biomass, “cerrado”.

## INTRODUÇÃO

O modelo energético brasileiro tem, no petróleo, uma das principais fontes primárias de energia fóssil, portanto, finito. Por outro lado, o Brasil é um país rico em possibilidades energéticas alternativas, tais como: a energia solar, a eólica, a geotérmica, a das marés e a nuclear que devem ser estudadas e exploradas para suprir a demanda futura de energia. Entre as alternativas renováveis existentes, em relação aos combustíveis fósseis, a biomassa tem despertado maior interesse.

A biomassa, no Brasil, é constituída em grande parte pela madeira, onde o uso se divide em produção de carvão vegetal (carbonização) e consumo direto (combustão). No consumo direto da madeira, como fonte de energia, destaca-se o uso para cocção de alimentos nas residências, principalmente no meio rural. As principais fontes de madeira para suprimento energético encontram-se nas matas nativas, principalmente Cerrado e Mata Atlântica.

O cerrado ocupa praticamente um quarto do território brasileiro, é fonte da lenha nativa para a geração de calor e, talvez, o maior fornecedor de combustível para o cozimento no meio rural o que o situa como um dos biomas de grande importância social.

Pouco se conhece das espécies do cerrado do ponto de vista energético, uma vez que são utilizadas de maneira indiscriminada. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivos quantificar a energia disponível na forma de calor e caracterizar a madeira e a casca de espécies de cerrado que ocorrem no Distrito Federal.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dentre as alternativas estudadas para suprir a demanda energética, a biomassa é o combustível renovável que tem despertado maior interesse. Segundo Grassi e Palz (1994), “a produção sustentada de biomassa, que é a fonte mais versátil de energia renovável, apresenta a possibilidade de prover, de forma permanente, grandes quantidades de combustíveis gasosos, líquidos e eletricidade”.

Segundo Hall (1991), a biomassa representa cerca de 14% da energia consumida no mundo e, em média, 35% do consumo total de países em desenvolvimento.

No Brasil, a biomassa formada pela cana-de-açúcar e pela madeira representou 19,39% de todos os

energéticos primários consumidos em 1999 (Brasil, 2000). Desse total, 9,12% foram compostos pela lenha, ou seja,  $6,9 \times 10^7$  toneladas de madeira foram utilizadas para geração de calor. Do total da lenha consumida,  $2,5 \times 10^7$  toneladas foram em forma indireta, principalmente na fabricação de carvão vegetal, e  $4,4 \times 10^7$  toneladas, em forma direta. Do total consumido em forma direta,  $2,1 \times 10^7$  toneladas foram queimadas em residências, para cocção de alimentos.

É importante observar que não pesa somente o aspecto quantitativo do uso da madeira como energia, mas também o aspecto econômico, ligado à utilização energética pelas indústrias, e, mais importante ainda, o aspecto social, ou seja, a lenha como energético doméstico (Brito e Deglise, 1991), que, segundo Goldemberg (1998), é a fonte de energia dominante nas áreas rurais, e cozinhar é a atividade mais intensiva energeticamente.

No Brasil, a principal fonte de madeira para produção de energia tem sido os ecossistemas naturais, com o cerrado e a mata atlântica ocupando os primeiros lugares. O uso mais intensivo da madeira como energético está concentrado nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste. A diminuição desses biomas e a pressão conservacionista, associadas à necessidade anual de mais madeira para energia, têm levado a uma crescente dificuldade para a obtenção desse recurso com base em florestas nativas (Brito e Deglise, 1991).

Mata (2000) enfatizou a necessidade de estudos sistemáticos sobre a evolução do consumo “que resultem em diagnósticos adequados sobre o uso e a conservação da biomassa energética, em especial de lenha, para muitas comunidades onde, geralmente, se observa enorme esforço associado à obtenção da mesma”.

Arouca (1983), afirma que, em consequência à grande influência que o consumo de lenha acarreta na estrutura de energia no setor residencial, deve-se conhecer melhor o seu consumo, rendimento e conteúdo calórico.

Com estudos que visem a diagnosticar o consumo e, ao mesmo tempo, conhecer o as características da madeira que compõe a biomassa de um povoamento, será possível propor, como sugere Oliveira *et al.* (1998), a busca de alternativas para o uso sustentado da vegetação nativa.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Localização da área de estudo

A coleta de dados de campo foi conduzida em área de vegetação do tipo cerrado *sensu stricto* na Fazenda Água Limpa (FAL), de propriedade da Universidade de Brasília (UnB), Distrito Federal. A FAL está localizada em altitude de 1.100 metros a  $15^{\circ}56'14''S$  e  $47^{\circ}46'08''W$ , tem sido utilizada como fazenda experimental e reserva ecológica e compreende área aproximada de 4.000 ha.

