

DETERMINAÇÃO DO VOLUME DO MESOCARPO DE FRUTOS DE MACAÚBA UTILIZANDO MODELOS DE SUPERFÍCIES E PROCESSAMENTO DE IMAGENS

Eduardo Vicente do Prado

Professor de Engenharia Civil - Faculdade de Ciências e Tecnologias de Viçosa - UNIVIÇOSA
ev_prado@yahoo.com.br

Anderson Gomide Costa

Professor do Departamento de Mecanização Agrícola - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
andersongc7@gmail.com

Francisco de Assis de Carvalho Pinto

Professor do Departamento de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Viçosa
facpinto@ufv.br

Sofrimento Fénias Savanto Matsimbe

Professor do Departamento de Mecanização - Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
Agrícola
smatisimbe.mz@gmail.com

Danilo Roberto Loureiro

Professor do Centro de Ciências - Universidade Federal do Ceará
loudanilo@yahoo.com.br

RESUMO

Diversos métodos têm sido aplicados para se extrair informações sobre área superficial e volume de frutos por meio de técnicas de processamento de imagem para o controle de qualidade e classificação de frutos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um algoritmo para estimativa do volume do mesocarpo do fruto de macaúba por meio de técnicas de processamento de imagens digitais. Para aquisição das imagens, utilizou-se uma câmera digital, e um computador para o processamento dos dados. Os frutos foram colocados individualmente no centro do campo de visão da câmera e duas imagens RGB do fruto foram capturadas com diferença na posição em torno do eixo longitudinal do fruto. O volume dos frutos foi estimado utilizando uma aproximação para modelos esférico e elipsóide. Os valores encontrados foram comparados por meio de análises estatísticas com valores de referência do volume dos frutos obtidos pelo método do deslocamento da coluna de água. Os resultados demonstraram que tanto a aproximação realizada pelo modelo esférico quanto pelo elipsóide foram capazes de estimar o volume do mesocarpo da macaúba.

Palavras-chave: Imagens digitais. Modelo esférico. Modelo elíptico. Deslocamento de coluna de água.

ABSTRACT

Different methods have been applied to extract information about surface area and volume of fruits through image processing techniques for fruit quality control and classification. The objective of this research was developed an algorithm to estimate the volume of macaw fruit mesocarp through digital image processing techniques. A digital camera was used for image acquisition and a computer for data processing. The fruits were positioned in the center of the camera field of view of and two RGB images of the fruit were acquired with difference in position around the longitudinal axis of the fruit. The volume of fruit was estimated using an approximation to spherical and elliptical models. The results were compared through statistical analysis with reference values of the volume of fruit obtained by the displacement of water column method. The results demonstrated that the estimation performed by both models, spherical and elliptical, were able to estimate the volume of macaw fruit mesocarp.

Keywords: *Digital images. Spherical model. Elliptical model. Displacement of the water column.*

1. INTRODUÇÃO

A macaúba (*Acrocomia aculeata*) é uma palmeira nativa de florestas tropicais. Esta planta habita áreas abertas e com alta incidência solar, adaptando-se bem as condições climáticas brasileiras, sendo encontradas com grande abundância no cerrado brasileiro (NOVAES, 1952). Diversos estudos demonstram que a planta tem um futuro promissor na área de biocombustível e na área oleoquímica (HIANE, 2006; NUCII, 2007). O óleo da polpa de macaúba é composto aproximadamente de 80% de ácidos graxos insaturados e 20% de ácidos graxos saturados, sendo o principal constituinte, o ácido oleico, correspondendo cerca de 60% do conteúdo, o que confere ao fruto características fundamentais para produção de biodiesel de boa qualidade. A determinação de características biométricas como peso, volume, diâmetros dos frutos, área superficial e espessura do endocarpo da macaúba são importantes no processo de avaliação e seleção dos frutos (MANFIO et al., 2011), além de serem características importantes na comercialização dos frutos. Diversos métodos têm sido aplicados para se extrair informações sobre área superficial e volume de frutos por meio de técnicas de processamento de imagem, especialmente para o

controle de qualidade e classificação de frutos (RASHIDI et al., 2008; KHOJASTEHNZHAND et al., 2009). A vantagem principal da utilização do processamento e análise de imagens para a determinação de atributos físicos de objetos está no fato de serem considerados métodos não destrutivos e de grande precisão (FORBES e TATTERSFIELD, 1999).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um algoritmo para estimativa do volume do mesocarpo do fruto de macaúba por meio de técnicas de processamento de imagens digitais, aproximando o fruto a uma superfície elíptica e a uma esférica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados 20 frutos de macaúba provenientes de várias palmeiras de populações naturais, dos municípios de Acaiaca (20° 23' 33" S, 43° 07' 31" O e 601 m de altitude) e Piranga (20° 41' 46" S, 43° 15' 28" O e 606 m de altitude) no estado de Minas Gerais. Em cada região, os cachos foram marcados na antese para o acompanhamento do desenvolvimento e maturação dos frutos. Cinco cachos (um cacho/planta) foram marcados em cada população, totalizando dez cachos. A

