



DETERMINAÇÃO DE VOLUME E DENSIDADE DA MADEIRA DE CAJUEIRO (*Anacardium occidentale*)

DUTRA, Hortência Ferreira¹; CANTO, Juliana Lorensi do²; SANTANA, José Augusto da
Silva²; PIMENTA, Alexandre Santos²

RESUMO (DETERMINAÇÃO DE VOLUME E DENSIDADE DA MADEIRA DE CAJUEIRO (*Anacardium occidentale*))- A madeira é um dos principais insumos energéticos na Região Nordeste e a lenha de cajueiro vem se destacando no mercado regional. Assim, este trabalho objetivou comparar métodos de cubagem (Smalian, Huber e Newton) com o método de determinação do volume a partir do peso da madeira e determinar fatores de conversão entre unidades. Toretos de cajueiros foram cubados e pesados em campo. Determinou-se a densidade básica e o teor de umidade da madeira. Não houve diferença significativa entre os métodos. A densidade básica da madeira foi de 0,4689 g cm⁻³. O teor de umidade da madeira verde foi de 83,72%. Um estéreo de lenha corresponde a 0,30 m³ e pesa 144 kg entre 70 e 80 dias após o abate.

Palavras Chave: Lenha, cubagem, densidade básica, energia, região nordeste.

ABSTRACT (DETERMINATION OF VOLUME AND DENSITY OF CASHEW WOOD (*Anacardium occidentale*)) - Wood is one of the main energy inputs in northeast region of Brazil and the cashew firewood has been increasing in the regional market. Therefore, this study aimed to compare volume determination methods (Smalian, Huber and Newton) to the method of determining volume from the wood weight, and also determine conversion factors between units. Cashew logs were measured and weighed in field. It was determined the wood basic density and moisture content. There was no significant difference between the methods. The basic wood density was 0.4689 g cm⁻³. The moisture content of green wood was 83.72%. A stereo cashew firewood corresponds to 0.30 m³ and weighs 144 kg between 70 and 80 days after felled.

Keywords: Firewood, energy, volume determination, basic density, Northeast Region of Brazil.

¹Discente de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN- Macaíba/RN- Brasil, hortencia_dutra@hotmail.com.

²Professor (a), Engenharia Florestal, Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN- Macaíba/RN- Brasil, juliana.canto@ufrnet.br; augusto@ufrnet.br; aspimenta@ufrnet.br..

1. INTRODUÇÃO

A madeira é um dos principais insumos energéticos utilizados na região Nordeste do Brasil. No setor industrial do Estado do Rio Grande do Norte, por exemplo, a lenha representa 47,4% da energia consumida (RIO GRANDE DO NORTE, 2006). Em todo o Nordeste, a demanda total de lenha foi estimada em 25,1 milhões de estéreos por ano, apenas para os setores industrial e comercial (RIEGELHAUPT; PAREYN, 2010). Somente o segmento produtivo de cerâmica vermelha apresenta um consumo anual em torno de oito milhões de estéreos de lenha, liderando o grupo dos principais consumidores deste insumo no setor industrial nordestino (BNB, 2010).

Nesse cenário, a lenha do cajueiro, subproduto resultante da substituição de copa e das podas anuais de manutenção, vem atendendo a uma considerável parte dessa demanda no setor industrial da região (SILVA, 2007), principalmente após a publicação da Instrução Normativa do IBAMA nº 112/2006, que dispensa o uso do DOF (Documento de Origem Florestal) no transporte de lenha do cajueiro (MONTENEGRO *et al.*, 2010a).

Como exemplo, no segmento produtivo de cerâmica vermelha da região do Seridó, Rio Grande do Norte, a lenha do

cajueiro representa o segundo principal insumo energético madeireiro. Ou seja, 28% da madeira consumida correspondem a cajueiro (SILVA, 2007).

A cajucultura é uma atividade de expressiva importância socioeconômica no Nordeste, considerando que a área plantada na região supera 755 mil hectares (IBGE, 2012). E, além da comercialização do caju, a atividade também tem destaque no mercado regional de lenha, em substituição a madeira nativa (MONTENEGRO *et al.*, 2010b). Estruturada com base numa rápida expansão da área cultivada, ocorrida entre as décadas de 60 e 80, a cajucultura nordestina esta embasada em um sistema de produção ineficiente, com material genético de inferior qualidade ocupando aproximadamente 85% da área plantada, idade muito avançada e baixa produtividade (OLIVEIRA, 2007). Como consequência desse ineficiente sistema de produção e dos avanços tecnológicos ocorridos na cajucultura nos últimos anos, os plantios comerciais estão sendo substituídos, representando uma considerável fonte de lenha (MONTENEGRO *et al.*, 2010b).

