

PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS DOS FRUTOS DE MACAÚBA

THIAGO PEREIRA DE MIRANDA¹, FRANCISCO DE ASSIS DE CARVALHO PINTO², FLORA MARIA DE MELO VILLAR³, DOMINGOS SÁRVIO MAGALHÃES VALENTE⁴, JULIANO DE PAULA GONÇALVES⁵

¹ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Graduação, UFV/Viçosa-MG, (34) 99264-4735-, thiago.p.mitanda@ufv.br

² Engenheiro Agrícola, Prof. Associado, UFV/Viçosa-MG.

³ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Adjunto, UFV/Viçosa-MG.

⁴ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Prof. Adjunto, UFV/Viçosa-MG.

⁵ Engenheiro Agrícola e Ambiental, Graduação, UFV/Viçosa-MG.

Apresentado no
XLV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2016
24 a 28 de julho de 2016 - Florianópolis - SC, Brasil

RESUMO: A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma cultura promissora devido às suas características positivas como alta produtividade de óleo, podendo chegar a cinco ton. ha⁻¹. Para tornar a macaúba comercialmente rentável, existe a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias para o dimensionamento de máquinas de colheita e processamento. O conhecimento de propriedades físicas e mecânicas é imprescindível para o projeto de tais máquinas. Assim se determinou a massa específica aparente e real, porosidade, circularidade, esfericidade e velocidade terminal do endocarpo e endosperma e, velocidade terminal dos fragmentos do endocarpo pós processamento do fruto. Foram utilizados frutos de diversas plantas do Banco Ativo de Germoplasma da Universidade Federal de Viçosa. As propriedades físicas foram determinadas com base na massa e dimensões, e a velocidade terminal utilizando corrente ascendente de ar e anemômetro. A velocidade terminal média dos fragmentos do endocarpo foi de 8,81 ± 0,33 m s⁻¹, e do endosperma a foi de 14,72 ± 0,42 m s⁻¹. As tendências de diferença nas velocidades terminais encontradas são importante em projeto de máquinas que utiliza processo mecânico de separação entre as duas partes, diferentemente do processo de flotação utilizado atualmente.

PALAVRAS-CHAVE: macaúba, propriedades físicas, velocidade terminal.

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES FROM FRUIT OF MACAW PALM

ABSTRACT: The macaw palm (*Acrocomia aculeata*) is a promising crop due to its valuable characteristics such as high oil yield, reaching five ton ha⁻¹. To make macaw palm commercially viable, there's a need to develop new technologies for the design of harvesting and processing machines. The knowledge of physical and mechanical properties is essential for the design of such machines. It aimed to determine the apparent and real density, porosity, circularity, roundness and terminal velocity of the endocarp and endosperm, in addition to the terminal velocity of endocarp fragments after post-processing of the fruit. It was used fruits of various plants of the Active Germplasm Bank of the Universidade Federal de Viçosa. The physical properties were measured based on masses and dimensions, the terminal velocity was measured using updraft of air and anemometer. The average terminal velocity of endocarp

fragments was $8.81 \pm 0.33 \text{ m s}^{-1}$ and of the endosperm was $14.72 \pm 0.42 \text{ m s}^{-1}$. The trend of difference in the terminal velocities is important in machine design that uses a mechanical separation process between the two parties, instead of the flotation process currently used.

KEYWORDS: *Acrocomia aculeata*, physical properties, terminal velocity.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o mundo tem experimentado uma crescente e expressiva diligência por óleos vegetais, devido à expansão da utilização para fins alimentares e industriais. O fato da produção convencional de biodiesel comercial utilizar-se de culturas comestíveis, faz-se condizente a busca por matérias-primas que não sejam competitivas com alimentos.

O aumento na produção de biodiesel se deve, em grande parte, à criação de programas governamentais que estimula, a produção e a utilização do biocombustível. O Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), criado em 2004, aumentou significativamente a demanda para a produção de óleo vegetal.