### Os solos

Predominam, na Fazenda Água Limpa, cobrindo aproximadamente 70% da área, o latossolo vermelho-escuro e o latossolo vermelho-amarelo, e ocorrem também em pequena quantidade, cambissolo e solos hidromórficos (EMBRAPA, 1978). Segundo Haridasan (1990), esses solos, em geral, são distróficos e muito ácidos, com elevados níveis de alumínio trocável. Na área da coleta o solo é do tipo latossolo vermelho-escuro (Silva, 1999).

### O clima

Pela classificação de Köppen e de acordo com Nimer (1989) citado por Silva (1999), o clima é do tipo Aw, com temperatura média anual de, aproximadamente,  $20,4^{\circ}C$ , e valores de máxima e mínima de, respectivamente,  $28,5^{\circ}C$  e  $12,0^{\circ}C$ . Segundo o mesmo autor, a média anual de precipitação é de 1.500 mm, com verões úmidos e invernos secos, com início das chuvas em setembro, pequenas ocorrências em junho e agosto, atingindo o máximo em novembro.

### A vegetação

Distribuem-se nos 4.000 ha da Fazenda Água Limpa 28,20% de campo limpo, 4,40% de campos e murunduns, 20,10% de campo sujo, 36,50% de cerrado *sensu stricto*, 0,20% de cerradão e 9,90% de matas de galerias e outras formações incipientes (Furley e Ratter, 1990). A área amostrada faz parte do cerrado *sensu stricto*.

### Amostragem

A área de 63,54 ha foi dividida em parcelas iguais de 20 m x 50 m dentre as quais sortearam-se dez parcelas, totalizando uma amostra de 1,57% da área. Procedimento semelhante foi utilizado por Silva (1990) que amostrou 1,5% da área estudada, para estudos de compartilhamento de nutrientes. Cada parcela foi delimitada e todas as árvores com diâmetro igual ou superior a 5 cm medido a 30 cm de altura do solo foram numeradas e identificadas botanicamente, anotando-se os diâmetros e as alturas totais.

As árvores devidamente identificadas foram distribuídas nas classes de diâmetro de 5-9; 9-13; 13-17; 17-21; 21-25; 25-29 e 29-33cm. Após essa classificação, sortearam-se, ao acaso, três indivíduos por classe diamétrica e por espécie que foram cortados para a pesagem do tronco e dos ramos, separadamente, no campo, e a retirada de amostras da madeira e da casca.

O tronco e os ramos foram pesados separadamente. Ambas as massas foram obtidas com casca. A seguir, foram recolhidas duas amostras de seções transversais (discos) com aproximadamente 2,50 cm de espessura, ao longo do tronco nas posições correspondentes a 0, 25%, 50%, 75% e 100% da altura do tronco. Foi retirada, também, amostra na base de cada ramo. Essas amostras foram encaminhadas para o laboratório onde foi determinada a relação em massa entre a madeira e a casca, em base úmida e também os seus teores de umidade, segundo Vital (1997). Com essa relação foi possível estimar a biomassa de tronco, de ramos e de casca, em base úmida, no campo. Com os valores estimados de biomassa úmida no campo e os teores de umidade obtidos, foi possível estimar a massa seca no campo.

Do disco obtido a 25% da altura do tronco, partindo da base, foi retirada uma amostra em forma de cunha para determinação da massa específica básica, segundo Foelkel *et al.* (1971) e Vital (1984). Na determinação da massa específica básica da casca, utilizou-se uma amostra composta, com base em discos de todas as alturas.

Os discos destinados às análises imediatas e ao poder calorífico foram separados em madeira e casca. Cada fração foi misturada numa amostra composta por espécie. As amostras compostas, após serem moídas, foram classificadas em peneiras, obtendo-se a fração retida entre 40 e 60 mesh que foi utilizada para a determinação do poder calorífico superior, segundo a norma ABNT NBR 8633/84 utilizando-se da bomba calorimétrica PARR 1201, e a fração abaixo de 60 mesh, para a análise imediata, segundo a norma ASTM D-1762/64.

A quantidade disponibilizada de calor para a espécie foi obtida pelo produto da massa seca de madeira com o respectivo poder calorífico para cada espécie. De maneira semelhante, obteve-se a quantidade de calor originada pela casca. A Figura 1 apresenta o organograma das atividades de coleta de dados.