Além disso, há uma significativa oferta de lenha proveniente das podas anuais de manutenção nos plantios comerciais de cajueiro, que consistem na eliminação de ramos emitidos próximo do

solo, ramos com crescimento anormal e ramos secos (MONTENEGRO *et al.*, 2010b).

Apesar do destaque que a cajucultura vem ganhando no mercado regional de biomassa para combustível, não há estudos voltados para avaliação de métodos de determinação de volume de lenha e para fatores de conversão entre as unidades de medida praticadas comercialmente para lenha de cajueiro, como por exemplo, metro cúbico e estéreo (fator de empilhamento) ou mesmo a relação entre o volume e o peso. O emprego do fator de empilhamento evita a mensuração individualizada das toras para se conhecer o volume cúbico de lenha de uma pilha. Por isso, este trabalho objetivou comparar os métodos de cubagem de Smalian, Huber e Newton com o método de determinação do volume a partir do peso da madeira de cajueiro, bem como determinar os fatores de conversão entre unidades.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram abatidos cinco cajueiros (*Anacardium occidentale*) na Área de Experimentação Florestal da Unidade Acadêmica Especializada em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), localizada no município de Macaíba, RN. A área possui

solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, com textura arenosa, e topografia plana. O clima local é uma transição entre os tipos As e BSw da classificação de Köppen, com temperaturas elevadas ao longo de todo o ano (média anual de 27 °C, sendo máxima de 32 °C e mínima de 21 °C) e estação chuvosa de outono e inverno, com precipitação pluviométrica anual variando entre 800 e 1.200 mm, caracterizando o clima sub-úmido (IDEMA, 2002).

As árvores abatidas foram seccionadas em toras de um metro de comprimento. Cada tora teve seu volume estimado, em metros cúbicos (m³), pelos métodos de cubagem de (I) Smalian, (II) Huber e (III) Newton, conforme as seguintes fórmulas (FINGER, 1992):

$$(I) V = L * [(g1 + g2) / 2]$$

$$(II) V = L * gm$$

$$(III) V = L * ((g1 + (4 * gm) + g2) / 6)$$

Em que:

V = volume da tora (m³);

L = comprimento da tora (m);

g1 = área seccional da extremidade inferior da tora (m²);

g2 = área seccional da extremidade superior da tora (m²);

gm = área seccional do meio da tora (m²).

Também foi obtido o volume a partir do peso das toras. Para isso, as toras foram individualmente pesadas em campo, obtendo-se o peso verde, em quilogramas (kg). Em seguida, foram coletadas amostras de madeira (discos) em diversas toras, em diferentes classes de diâmetro. Assim que coletadas, as amostras foram colocadas em sacos plásticos escuros para proteção contra luz e perdas de umidade durante o transporte até ao laboratório, onde foi determinada a densidade básica da madeira, em gramas por centímetro cúbico (g/cm^3), pelo método gravimétrico. As amostras foram imersas em água até ficarem totalmente saturadas. Após a saturação, mediu-se o volume de cada amostra pelo método de imersão. Em seguida, as amostras foram secas em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 48 horas, até massa constante. Foi medida a massa seca e determinada a densidade básica da madeira pela relação entre o peso seco e o volume saturado. Também foi determinado o teor de umidade percentual, pela diferença entre o peso úmido e o peso seco em estufa, dividida pelo peso seco. A determinação do teor de umidade foi realizada logo após o abate e também após diferentes períodos de permanência das toras no campo. Assim, o volume foi determinado de acordo com a seguinte fórmula:

$$V = \text{PU}/[d*(1000+(10*TU))]$$

Em que:

V = volume da tora (m^3);

PU = peso úmido da tora (kg);

d = densidade básica da madeira (g cm^{-3});

TU = teor de umidade da madeira (%).