Nesse contexto, vem se destacando em cenário nacional a macaúba, *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart., cuja utilização como fonte produtora de energia renovável ganha novo impulso pelo governo de Minas, que regulamentou a Lei nº 19.485/2011 – Pró-Macaúba. A norma instituiu a política estadual de incentivo ao cultivo, à extração, à comercialização, ao consumo e à transformação da macaúba e das demais palmeiras oleaginosas. A regulamentação da referida lei vem em função da demanda crescente por energias renováveis, atendendo as diretrizes de sustentabilidade ambiental, social e econômica definidas no Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB).

A exploração da macaúba é feita atualmente de forma extrativista e produz cerca de 4,8 toneladas de óleo por hectare, valor, aproximadamente, dez vezes maior que a soja. Além de sua importância ecológica, destaca-se pela inexistência de resíduos. Seus produtos (óleo, torta e carvão) são utilizados para fins alimentícios, cosméticos, combustíveis e outros. A macaúba apresenta ainda diversas vantagens competitivas em relação às outras espécies, tais como a redução de riscos à erosão e a recuperação de áreas degradadas; a possibilidade de cultivos consorciados e em pequenas áreas, o que permite a participação da agricultura familiar; a demanda de mão de obra ao longo de todo ano; a não competição com a produção de alimentos, visto que pode ser introduzida nas áreas de pastagens sem concorrer com as terras destinadas à produção de alimentos.

Sendo assim, cria-se a necessidade de domesticação da cultura de macaúba. Entretanto, para o sucesso da implementação da cadeia produtiva comercial em larga escala da cultura de macaúba, será necessário o desenvolvimento de máquinas ou otimização das existentes tanto no processo de colheita como no pós-colheita.

As máquinas utilizadas atualmente no processamento foram desenvolvidas para outros materiais e adaptadas para a macaúba, demandando assim um processo de evolução com base em ensaios científicos. No caso específico da separação da amêndoa e fragmentos do endocarpo, após o rompimento do mesmo, atualmente tem se utilizado a flotação em água. No entanto, água é um contaminante na indústria de processamento de óleo.

A realização do presente trabalho, objetivou determinar as propriedades físicas da semente (endocarpo e endosperma) dos frutos de macaúba: dimensões, porosidade, esfericidade, área superficial, massa específica aparente e real, determinar as propriedades físicas do endosperma (amêndoa) dos frutos de macaúba: dimensões, porosidade, esfericidade, área superficial, massa específica aparente e real, e velocidade

terminal, bem como determinar a velocidade terminal dos fragmentos de endocarpo provenientes do processo de extração do endosperma.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Projeto de Máquinas e Visão Artificial (PROVISAGRO) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Foram utilizados frutos provenientes do Banco Ativo de Germoplasma (BAG) da UFV, localizado na Fazenda Experimental de Araçuaia, na cidade de Araçuaia (MG).

O BAG macaúba possui mais de 700 plantas, provenientes de seis estados brasileiros, com mais de 100 acessos (MANFIO et al., 2011). Utilizaram-se frutos provenientes de plantas do BAG bem como de plantas de bordadura.

Devido ao grande volume de frutos utilizados, os frutos da safra 2014/2015 foram armazenados em câmara fria antes das mensurações no presente trabalho.

A limpeza dos frutos se fez em despulpadora comercial de frutos de macaúba modelo Número 1 Saturno (Figura 1). A despolpa caracteriza-se pela remoção do epicarpo e mesocarpo (Figura 2).



Figura 1: Despulpadora comercial de frutos de macaúba. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 2: Frutos de macaúba antes e pós despolpa. Fonte: Acervo pessoal.

Após a despolpa, exceto a amostra retirada para determinação de propriedades físicas, o material foi quebrado em máquina comercial (figura 3), possibilitando assim a obtenção de fragmentos de endocarpo e acesso aos endospermas dos frutos.



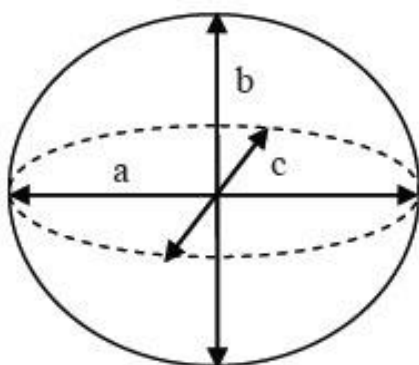
Figura 3: Quebrador comercial de endocarpos de frutos de macaúba.
Fonte: Acervo pessoal.