colheita dos frutos foi realizada aos 465 e 466 dias após a antese para Acaiaca e Piranga, respectivamente. Em cada cacho foram colhidos dois frutos, um na posição apical e outro na posição basal. A unidade amostral consistiu de um fruto em cada posição do cacho, totalizando 20 amostras que foram utilizados para desenvolver os dois algoritmos do processamento de imagens digitais: modelo de aproximação esférica (MPID-esf) e elíptica (MPID-elip).

Para aquisição das imagens digitais foi utilizada uma câmera digital Sony Cyber Shot 1.4 Mb, uma fonte de luz fluorescente circular e um computador para o processamento dos dados. A câmera digital foi colocada sobre as amostras a uma distância de 25 cm do fruto. A fonte de luz foi montada sobre uma armação ajustável e acoplada a mesa de medição. Os frutos foram colocados no centro do campo de visão da câmera, e duas imagens RGB foram capturadas antes e depois de uma rotação manual do fruto de 90° em torno do eixo longitudinal. Os comprimentos e diâmetros maiores e menores foram medidos com um paquímetro digital. Essas medidas foram utilizadas para a estimativa do volume.

O volume utilizado como padrão foi determinado pelo método

de deslocamento da coluna de água (MDCA) (Figura 1), descrito em Manfio *et al.* (2011). No qual os volumes dos frutos foram determinados utilizando uma proveta volumétrica contendo 200 mL de água. O fruto foi introduzido na proveta, deslocando o volume inicial de água, obtendo-se assim um novo volume. Pela diferença entre volume final e o inicial calculou-se o volume do fruto.

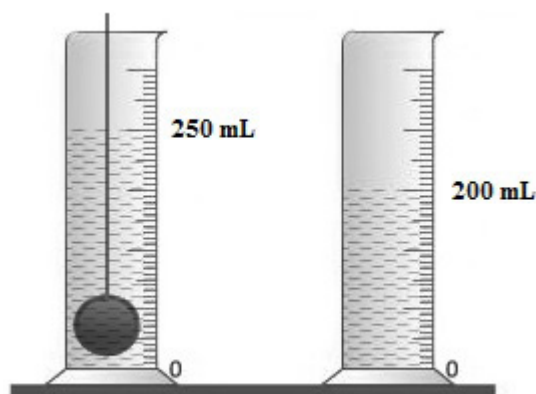


Figura 1. Método de deslocamento da coluna de água.

Posteriormente, foi desenvolvido um algoritmo para estimar o volume aproximando o fruto a esfera regular de raio r_e (MPID-esf). O raio utilizado foi obtido a partir da média entre os diâmetros maiores (a e c) e menores do fruto (b e d), como apresentado na figura 1. Por meio da Eq. 1, foi estimado o volume do fruto:

$$V_m = \frac{4}{3} \pi r_e^3 \quad \text{Eq.1}$$

Para a aproximação pelo modelo elipsoide (MPID-elip), os raios utilizados foram obtidos a partir do semi-eixo maior a , semi-eixo menor b , e diâmetro do eixo transversal c (Figura 2). Por meio da Eq. 2, estimou-se o volume do fruto:

$$V_m = \frac{4}{3} \pi abc \quad \text{Eq. 2}$$

O volume do mesocarpo foi obtido por meio da Eq. 3:

$$V_{\text{mesocarpo}} = \frac{V_m \cdot Ppm}{100} \quad \text{Eq. 3}$$

Em que:

Ppm = proporção média de volume do mesocarpo (%), obtida pelo somatório da relação entre volume do mesocarpo pelo volume total de cada fruto estimado pelo método do deslocamento de água (MANFIO et al., 2011).

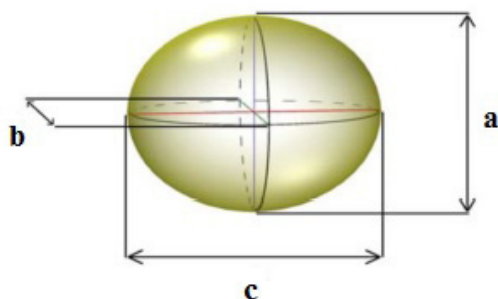


Figura 2. Dimensões de um elipsoide.