Para determinação do fator de empilhamento, foram empilhadas 924 toras com um metro de comprimento, provenientes de seis cajueiros abatidos. Foram realizadas seis pilhas e as dimensões de cada pilha (altura, largura e profundidade) foram obtidas com trena, em metros, para determinação do volume de lenha empilhado, expresso em estéreo (st). Um estéreo corresponde ao volume de uma pilha de toras, contida num cubo cujas arestas meçam um metro, nele incluídos os espaços vazios normais entre as toras (INMETRO, 1999). A razão entre o volume real das toras contidas na pilha (cubado), em metro cúbico (m^3), e o volume de lenha empilhado, expresso em estéreo, determina o fator de empilhamento. Também foi determinado o fator de conversão entre o volume empilhado e o peso da lenha de cajueiro, em quilogramas, após secagem natural em campo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Valores médios da densidade básica da madeira de cajueiro são apresentados na tabela 1. Apenas a densidade média da árvore 3 diferiu estatisticamente das demais árvores amostradas, apresentando menor valor ($0,4036 \text{ g cm}^{-3}$). A média da densidade básica dos quatro indivíduos que não diferiram estatisticamente entre si foi de $0,4689 \text{ g cm}^{-3}$. Não houve correlação significativa entre os valores de densidade básica e de diâmetro das toras.

Tabela 1: Valores médios da densidade básica (g cm^{-3}) da madeira de cajueiro (*Anacardium occidentale*).

Árvore amostra	Densidade básica média (g cm^{-3})
Árvore 1	0,4833 a
Árvore 2	0,4469 a
Árvore 3	0,4036 b
Árvore 4	0,4735 a
Árvore 5	0,4520 a

Médias com letras distintas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

Os valores de densidade encontrados neste estudo estão próximos aos encontrados em diversos estudos para algumas espécies do gênero *Eucalyptus*. Ribeiro e Zani Filho (1993) encontraram $0,465 \text{ g cm}^{-3}$ para *Eucalyptus saligna* aos 63 meses de idade e, respectivamente, $0,458 \text{ g cm}^{-3}$ e $0,479 \text{ g cm}^{-3}$ para

Eucalyptus grandis aos 63 e 80 meses de idade. Oliveira et al. (2005) encontraram $0,49 \text{ g cm}^{-3}$ para *Eucalyptus grandis* aos 16 anos de idade. Pereira et al. (2000) determinaram a densidade básica de 27 espécies de *Eucalyptus* plantadas no Brasil e encontraram valores entre $0,4$ e $0,5 \text{ g cm}^{-3}$ para 13 espécies.

A densidade básica, reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da qualidade da madeira por estar relacionada às demais características (RIBEIRO; ZANI FILHO, 1993), apresenta correlação significativa com a umidade natural. Isto é, a densidade básica é inversamente proporcional ao teor de umidade natural e espécies mais densas devem possuir menor teor de umidade em sua madeira (LOPES; GARCIA, 2002).

O teor de umidade da madeira, logo após o abate, foi de 83,72%, diminuindo com a permanência das toras no campo e atingindo 20% entre 70 e 80 dias, destacando-se que não houve precipitação pluviométrica durante o período em que as toras permaneceram no campo.

No estudo realizado por Oliveira et al. (2005), os mesmos indivíduos de *Eucalyptus grandis*, aos 16 anos de idade, com densidade básica de $0,49 \text{ g cm}^{-3}$, apresentaram teor de umidade de 102%, superior ao valor encontrado neste trabalho para a madeira recém abatida.

A umidade é um dos fatores que exercem grande influência sobre o uso da madeira para energia. A presença de água representa poder calorífico negativo, pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água, ou seja, antes de ocorrer combustão, a água precisa evaporar (BRITO, 1986). Para queima eficiente, o teor de umidade da lenha deve estar abaixo de 20% (ANEEL, 2005), valor atingido neste estudo pelas toras de cajueiro entre 70 e 80 dias de permanência no campo. Assim, o conhecimento do tempo de secagem natural da madeira para redução do teor de umidade é muito importante para a sua utilização energética. Além do aumento do poder calorífico, acrescenta-se

que a redução do teor de umidade promove a diminuição do peso da madeira, aspecto relevante diante da possibilidade de redução de custos no transporte da madeira.

A tabela 2 apresenta os volumes médios das toras de cajueiros, em metros cúbicos, obtidos a partir dos métodos de cubagem de Smalian, Huber e Newton e do método de determinação do volume a partir do peso, distribuídos em cinco classes diamétricas. Resultados da análise da variância, apresentados na tabela 3, indicam que não houve diferença significativa entre os quatro métodos empregados.