Umidade, dimensões, massa, volume, massa específica, circularidade, esfericidade, área projetada e superficial da semente (endocarpo e endosperma) de frutos de macaúba.

Selecionou-se 20 frutos aleatórios para a determinação das propriedades da semente a partir das dimensões e massa. As dimensões foram determinadas com auxílio de um paquímetro digital Mitutoyo com resolução de 0,01 mm. Para obtenção da massa, foi utilizada uma balança de precisão digital da marca OHAUS, modelo ARC120 com exatidão de 0,01 g.

A umidade fez determinada pelo método de estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 105 ± 3 °C, durante 24 horas.

A biometria dos frutos de macaúba foi analisada pela sua circularidade, esfericidade, área projetada e área superficial, sendo calculadas pelas equações propostas por Mohsenin (1986) a partir das medidas das dimensões características do fruto (Figura 4).



em que:

a = maior dimensão do endocarpo, em mm.

b = dimensão intermediária do endocarpo, em mm.

c = menor dimensão do endocarpo, em mm.

Figura 4: Desenho esquemático da semente e do endosperma do fruto de macaúba.

O volume, V , de cada semente foi baseado na equação proposta por Mohsenin (1986), mostrada a seguir:

$$V_{\epsilon} = \frac{\pi(abc)}{6} \quad (1)$$

Para determinação da massa específica aparente, foi utilizado um cilindro de policloreto de vinila, PVC, de 15 cm de diâmetro e 15 cm de altura; e para determinação da massa específica real, foi utilizado o método da complementação do volume utilizando óleo vegetal, com 4 repetições, utilizando provetas graduadas de 1000 mL e 5 sementes. Sendo a massa específica determinada a partir da razão entre massa e o volume das sementes.

A porosidade, ϵ , foi calculada a partir das informações obtidas sobre massa específica aparente e real pela equação proposta por Mohsenin (1986):

$$\epsilon = 1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho} \quad (2)$$

em que:

ρ_{ap} = massa específica aparente, expressa em Kg/m^3

ρ = massa específica real, expressa em Kg/m^3

A circularidade, Cr , da semente dos frutos de macaúba foi calculada, em percentagem, pela seguinte equação (Mohsenin, 1986):

$$Cr = \frac{a}{b} 100 \quad (3)$$

A esfericidade da semente dos frutos de macaúba, E , que indica o quanto o fruto se aproxima da forma esférica, foi calculada, em percentagem, pela seguinte expressão proposta por Mohsenin (1986):

$$E = \frac{(abc)^{\frac{1}{3}}}{a} \quad (4)$$

A área projetada, Ap , em mm^2 , foi determinada pela seguinte expressão:

$$Ap = \frac{\pi ab}{4} \quad (5)$$

A área superficial, S , em mm^2 , da semente dos frutos de macaúba, foi calculada pelo modelo de Mohsenin (1986), realizando-se ajustes nas dimensões características do produto, com auxílio da seguinte expressão:

$$S = \frac{\pi B^2}{2} + \frac{\pi a B}{2E} \sin^{-1} E \quad (6)$$

em que:

$$B = (bc)^{1/2} \quad (7)$$

em que:

$$E = \sqrt{1 - \left(\frac{B}{a}\right)^2} \quad (8)$$

em que:

B = média geométrica entre o comprimento e a largura do fruto de macaúba, mm²;

E = excentricidade.

Dimensões, massa, volume, massa específica, circularidade, esfericidade, área projetada e superficial, e velocidade terminal de endospermas de frutos de macaúba.

Para a determinação das propriedades do endosperma do fruto de macaúba, dimensões, massa, volume, massa específica, circularidade, esfericidade, área projetada e superficial, fez-se valer a mesma metodologia empregada para caracterizar as sementes (endocarpo e endosperma). Ressaltando a diferença de pipetas utilizadas, sendo empregadas pipetas de 100 mL devido ao menos volume de material.