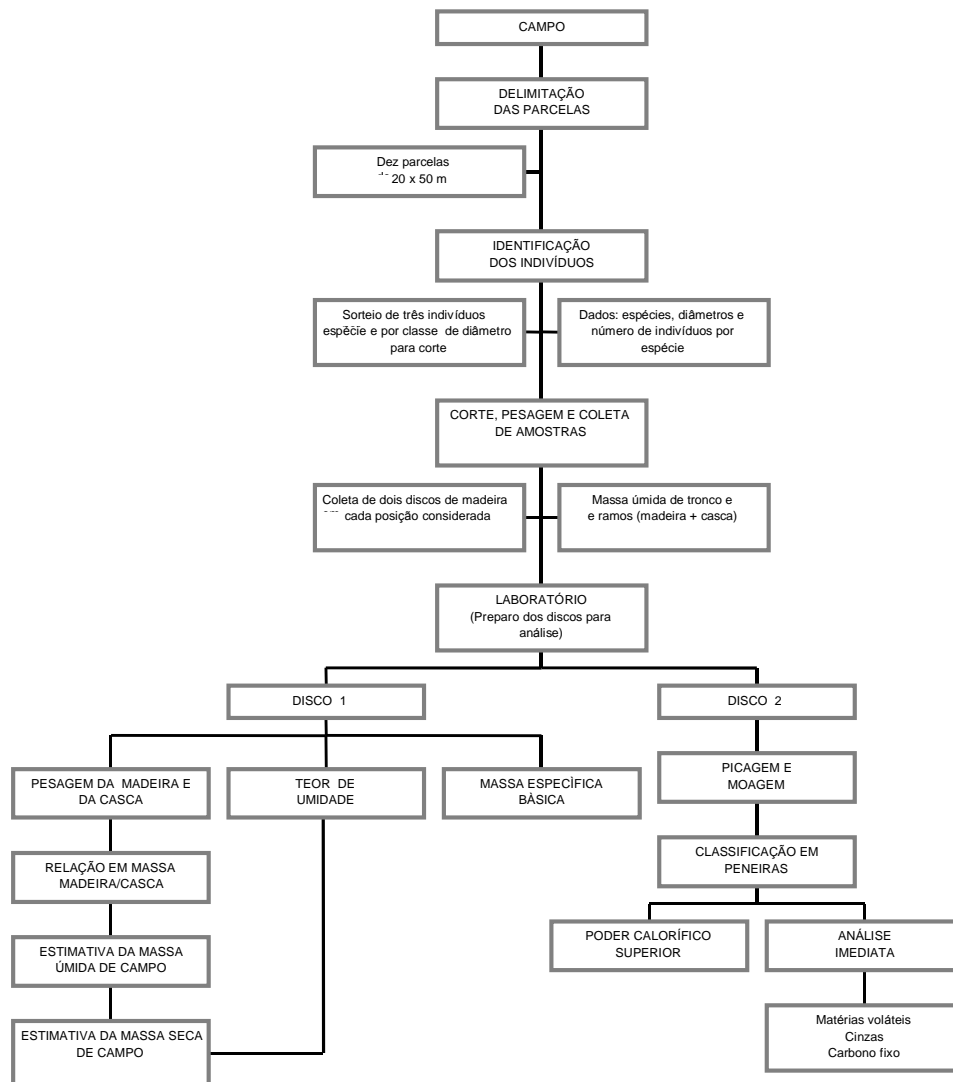


FIGURA 1: Organograma das atividades desenvolvidas durante o trabalho.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de massa seca e quantidade de calor por indivíduo, bem como o número de indivíduos encontrados por hectare e, a Tabela 2, as características das madeiras e cascas das espécies.

### Densidade básica da madeira e da casca

O uso de madeiras com baixa densidade para a produção direta de energia na forma de calor implica em uma queima rápida e numa menor produção de energia por unidade de volume ao contrário de madeiras com maiores densidades. Porém, densidade muito elevada implica em dificuldade de iniciar a queima do material. Para a queima direta na cocção de alimentos sugere-se a faixa intermediária entre madeiras médias e madeiras duras, variando a densidade básica de 0,65 a 0,80 g/cm<sup>3</sup>, esperando, com isso, facilitar o início da queima.

A densidade básica da madeira das espécies do cerrado, como pode ser observado, na Tabela 2, apresenta uma variação de 0,20 g/cm<sup>3</sup> a 0,78 g/cm<sup>3</sup>, enquanto a densidade básica da casca variou de 0,17 g/cm<sup>3</sup> a 0,67 g/cm<sup>3</sup>. Richter e Burger (1991), afirmam que a variação da densidade básica da madeira é de 0,13 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>. O cerrado, em estudo, não apresentou madeiras extremamente duras, tendo apenas

TABELA 1: Número de indivíduos por ha (NI), massa seca média e quantidade de calor médio por indivíduo, para madeira e casca das espécies do cerrado