Tabela 2: Volumes médios (m³) das toras de cajueiros (*Anacardium occidentale*), por classe de diâmetro, obtidos pelos métodos de determinação de volumes avaliados.

Classes de diâmetro (cm)	Freq.	Volume médio por Smalian (m ³)	Volume médio por Huber (m ³)	Volume por médio Newton (m ³)	Volume médio a partir do peso (m ³)
< 5	174	0,00133	0,00121	0,00127	0,00157
5 10	151	0,00467	0,00444	0,00452	0,00559
10 15	45	0,01263	0,01287	0,01279	0,01522
15 20	15	0,02763	0,02505	0,02591	0,03103
≥ 20	12	0,06626	0,05300	0,05742	0,06650

Tabela 3: Resultados da análise da variância (ANOVA) para os métodos de determinação de volume avaliados em toras de cajueiros (*Anacardium occidentale*).

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	F	p-valor
Métodos	3	0,000537	0,000179	1,2034 ^{ns}	0,3065 ^{ns}
Erro (Resíduo)	1584	0,236	0,000149		

ns = não significativo.

Os métodos mais empregados para determinação do volume de árvores têm sido Smalian, Huber e Newton, principalmente pela facilidade de uso que os mesmos apresentam (SOARES *et al.*, 2006). Contudo, segundo Thiersch (2002) essas fórmulas são válidas quando as seções cubadas assemelham-se a um parabolóide de revolução. De acordo com Husch *et al.* (1982), a fórmula de Newton é exata para as formas dos sólidos geométricos correspondentes ao parabolóide, neilóide e cone. Mas, ainda de acordo com os autores, as fórmulas de Smalian e Huber são exatas somente quando a seção é um parabolóide.

Porém, mesmo diante da tortuosidade acentuada do fuste e dos galhos de cajueiros, com toras de forma extremamente irregulares, os três métodos de cubagem rigorosa não diferiram estatisticamente do método de determinação do volume a partir do peso (Tabela 3). De acordo com Soares *et al.* (2006), apesar dos pressupostos sobre a forma, a cubagem rigorosa pelos métodos de Smalian, Huber e Newton pode propiciar estimativas precisas de volume e quanto menor o comprimento das seções, menor a diferença entre as estimativas.

Machado *et al.* (2006) compararam diversos métodos de cubagem para a bracatinga (*Mimosa scabrella*), concluindo

que os métodos de Smalian, Huber e Newton não diferiram estatisticamente entre si. Contudo, todos os tratamentos apresentaram diferença estatística significativa com relação ao xilômetro (testemunha), tendendo a superestimar os volumes quando comparados com o volume verdadeiro. Porém, os autores não avaliaram o método de determinação do volume a partir do peso da madeira.

Nesse sentido, é importante acrescentar que o xilômetro é o único método que fornece o valor paramétrico do volume, ou seja, o volume verdadeiro (MACHADO e FIGUEIREDO FILHO, 2009) e que a determinação do volume a partir do peso pode levar a estimativas erradas, devido aos erros associados à obtenção da densidade básica e do teor de umidade, bem como da aplicação dos valores médios obtidos a partir de amostras.

O fator de empilhamento para a lenha de cajueiro foi 0,30, ou seja, um estéreo corresponde a 0,30 metros cúbicos. Esse valor está abaixo dos fatores de empilhamento utilizados para madeira de *Eucalyptus*, como por exemplo, os apresentados por Barros *et al.* (2008) em um estudo com toras de *Eucalyptus grandis* de um metro de comprimento: fatores de empilhamento de 0,67 a 0,78 dependendo do mês e da estação do ano.

Isso se deve à tortuosidade das toras e ao fato de que a grande maioria das toras tinha menos de 10 cm de diâmetro (Tabela 2).

Um estéreo de lenha de cajueiro, com umidade em torno de 20% (entre 70 e 80 dias de permanência no campo) apresentou, em média, o peso de 144 quilogramas.

4. CONCLUSÕES

A densidade básica média da madeira de cajueiro foi de 0,4689 g cm⁻³. O teor de umidade médio da madeira recém abatida foi de 83,72% e decresceu com a permanência das toras no campo, atingindo 20% entre 70 e 80 dias.

Como não houve diferença significativa entre os métodos de determinação de volume de lenha testados, é recomendável a cubagem de Huber, pela praticidade de aplicação.