Para a determinação da velocidade terminal do material, utilizou-se equipamento mostrado na Figura 5. O mesmo gera corrente ascendente de ar, que ao atingir o equilíbrio do material, flutuação, é aferida a velocidade da corrente, sendo essa a velocidade terminal. As determinações foram realizadas em 10 repetições, sendo o material obtido por seleção de endospermas inteiros. Realizou-se a aferição de endospermas individualmente, bem como de um conjunto de 5 endospermas.

Para a determinação da velocidade terminal, colocava-se as sementes na malha, ligava-se o moto-ventilador e através do variador de tensão controlava-se a vazão do ar (medida no anemômetro de fio quente TAFR-180 da Instruterm)

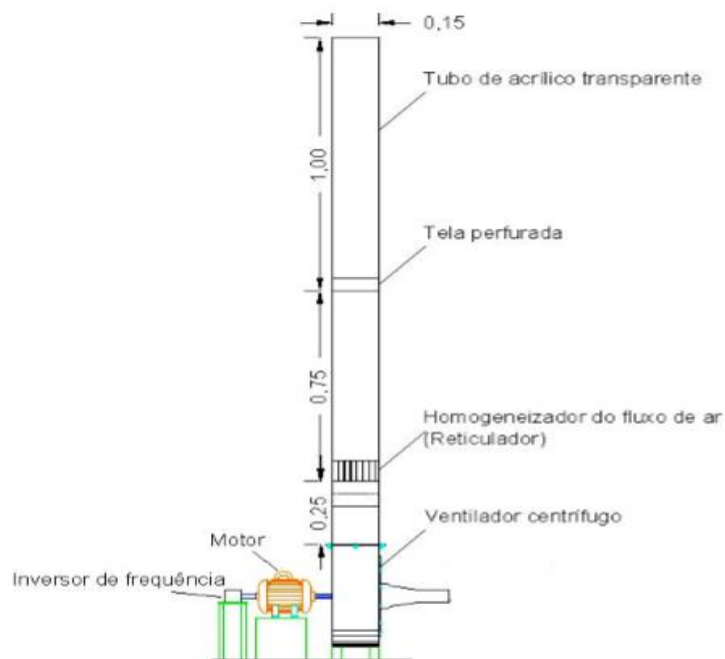


Figura 5: Desenho esquemático do dispositivo para determinação da velocidade terminal.

Velocidade terminal de fragmentos de endocarpo de frutos de macaúba

Os fragmentos de endocarpo foram submetidos ao mesmo maquinário descrito anteriormente. Realizando-se a caracterização de 10 amostras aleatórias, em que os fragmentos foram padronizados entre 16 e 19 mm de circunferência, por meio de peneiração.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos foram analisados, estatisticamente, utilizando-se o programa computacional R, versão 3.2.3.

Endocarpos

Os resultados de umidade, massa, volume unitário, massa específica aparente e real, porosidade, circularidade, esfericidade, área projetada e superficial obtidos são apresentados nas Tabelas 1 e 2, bem como a estatística descritiva.

Tabela 1: Estatística descritiva da umidade, massa, volume unitário, massa específica aparente e massa específica real das sementes dos frutos de macaúba

	Sementes de frutos de macaúba				
	U_{bs}	m (g)	V_u (dm ³)	ρ_{ap} (g/dm ³)	ρ (g/dm ³)
Média	0,069	12,154	0,010	601,554	1205,993
Desvio Padrão	0,009	2,469	0,002	6,649	44,379
CV %	13,364	20,310	19,873	1,105	3,680

U – Umidade média das sementes; m – massa média das sementes; V_u – volume médio unitário das sementes; ρ_{ap} – massa específica aparente média das sementes; ρ – massa específica real média das sementes; CV-coeficiente de variação.

Tabela 2: Estatística descritiva da porosidade, circularidade, excentricidade, área projetada e área superficial das sementes dos frutos de macaúba

	Sementes de frutos de macaúba				
	ϵ	Cr	E	A_p (mm ²)	S (mm ²)
Média	0,501	0,952	0,882	688,417	2252,385
Desvio Padrão	0,019	0,031	0,017	94,368	288,916
CV %	3,779	3,254	1,888	13,707	12,827

ϵ – Porosidade média das sementes; Cr - Circularidade média das sementes; E- Excentricidade média das sementes; A_p – Área projetada média das sementes; S – Área Superficial média das sementes; CV-coeficiente de variação.