Espécies	NI	Massa seca			Quantidade de calor			
		kg/árvore			Mcal/árvore			Mcal/ha
		Madeira	Casca	Total	Madeira	Casca	Total	
01- <i>Acosmium dasycarpum</i>	1	10,91	4,25	15,16	54,44	21,59	76,03	76,03
02- <i>Aspidosperma macrocarpon</i>	5	5,58	2,93	8,51	26,94	15,51	42,44	212,2
03- <i>Aspidosperma tomentosum</i>	11	3,60	1,94	5,54	17,51	9,15	26,66	293,26
04- <i>Byrsonima coccolobifolia</i>	2	2,46	1,54	4,00	11,92	7,77	19,69	39,38
05- <i>Byrsonima crassa</i>	11	1,31	0,82	2,13	6,26	3,98	10,24	112,64
06- <i>Byrsonima verbascifolia</i>	4	1,25	0,91	2,16	5,96	4,47	10,43	41,72
07- <i>Blepharocalix salicifolius</i>	12	23,43	11,47	34,90	98,32	51,56	149,88	1798,56
08- <i>Caryocar brasiliense</i>	29	14,54	9,88	24,04	69,25	46,33	115,58	3351,82
09- <i>Connarus suberosus</i>	7	0,46	0,38	0,84	2,21	1,98	4,19	29,33
10- <i>Dalbergia miscolobium</i> )	84	12,03	4,19	16,22	58,91	21,35	80,26	6741,84
11- <i>Dimorphandra mollis</i>	1	6,37	2,72	9,09	31,47	14,09	45,56	45,56
12- <i>Enterolobium gummiferum</i>	1	3,92	1,76	5,68	18,57	9,22	27,79	27,79
13- <i>Eremanthus glomerulatus</i>	16	0,33	0,17	0,51	1,56	0,84	2,41	38,56
14- <i>Eriotheca gracilipes</i>	2	1,98	1,65	3,63	9,04	8,02	17,06	34,12
15- <i>Eriotheca pubescens</i>	10	5,40	4,25	9,65	24,65	21,19	45,84	458,4
16- <i>Erythroxylum deciduum</i>	1	0,46	0,42	0,88	2,13	2,09	4,23	4,23
17- <i>Erythroxylum suberosum</i>	2	0,55	0,51	1,06	2,50	2,56	5,07	10,14
18- <i>Erythroxylum tortuosum</i>	3	0,39	0,59	0,98	1,92	3,04	4,96	14,88
19- <i>Guapira noxia</i>	10	3,34	0,64	3,98	18,16	3,27	21,43	214,3
20- <i>Hymenaea stigonocarpa</i>	3	57,66	42,43	100,09	279,73	203,47	483,19	1449,57
21- <i>Kielmeyera coriacea</i>	21	0,67	0,67	1,34	3,18	3,69	6,87	144,27
22- <i>Kielmeyera speciosa</i>	12	1,55	1,60	3,15	7,57	8,92	16,49	197,88
23- <i>Lafoensia pacari</i>	1	8,29	5,96	14,25	39,69	29,72	69,42	69,42
24- <i>Miconia ferruginata</i>	8	3,19	1,00	4,19	15,24	4,57	19,81	158,48
25- <i>Miconia pohliana</i>	35	2,93	1,50	4,43	13,55	6,88	20,43	715,05
26- <i>Myrsine guianensis</i>	3	0,85	0,69	1,54	4,00	3,53	7,53	22,59
27- <i>Ouratea hexasperma</i>	114	3,23	3,39	6,62	15,91	17,73	33,64	3834,96
28- <i>Palicourea rigida</i>	32	0,66	0,46	1,12	3,10	2,34	5,44	174,08
29- <i>Pouteria ramiflora</i>	8	8,35	4,35	12,70	39,91	22,07	61,97	495,76
30- <i>Piptocarpha rotundifolia</i>	3	1,31	1,03	2,34	6,22	5,11	11,32	33,96
31- <i>Psidium warmingianum</i>	1	1,17	1,54	2,71	5,56	7,59	13,15	13,15
32- <i>Pterodon pubescens</i>	14	76,86	18,91	95,77	380,69	93,01	473,69	6631,66
33- <i>Qualea grandiflora</i>	34	17,75	6,69	24,44	84,07	31,60	115,67	3932,78
34- <i>Qualea multiflora</i>	23	3,88	1,06	4,94	18,34	4,58	22,92	527,16
35- <i>Qualea parviflora</i>	35	14,97	7,01	21,98	70,52	32,70	103,21	3612,35
36- <i>Rourea induta</i>	2	1,84	1,20	3,04	8,59	5,98	14,57	29,14
37- <i>Schefflera macrocarpa</i>	25	6,68	3,35	10,03	31,66	16,26	47,92	1198
38- <i>Sclerolobium paniculatum</i>	46	48,84	13,90	62,74	236,84	68,89	305,72	14063,12
39- <i>Strychnos pseudoquina</i>	1	21,82	5,84	27,66	103,78	33,52	137,29	137,29
40- <i>Stryphnodendron adstringens</i>	5	13,58	7,18	20,76	65,40	34,96	100,36	501,80
41- <i>Styrax ferrugineus</i>	5	6,31	3,05	9,36	30,01	15,84	45,84	229,20
42- <i>Symplocos rhamnifolia</i>	1	0,20	0,24	0,44		1,12	1,12	1,12
43- <i>Tabebuia ochracea</i>	1	2,01	2,17	4,18	9,57	10,89	20,45	20,45
44- <i>Tabebuia serratifolia</i>	1	4,70	2,19	6,89	22,67	10,59	33,26	33,26
45- <i>Vochysia elliptica</i>	6	4,57	2,62	7,19	21,65	12,13	33,78	202,68
46- <i>Vochysia rufa</i>	1	1,19	0,71	1,90	5,57	3,14	8,71	8,71
47- <i>Vochysia thyrsoidea</i>	20	60,75	22,36	83,11	286,33	106,15	392,49	7849,8

Em que: NI = número de indivíduos.