Um estéreo de lenha de cajueiro corresponde a 0,30 metros cúbicos e pesa em torno de 144 quilogramas entre 70 e 80 dias após o abate.

5. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Brasília: ANEEL, 2005. 243 p.

BANCO DO NORDESTE (BNB). Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (ETENE). **Informe setorial: cerâmica vermelha**. [S.I.]: BNB, ETENE, 2010. 22 p.

BARROS, M.V.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R.; SANTINI, E.J. Fator de cubicação para toretes de *Eucalyptus grandis* e sua variação com o tempo de exposição ao ambiente. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p. 109-119, 2008.

BRITO, J.O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. **Silvicultura**, v. 11, n. 41, p. 188-193, 1986.

FINGER, C.A.G. **Fundamentos de Biometria Florestal**. Santa Maria: UFSM/CEPEF/FATEC, 1992. 269 p.

HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.E. **Forest mensuration**. 3. ed. New York: Ronald Press, 1982. 410 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). Portaria nº 130, de 07 de dezembro de 1999. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, MDIC, Brasília, DF, 15 Dez. 1999. Seção 1, p. 82-82.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados agregados**. Produção Agrícola Municipal 2010. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2014.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E MEIO AMBIENTE DO RIO GRANDE DO NORTE (IDEMA). **Perfil do estado do Rio Grande do Norte**. IDEMA: Natal, 2002. 85 p.

LOPES, G. A.; GARCIA, J. N. Densidade básica e umidade natural da madeira de *Eucalyptus saligna* Smith, de Itatinga, associadas aos padrões de casca apresentados pela população. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 62, p. 13-23, 2002.

- MACHADO, S. A.; TÊO, S. J.; URBANO, E.; FIGURA, M. A.; SILVA, L. C. R. Comparação de métodos de cubagem absolutos com o volume obtido pelo xilômetro para a bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham). **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 3, p. 239-253, 2006.
- MACHADO, S. A.; FIGUEIREDO FILHO, A. **Dendrometria**. 2. ed. Guarapuava: Unicentro, 2009. 316 p.
- MONTENEGRO, A.A.T.; PARENTE, J.I. G.; PESSOA, P.F.A.P.; BEZERRA, M.A.; COSTA, J.T.A. Coeficientes técnicos para realização da substituição de copas em cajueiros de diferentes portes. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 8, 2010, São Luiz. **Anais...** São Luiz: Universidade Estadual do Maranhão, 2010. CD-ROM. a
- MONTENEGRO, A.A.T.; LIMA, C.R.; PARENTE, J.I.G. Caracterização química da madeira de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). In: Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel, 43, 2010, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel, 2010. CD-ROM. b
- OLIVEIRA, F.N.S. (Ed.). **Sistema de produção para manejo do cajueiro comum e recuperação de pomares improdutivos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. 36 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Sistemas de Produção, n. 2).
- OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; TOMAZELLO FILHO, M. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 115-127, 2005.
- PEREIRA, J.C.D.; PEREIRA, J.C.D.; STURION, J.A.; HIGA, A.R.; HIGA, R. C.V.; SHIMIZU, J.Y. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 38).
- RIBEIRO, F. A.; ZANI FILHO, J. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de *Eucalyptus* spp. **IPEF**, v. 46, p. 76-85, 1993.
- RIEGELHAUPT, E. M.; PAREYN, F. G. C. A questão energética e o manejo florestal da Caatinga. In: GARIGLIO, M. A. et al. (Orgs.). **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. p. 65-75.
- RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Secretaria Extraordinária de Energia e Secretaria de Desenvolvimento Econômico (SEDEC). **Balço energético do estado do Rio Grande do Norte 2006: Ano Base 2005**. SEDEC: Natal, 2006. 103 p. (Série Informações Energéticas, 1).
- SILVA, E.F. (Coord.). **Diagnóstico do uso da lenha nas atividades agroindustriais do território do Seridó/RN**. Caicó: ADESE e GTZ, 2007. 117 p.
- SOARES, C.P.B.; PAULA NETO, F.; SOUZA, A.L. **Dendrometria e inventário florestal**. Viçosa: Editora UFV, 2006. 276 p.
- THIERSCH, C.R. **Modelagem da densidade básica, do volume e do peso seco para plantios de clones de *Eucalyptus* spp.** 2002. 197 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2002..