De acordo com Pimentel Gomes (1985), valores de coeficiente de variação até 10% são considerados baixos para produtos agrícolas, entre 10 e 20% médios, de 20 a 30% altos e muito altos quando acima de 30%. Este valor de CV indica que a dispersão dos dados na Tabela 1, apresentou baixo coeficiente de variação para massa específica aparente e real, médio CV para umidade e volume unitário, e alto para a massa das sementes.

O fato das sementes serem de diversas plantas, influencia diretamente nas variações de massa e dimensões. Considerando o método utilizado para cálculo do volume unitário, observa-se que as dimensões do material são responsáveis pelo coeficiente de variação médio apresentado.

Houve uma baixa dispersão no quesito massa específica real. Visto o mesmo condicionamento do material vegetal, não se observa fator determinante para a dispersão apresentada, podendo assim ter influência intrínseca do acesso ou fruto analisado.

Os valores de CV na Tabela 2, indicam baixa dispersão para porosidade, excentricidade e circularidade, e média para área projetada e superficial das sementes.

A esfericidade corresponde ao quanto o formato de um produto se aproxima ao de uma esfera de mesmo volume (Firmino et al., 2010). Segundo Bal e Mishara (1988) e Dutta et al. (1988), são considerados esféricos os grãos que possuem valores de esfericidade maiores que

80%. Sendo assim, as sementes dos frutos de macaúba podem ser consideradas esféricas, por apresentarem 88,2% e baixo CV, (PIMENTEL GOMES, 1985).

Outro importante parâmetro é a circularidade que equivale a medida da agudez dos cantos de um objeto (Pabis & Jaya, 1998). De acordo com Firmino et al. (2010), a caracterização da circularidade tem como finalidade indicar o quanto a forma do produto em repouso se aproxima de um círculo. De acordo com Couto et al. (1999), a massa específica e a porosidade existente na massa de grãos são parâmetros relevantes no que envolve a comercialização do produto e dimensionamento eficiente de estruturas de recepção, beneficiamento e armazenamento. Assim, o valor de 95,2% mostra que as sementes se aproximam muito de círculos.

As áreas, projetada e superficial, apresentaram CV médio. Ressalta-se a complexidade da estimação da área superficial, essa envolvendo diversas características, como rugosidade do material e irregularidades em seu formato. Assim, sendo os dados apresentados, uma estimativa da realidade.

Não se pode avaliar a velocidade terminal desse material, uma vez que o dispositivo utilizado não garantiu o princípio de flutuação.

Endospermas

Os resultados de umidade, massa, volume unitário, massa específica aparente e real, porosidade, circularidade, esfericidade, área projetada e superficial e velocidade terminal obtidos são apresentados nas Tabelas 3, 4 e 5, bem como a estatística descritiva.

Tabela 3: Estatística descritiva da umidade, massa, volume unitário, massa específica aparente e massa específica real dos endospermas dos frutos de macaúba

Endospermas de frutos de macaúba					
	U_{bs}	m (g)	V_u (dm ³)	ρ_{ap} (g/dm ³)	ρ (g/dm ³)
Média	0,0568	1,995	0,00202	568,141	996,132
Desvio Padrão	0,00607	0,521	0,00056	2,737	45,592
CV %	10,694	26,142	27,919	0,482	4,577

U – Umidade média dos endospermas; m – massa média dos endospermas; V_u – volume médio unitário dos endospermas; ρ_{ap} – massa específica aparente média dos endospermas; ρ – massa específica real média dos endospermas; CV-coeficiente de variação.

Tabela 4: Estatística descritiva da porosidade, circularidade, excentricidade, área projetada e área superficial dos endospermas dos frutos de macaúba

Endospermas de frutos de macaúba					
	ϵ	Cr	E	A_p (mm ²)	S (mm ²)
Média	0,429	0,915	0,869	231,670	767,277
Desvio Padrão	0,0254	0,0652	0,0479	42,284	142,491
CV %	5,936	7,133	5,508	18,252	18,571

ϵ – Porosidade média dos endospermas; Cr - Circularidade média dos endospermas; E- Excentricidade média dos endospermas; A_p – Área projetada média dos endospermas; S – Área Superficial média dos endospermas; CV-coeficiente de variação.