TABELA 2: Densidade básica (Db), poder calorífico superior (PCS) e teor de material volátil (MV), de cinza (CZ) e de carbono fixo (CF) da madeira e da casca para as espécies do cerrado da FAL/UnB/DF.

Espécies	Madeira					Casca				
	Db g/cm <sup>3</sup>	PCS kcal/kg	MV %	CZ %	CF %	Db g/cm <sup>3</sup>	PCS kcal/kg	MV %	CZ %	CF %
<i>Acosmium dasycarpum</i>	0,74	4989,60	78,59	0,41	21,00	0,54	5081,00	71,43	3,55	25,02
<i>Aspidosperma macrocarpon</i>	0,61	4827,50	78,96	0,27	20,77	0,46	5292,20	75,54	1,16	23,30
<i>Aspidosperma tomentosum</i>	0,58	4863,30	80,32	0,35	19,33	0,30	4717,40	74,82	2,39	22,79
<i>Byrsonima coccolobifolia</i>	0,59	4844,50	77,40	0,94	21,66	0,50	5047,40	69,26	1,66	29,08
<i>Byrsonima crassa</i>	0,56	4781,40	75,38	1,09	23,53	0,42	4849,90	73,47	0,97	25,56
<i>Byrsonima verbascifolia</i>	0,48	4771,50	74,62	1,24	24,14	0,46	4909,40	68,80	1,63	29,57
<i>Blepharocalix salicifolius</i>	0,46	4516,40	78,87	0,68	20,45	0,50	4805,00	73,52	2,32	24,16
<i>Caryocar brasiliense</i>	0,61	4839,10	80,13	0,37	19,50	0,41	4761,80	75,72	0,65	23,63
<i>Connarus suberosus</i>	0,52	4813,50	74,93	0,62	24,45	0,41	5206,20	67,18	0,68	32,14
<i>Dalbergia miscolobium</i>	0,77	4896,90	78,29	0,26	21,45	0,43	5096,70	72,51	0,79	26,70
<i>Dimorphandra mollis</i>	0,70	4940,70	80,24	0,17	19,59	0,46	5178,30	71,81	0,40	27,79
<i>Enterolobium gummiferum</i>	0,62	4737,80	80,98	0,14	18,88	0,46	5239,90	70,02	0,75	29,23
<i>Eremanthus glomerulatus</i>	0,57	4738,80	80,50	0,66	18,84	0,25	4967,80	75,05	1,33	23,62
<i>Eriotheca gracilipes</i>	0,36	4565,90	74,76	1,91	23,33	0,35	4857,70	75,37	1,31	23,32
<i>Eriotheca pubescens</i>	0,38	4565,50	79,08	1,00	19,92	0,44	4985,40	76,26	1,05	22,69
<i>Erythroxylum deciduum</i>	0,52	4638,00	76,75	2,15	21,10	0,41	4985,60	73,86	1,34	24,8
<i>Erythroxylum suberosum</i>	0,62	4549,90	76,17	2,73	21,10	0,36	5028,00	73,59	1,59	24,82
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	0,54	4931,90	75,83	0,53	23,64	0,42	5148,10	68,76	1,31	29,93
<i>Guapira noxia</i>	0,47	4622,10	75,59	1,40	23,01	0,39	4187,70	73,99	2,07	23,94
<i>Hymenaea stigonocarpa</i>	0,78	4851,30	77,37	1,08	21,55	0,67	4795,40	76,58	0,76	22,66
<i>Kielmeyra coriacea</i>	0,46	4747,40	79,27	0,31	20,42	0,29	5502,00	72,26	1,03	26,71
<i>Kielmeyra speciosa</i>	0,58	4882,70	79,08	0,57	20,35	0,48	5576,80	73,89	0,81	25,30
<i>Lafoensia pacari</i>	0,74	4788,00	74,67	0,57	24,76	0,67	4987,10	68,66	0,73	30,61
<i>Miconia ferruginata</i>	0,65	4777,00	75,49	0,39	24,12	0,39	4570,30	65,27	4,25	30,48
<i>Miconia pohliana</i>	0,57	4626,20	75,42	0,40	24,18	0,53	4586,10	72,24	2,35	25,41
<i>Myrsine guianensis</i>	0,52	4700,90	79,90	0,53	19,57	0,42	5116,50	69,83	1,89	28,28
<i>Ouratea hexasperma</i>	0,50	4926,30	76,94	0,90	22,16	0,50	5229,50	65,2	1,09	33,71
<i>Palicourea rigida</i>	0,43	4695,20	79,80	1,10	19,10	0,37	5096,40	73,68	2,48	23,84
<i>Pouteria ramiflora</i>	0,70	4779,10	78,28	0,57	21,15	0,41	5073,10	71,63	1,02	27,35
<i>Piptocarpha rotundifolia</i>	0,42	4744,30	76,59	0,90	22,51	0,33	4959,10	72,93	1,58	25,49
<i>Psidium warmingianum</i>	0,20	4752,10	76,60	1,01	22,39	0,49	4928,40	67,78	0,43	31,79
<i>Pterodon pubescens</i>	0,73	4953,00	80,42	0,24	19,34	0,41	4918,30	74,68	1,01	24,31
<i>Qualea grandiflora</i>	0,69	4736,40	76,37	0,36	23,27	0,44	4722,90	71,87	2,14	25,99
<i>Qualea multiflora</i>	0,66	4725,90	75,63	0,56	23,81	0,37	4323,20	75,38	2,14	22,48
<i>Qualea parviflora</i>	0,69	4710,50	77,07	0,81	22,12	0,50	4664,10	72,87	3,13	24,00
<i>Rourea induta</i>	0,47	4667,80	79,04	1,91	19,05	0,59	4986,30	70,63	0,79	28,58
<i>Schefflera macrocarpa</i>	0,68	4740,00	78,93	0,63	20,44	0,46	4854,00	74,67	2,04	23,29
<i>Sclerolobium paniculatum</i>	0,72	4849,20	78,61	0,39	21,00	0,56	4956,00	67,01	0,68	32,31
<i>Strychnos pseudoquina</i>	0,72	4756,00	79,98	0,51	19,51	0,48	5738,90	69,81	1,38	28,81
<i>Stryphnodendron adstringens</i>	0,55	4816,00	77,83	0,22	21,95	0,42	4869,40	66,22	1,58	32,20
<i>Styrax ferrugineus</i>	0,49	4755,40	78,94	0,60	20,46	0,47	5192,60	67,70	0,77	31,53
<i>Symplocos rhamnifolia</i>	0,38	*	*	*	*	0,17	4682,30	*	*	*
<i>Tabebuia ochracea</i>	0,62	4760,30	81,20	0,42	18,38	0,42	5016,40	76,52	1,45	22,03
<i>Tabebuia serratifolia</i>	0,69	4823,80	78,50	0,84	20,66	0,40	4834,90	74,77	2,19	23,04
<i>Vochysia elliptica</i>	0,57	4736,80	80,69	1,38	17,93	0,45	4630,10	76,27	2,31	21,42
<i>Vochysia rufa</i>	0,40	4680,20	79,12	1,44	19,44	0,35	4416,50	*	*	*