Para a comparação dos resultados obtidos, foi realizado um teste de média para comparação dos volumes determinados pelo processamento de imagem e pelo método de deslocamento de água. Foi calculado o coeficiente de correlação (r) comparando os três métodos utilizados (MPID-esf vs MDCA; MPID-elip vs MDCA; MPID-elip vs MPID-esf). Com intuito de refinar as análises estatísticas, utilizou-se também o procedimento estatístico proposto por Leite e Oliveira (2002) para avaliar métodos analíticos. O método se baseia na combinação do teste $F(H_0)$ modificado de Graybill (1976), do teste t dos erros médios e do coeficiente de correlação linear. Segundo Leite e Oliveira (2002) estas análises são as mais indicadas para avaliar a exatidão e acurácia do método alternativo (desenvolvido) em relação ao método padrão. No modelo esférico considera-se a média do raio a , raio b , raio c e raio d . No modelo elipsóide considera-se os valores dos raios a , b e c .

A raiz quadrada do erro médio quadrático entre os algoritmos e MDCA dada pela Eq.4:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (y_l - y_j)^2}{n}} \quad \text{Eq. 4}$$

Onde:

n = numero de amostras;

y_i = valor observado através do MDCA;

y_j = valor estimado pelo algoritmo (MPID-esf ou MPID-elip).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os valores dos volumes estimados pelos dois algoritmos e os valores obtidos experimentalmente através do MDCA, notou-se que a estimativa do volume pelo algoritmo MPID-esf proporcionou maior erro médio (4,4%) em relação aos valores determinados pelo MDCA (Tabela 1), contrastando com o algoritmo MPID-elip, que proporcionou uma estimativa mais próxima dos valores experimentais, demonstrado pelo menor erro médio (1,7 %). A amostra 17 registou o maior erro nas estimativas dos volumes através dos algoritmos, 19,3 % para MPID-esf e 12,3 % para o MPID-elip.

Tabela 1. Valores do volume (cm³) do mesocarpo dos frutos de macaúba determinados pelo MDCA, MPID-esf e MPID-elip, e os respectivos erros (e) em porcentagem.

Amostra	Volumes (cm3)		e	Volumes (cm3)	
	MDCA	MPID-esf	(%)	MPID-elip	(%)
1	32,0	31,3	2,1	31,8	0,6
2	27,8	27,6	0,7	27,9	0,4
3	31,2	36,7	17,6	30,8	1,3
4	34,1	36,5	7,0	33,7	1,2
5	28,4	29,1	2,4	28,6	0,7
6	28,6	30,2	5,5	28,9	1,0
7	31,2	33,5	7,3	31,9	2,2
8	28,5	28,8	1,0	28,5	0,0
9	22,1	21,2	4,0	21,8	1,4
10	25,6	25,8	0,7	25,8	0,8
11	30,1	30,8	2,3	30,4	1,0
12	25,3	25,5	0,7	25,5	0,8
13	26,3	27,0	3,6	27,1	3,0
14	27,3	27,4	0,3	26,5	2,9
15	25,0	24,1	3,6	25,1	0,4
16	28,7	30,1	4,8	28,6	0,3
17	22,8	27,2	19,3	25,6	12,3
18	28,2	27,4	2,8	28,7	1,8
19	26,4	26,5	0,3	26,1	1,1
20	28,4	28,5	3,5	28,4	0,0

MDCA. = método de determinação do volume pelo deslocamento de coluna de água. MPID-esf = modelo de aproximação esférica. MPID-elip = modelo de aproximação elíptica. e = erro entre o método MDCA e os métodos MPID-esf e MPID-elip.

Na relação entre os volumes estimados pelo método da coluna de água (MDCA) e os volumes do mesocarpo estimado pelos modelos de aproximação esférico e elíptico (Tabela 2), observa-se que ao se utilizar o modelo de um esferóide pode-se reduzir o desvio, sendo este 1,70% quando utilizado o modelo elíptico,

e 4,32% quando utilizado o modelo esférico. Portanto, os resultados demonstram que ao se considerar as diferenças de medidas dos diâmetros do fruto se obtêm maior precisão nos valores estimados.

Tabela2. Desvio padrão entre os modelos utilizados para estimativa do volume do mesocarpo da macaúba.

Estatística	MDCA	MPID-esf	MPID-elip
Volume médio (cm ³)	27,91	28,78	28,10
Desvio em relação ao MDCA (%)		4,32	1,70

MDCA. = método de determinação do volume pelo deslocamento de coluna de água. MPID-esf = modelo de aproximação esférica. MPID-elip = modelo de aproximação elíptica.

Baseando-se no coeficiente de correlação foi possível observar que o modelo elíptico se mostrou ser mais qualificado para a estimativa do volume do fruto, com $r = 0,97$ (Tabela 3). No entanto, notou-se também uma correlação forte para comparação realizada entre o modelo esférico e MDCA, $r = 0,90$, e entre o modelo elíptico e modelo esférico, $r = 0,93$. Quanto ao teste de médias, todas as comparações foram consideradas não significativas, ou seja, não houve diferenças entre os métodos comparados. Ressalta-se ainda que apesar de que o modelo elíptico apresentou um desvio menor

e um maior coeficiente de correlação em relação ao método padrão, pelo teste de médias foi verificado que não houve diferenças significativas quando comparado com o método de aproximação do modelo esférico, indicando que ambos os modelos podem ser utilizados para a estimativa do volume do fruto.