Tabela 5: Estatística descritiva da velocidade terminal dos endospermas dos frutos de macaúba

	Endospermas de frutos de macaúba	
	1 endosperma (m/s)	5 endospermas (m/s)
Média	14,994	14,444
Desvio Padrão	0,827	0,334
CV %	5,515	2,310

CV-coeficiente de variação.

De acordo com Pimentel Gomes (1985), os CVs apresentados na Tabela 3 e 4, massa específica aparente e real, porosidade, excentricidade, circularidade, correspondem a uma baixa dispersão nos resultados.

A umidade, área projetada e área superficial, apresentam média dispersão. Fatores esses seguindo mesmo padrão das sementes.

Vale ressaltar a alta dispersão de massa e volume de endospermas. Isso se deve ao fato da não uniformidade das sementes quebradas. Contudo, vale lembrar a aleatoriedade da amostra coletada.

A determinação da velocidade terminal das sementes pode ser realizada colocando-se os materiais para flutuar em uma corrente ascendente de ar. A velocidade necessária para o equilíbrio do material no fluxo de ar constante é igual à velocidade terminal do produto.

Em produtos agrícolas relatam que, a velocidade terminal é dada em função do teor de água, nesse caso, os endospermas possuíam 5,68% de umidade.

A velocidade terminal apresentou baixo CV, indicando que o material não possui muita dispersão quanto a esse quesito.

Fragmentos de Endocarpos padronizados entre 16 e 19 mm de circunferência.

Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 6, bem como a estatística descritiva.

Tabela 6: Estatística descritiva da velocidade terminal dos fragmentos de endocarpos dos frutos de macaúba, padronizados entre 16 e 19 mm de circunferência

	Velocidade terminal dos fragmentos de endocarpos de frutos de macaúba	
	Massa do teste (g)	Velocidade Terminal (m/s)
Média	60,744	8,813
Desvio Padrão	4,585	0,449
CV %	7,548	5,096

CV-coeficiente de variação.

Tendo em vista que a velocidade terminal é uma propriedade aerodinâmica importante no dimensionamento e operação de equipamentos de pré-limpeza e limpeza de sementes, e que há pouca informação disponível sobre o beneficiamento de macaúba, a velocidade terminal dos fragmentos de endocarpo se torna requisito básico para a viabilidade de separação entre essa parte e os endospermas.

Sendo a velocidade terminal observada com média $8,81 \text{ m s}^{-1}$, observa-se uma tendência de diferença entre endospermas e fragmentos de endocarpo. Diferença essa essencial para a possibilidade de separação pelo equipamento avaliado conjuntamente no trabalho.

CONCLUSÕES

As propriedades físicas e mecânicas aferidas são essenciais para etapas de processamento e pós-processamento da macaúba. Influenciando diretamente em trabalhos e experimentos ligados à macaúba.

REFERÊNCIAS

- BAL, Satish; MISHRA, H. N. **Engineering properties of soybean**. In: Proceedings of the national seminar on soybean processing and utilization in India. 1988. p. 146-165.
- COUTO, S. M; MAGALHÃES, A. C.; QUEIROZ, D. M.; BASTOS, I. T. **Massa específica aparente e real e porosidade de grãos de café em função do teor de umidade**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.1, p.61-68, Campina Grande, 1999.
- DUTTA, S. K.; NEMA, Vi K.; BHARDWAJ, R. K. Physical properties of gram. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 39, n. 4, p. 259-268, 1988.
- FIRMINO, P. T.; WANDERLEY JÚNIOR, J. S. A.; SILVA, A. C.; SANTOS, D. C.; SANTOS, F. N. **Determinação das propriedades físicas de sementes de pinhão manso**. In. IV Congresso Brasileiro de Mamona & I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas. 2010. João Pessoa – PB. Inclusão Social e Energia: Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão. p. 2025-2030.2010.
- MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- PABIS, S.; JAYAS, D.S.; CENKOWSKI, S. **Grain drying: theory and practice**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 303p. 1998.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. São Paulo: Nobel, 1985. 467 p.