<i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl.	0,49	4713,30	80,03	0,81	19,16	0,54	4747,40	76,95	2,78	20,27
----------------------------------	------	---------	-------	------	-------	------	---------	-------	------	-------

Em que: \* = Material insuficiente para determinação.

sete espécies com madeiras consideradas duras ( $Db > 0,70 \text{ g/cm}^3$ ). Essas sete espécies são responsáveis por 22,28% dos indivíduos. Dentre essas sete espécies se destacam três: *Sclerolobium paniculatum*, *Pterodon pubescens* e *Dalbergia miscolobium* que representam 21,39% dos indivíduos. A maior densidade foi a da espécie *Hymenaea stigonocarpa* ( $0,78 \text{ g/cm}^3$ ).

### Análise imediata da madeira e da casca

Combustíveis com alto índice de carbono fixo devem ter queima mais lenta, implicando maior tempo de residência dentro dos aparelhos de queima, em comparação com outros que tenham menor teor de carbono fixo (Brito e Barrichello (1982).

A queima mais lenta pode ser vantajosa para o cozimento de alimentos, uma vez que os aparelhos de queima no meio rural (fogões) têm eficiência muito baixa na utilização do calor produzido, que, segundo Goldemberg (1998), converteria apenas ao redor de 10% da energia contida na lenha em energia útil na cocção.

A menor quantidade de matérias voláteis da madeira (74,62%) foi detectada em *Byrsonima verbascifolia*, e o maior teor, de 81,2%, em *Tabebuia ochracea*. A casca de *Ouratea hexasperma* apresentou o menor teor de matérias voláteis (65,2%), enquanto o maior teor foi de 76,95%, em *Vochysia thyrsoidea*.

O valor médio em carbono fixo para a madeira foi de 20,73%, e, para a casca, de 25,19%. *Lafoensia pacari* destacou-se com o maior valor de carbono fixo na madeira (24,75%), e *Vochysia elliptica*, com o menor (17,93%). Na casca, os valores máximo e mínimo foram de 33,70% e 20,26% respectivamente, para *Ouratea hexasperma* e *Vochysia thyrsoidea*.

Os teores de matérias voláteis e carbono fixo na madeira estão de acordo com Brito e Barrichello (1982) que preconizaram, em termos gerais, teores de matérias voláteis entre 75% a 85% e de carbono fixo entre 15% a 25%.

Os teores de cinzas e de carbono fixo da casca foram superiores aos da madeira, diferentemente do que ocorreu com matérias voláteis. Resultados semelhantes para os três parâmetros foram encontrados por Brito e Barrichello (1978) em trabalho com cinco espécies de eucaliptos.

A variação dos teores de cinzas da madeira ficou entre 0,15% (*Enterolobium gummiferum*) e 2,73% (*Eryroxylum suberosum*). Para a casca, a variação foi de 0,41% (*Dimorphandra mollis*) a 4,25% (*Miconia ferruginata*). Esses teores estão dentro de faixas encontradas por outros autores para outras espécies, como Castillo (1984), Cunha *et al.* (1989) e Maraboto *et al.* (1989) que, trabalhando com 80 espécies de folhosas da região Amazônica, encontraram variação no teor de cinzas da madeira de 0,05% em *Ocotea cymbarum* (inhamuí), a 3%, em *Erisma uncinatum* (quarubarana). Brito e Barrichello (1978) encontraram, na casca de cinco espécies de eucalipto uma variação de 1,34% a 6,40%.

Verifica-se pela Tabela 2 que as três espécies, que sobressaíram quanto à densidade e produção de energia: *Sclerolobium paniculatum*, *Pterodon pubescens* e *Dalbergia miscolobium*, possuem valores médios de carbono fixo e baixos valores de cinzas.

O poder calorífico superior da madeira das 47 espécies variou de 4.516 kcal/kg para *Blepharocalix salicifolius* a 4.989 kcal/kg para *Acosmium dasycarpum*. O valor médio, para o cerrado, foi de 4.763 kcal/kg, superior aos valores preconizados para folhosas (4500 kcal/kg) e àqueles encontrados para espécies da Amazônia que, segundo Castillo (1984) que trabalhou com vinte espécies da Amazônia peruana, é de 4.751 kcal/kg, com variações de 4.621 kcal/kg para *Micranda spruceana* a 4.885 kcal/kg para *Trichilia sexanthera*.

O poder calorífico superior da casca variou de 4.187 kcal/kg (*Guapira noxia*) a 5.738 kcal/kg (*Strychnus pseudoquina*) e, foi, em geral, superior ao da madeira.

Jara (1989) determinou o poder calorífico da casca de 27 espécies, encontrando variação de 3.822 kcal/kg para *Eucalyptus grandis* com nove anos de idade a 5.837 kcal/kg para *Paulownia tomentosa*



(kiri).

Novamente entre outras espécies, como *Dimorphandra mollis*, com 4.940 kcal/kg e *Ouratea hexasperma* com 4926 kcal/kg; *Sclerolobium paniculatum* (4.849 kcal/kg), *Pterodon pubescens* (4.953 kcal/kg) e *Dalbergia miscolobium* (4.896 kcal/kg) destacam-se com valores de poder calorífico superior acima da média.

### Quantidade de energia na forma de calor

A quantidade de calor para a madeira variou de 1,6 Mcal/árvore (*Eremanthus glomerulatus*) a 380 Mcal/árvore (*Pterodon pubescens*) e, para casca, a variação foi de 1,1 Mcal/árvore (*Symplocos rhamnifolia*) a 106 Mcal/árvore (*Vochysia thyrsoidea*). Doze espécies destacaram-se na produção de calor total, que incluiu a madeira mais a casca, com valores acima de 100 Mcal/árvore e/ou 1000 Mcal/ha. São elas: *Pterodon pubescens* (473 Mcal/árvore e 6.632 Mcal/ha), *Vochysia thyrsoidea* (392 Mcal/árvore e 7.850 Mcal/ha), *Sclerolobium paniculatum* (306 Mcal/árvore e 14.063 Mcal/ha), *Hymenaea stigonocarpa* (280 Mcal/árvore e 1.450 Mcal/ha), *Blepharocalix salicifolius* (150 Mcal/árvore e 1.799 Mcal/ha), *Strychnus pseudoquina* (137 Mcal/árvore), *Caryocar brasiliense* (115 Mcal/árvore e 3.352 Mcal/ha), *Qualea grandiflora* (115 Mcal/árvore e 3.933 Mcal/ha), *Q. parviflora* (103 Mcal/árvore e 3.612 Mcal/ha), *Stryphnodendron adstrigens* (100 Mcal/árvore), *Dalbergia miscolobium* (6.742 Mcal/ha) e *Ouratea hexasperma* (3.835 Mcal/ha). Em média, a participação da casca na quantidade de calor dessas espécies foi de 29 %. Estas doze espécies juntas foram responsáveis por 53.906 Mcal/ha ou 90% da energia disponibilizada. A escolha de espécies para a produção de energia na forma de calor com o objetivo de cocção de alimento deve ter como base duas características principais: maior produção de biomassa seca e maior massa específica, desde que não muito elevada, pois madeiras muito duras têm dificuldade em queimar, principalmente nos fogões rústicos usados no meio rural. Aliado a essas características deve-se levar em conta o poder calorífico superior da madeira. Essas características em conjunto propiciam grandes produções de energia na forma de calor. Outra característica que pode ajudar nessa escolha é o teor de carbono fixo, pois quanto maior o teor maior o tempo de residência do combustível no aparelho.

### CONCLUSÕES

Em princípio a biomassa de qualquer uma das 47 espécies encontradas na área de estudo pode ser utilizada para geração de calor. No entanto, se o objetivo é otimizar a produção de calor algumas características devem ser observadas, tais como: produção de massa seca, massa específica, teor de carbono fixo e poder calorífico. Considerando tais características, dez espécies são responsáveis por 90% da energia na forma de calor disponível na área. Essas espécies estariam aptas a serem usadas num possível plano de produção sustentada de biomassa para geração de calor. Três espécies destacam-se, pois totalizaram 27.437 Mcal/ha e foram responsáveis por 45,72% de toda energia disponibilizada na área. São elas a *Dalbergia miscolobium*, o *Pterodon pubescens* e o *Sclerolobium paniculatum* que associam elevada produção de massa seca, maiores massas específicas, poderes caloríficos acima da média da área e valores médios para carbono fixo.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **NBR 8633/84**: Rio de Janeiro, 1994. 13 p.
- AROUCA, M. C.; GOMES, F. B. M.; ROSA, L. P. **Estrutura da demanda de energia no setor residencial no Brasil e uma avaliação da energia para cocção de alimentos**: área interdisciplinar de energia COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 1983. 36p. (Série de publicações – AIE 002/83).
- ASTM. American Society for Testing and Materials. **D 1762-64** (Reapproved 1977). 578 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, 2000. 154p.
- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. **Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis**. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., 1982, São Paulo. São Paulo, 1982. p. 101-137.

- BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. **IPEF**, v.16, p.63-78, 1978.
- BRITO, J.O.; DEGLISE, X. States and potencial of using wood for energy in Brazil. **Revue Forestière Française**, Paris, n.6, p.175-79, 1991.
- BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.
- CASTILLO, M.U. Determinacion del poder calorifico de 20 especies forestales de la Amazonia peruana. **Revista Florestal do Peru**, v.12, n.1-2, p.98-117, 1984.
- CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; CABRAL, M.T.F.D.; NETO, Z.B.C.; BARBOSA, A.P. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: ENCONTRO ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1989. v. 2, p.93-120.
- EMBRAPA. Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação dos Solos, 1978. **Boletim Técnico**, 53.
- FOELKEL, C.E.B.; BRASIL, M.A.M.; BARRICHELO, L.E.G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. **IPEF**, n.2/3, p.65-74, 1971.
- FURLEY, P.A.; RATTER, J.A. **An assessment of soil constraints on the distribution of plant communities at Fazenda Água Limpa, Brasília, DF**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON BIOLOGY OF CERRADO PLANTS, 1990, Campinas. **Anais ...** Campinas, 1990.
- GOLDEMBERG, J. **Energia, meio ambiente & desenvolvimento**. São Paulo: Ed. Universidade de São Paulo, 1998. 125p.
- GRASSI, G.; PALZ, W. O futuro da biomassa na União Européia. **Álcool. & Açúcar**, n.76, p.28-34, 1988.
- HALL, D. O. Biomass energy. **Energy Policy – Renewables series**, p. 711-737, Oct., 1991.
- JARA, E.R.P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. **IPT – Comunicação Técnica**, n.1797, p. 1-6, 1977.
- MARABOTO, M.T.; CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I.A.; NETO, Z.B.C. Poder calorífico e pirólise de dez espécies florestais da Amazônia Brasileira-Peruana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1989, São Carlos. **Anais...** São Carlos, 1989. v.2, p.6-28.
- MATA, H. T. C.; SOUZA, A. L. Estimativa do consumo residencial de lenha num distrito do Estado de Minas Gerais, Brasil. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.24, n.1, p.63-71, 2000.
- OLIVEIRA, A.D.; LEITE, A.P.; BOTELHO, S.A.; SCOLFORO, J.R.S. Avaliação econômica da vegetação de cerrado submetido a diferentes regimes de manejo e de povoamentos de eucalipto plantado em monocultivo. **CERNE**, v.4, n.1, p.34-56, 1998.
- SILVA, F.C. **Compartilhamento de nutrientes em diferentes componentes da biomassa aérea em espécies arbóreas de um cerrado**. 1990. 80p. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia, Universidade de Brasília, Brasília.
- SILVA, M.A. **Mudanças na composição florística e estrutura de um cerrado sensu stricto em um período de 12 anos (1985-1997), na Fazenda Água Limpa (FAL) – Distrito Federal. Brasília**, 1999. 62p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília.
- VITAL, B.R. Métodos de determinação da densidade da madeira. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim Técnico, 2).
- VITAL, B.R. **Tecnologia da Madeira: métodos para determinação do teor de umidade da madeira**. Viçosa: SIF, 1997. 33p. (Boletim Técnico, 13).