Tabela 3. Coeficiente de correlação para comparação das estimativas e volume.

Métodos Analisados	Correlação (r)
MPID-esf vs MDCA	0,90
MPID-elip vs MDCA	0,97
MPID-esf vs MPID-elip	0,93

MDCA = método de determinação do volume pelo deslocamento de coluna de água. r = coeficiente de correlação linear. MPID-esf = modelo de aproximação esférica. MPID-elip = modelo de aproximação elíptica.

O teste L&O, proposto por Leite e Oliveira (2002), é uma abordagem estatística mais rigorosa, pois utiliza vários parâmetros para avaliação da diferença entre os modelos. Assim, foram comparados os resultados dos 3 métodos utilizados para o cálculo do volume, retomando uma resposta de igualdade estatística ou não dos dados (Tabela 4). Observou-se pelo teste de média que todas as comparações entre os métodos de estimativa do volume foram consideradas estatisticamente diferentes.

Tabela 4. Teste L&O para as estimativas e volume do mesocarpo dos frutos de macaúba.

Métodos Analisados	F(Ho)	t (e)	$r_{yiyi} \geq 1 - \geq 1 - \bar{e} $	Resposta
MPID-esf vs MDCA	10,64*	2,15*	Não	Diferentes
MPID-elip vs MDCA	0,79 ns	1,11 ns	Não	Diferentes
MPID-esf vs MPID-elip	4,55*	1,87 ns	Não	Diferentes

*= significativo ao nível de 5% de probabilidade. ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade. MDCA = método de determinação do volume pelo deslocamento de coluna de água. F(Ho) = valor do teste F modificado por Graybill (1976). $||$ = erro médio entre os algoritmos e MDCA. r_{yiyi} = coeficiente de correlação linear. t(e) = teste t do erro médio entre os algoritmos e MDCA. MPID-esf = modelo de aproximação esférica. MPID-elip = modelo de aproximação elíptica.

O volume estimado através do algoritmo MPID-esf foi comparado com o volume determinado pelo MDCA, com R^2 de 0,8133 (Figura 3) e RMSE de 1,37. Os resultados mostraram que a diferença média verificada entre MDCA e algoritmo

MPID-esf foi de - 0,6 cm^3 . Não foram verificadas diferenças estatísticas entre o volume estimado pelo algoritmo MPID-esf e o volume determinado através do MDCA pelo teste t das amostras dependentes ($p > 0,05$). Para testar a significância da regressão foi feito a análise de variância (ANOVA), obtendo-se um valor $p = 5,61 \times 10^{-8}$, indicando que houve dependência entre as duas variáveis.

Outros autores relataram efeitos do tamanho do fruto na acurácia dos algoritmos de processamento de imagens digitais desenvolvidos para estimar o volume do fruto. Koc (2007) em melão, Rashidi e Seyfi (2008) e Rashidi e Gholami (2008) em kiwi e Rashidi et al. (2009) em melão cantaloupe, verificaram que embora a distância entre a câmera digital e o suporte onde foram captadas as imagens foi

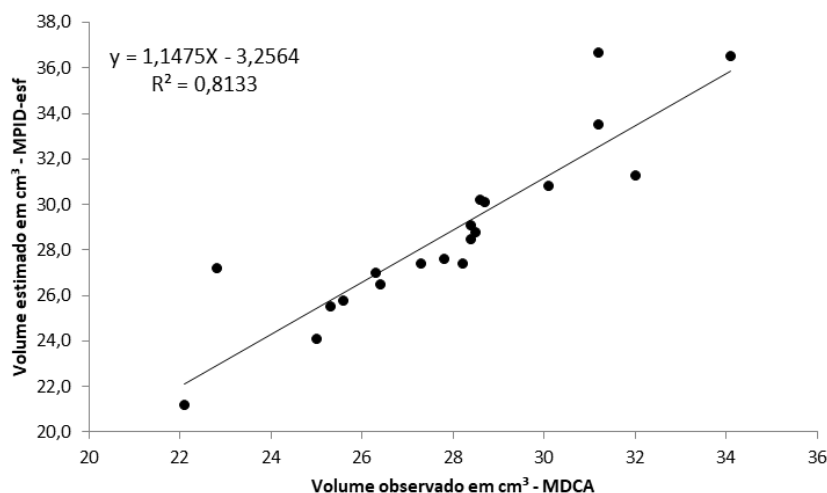


Figura 3. Valores do volume observados pelo MDCA *versus* estimados pelo MPID - esf.

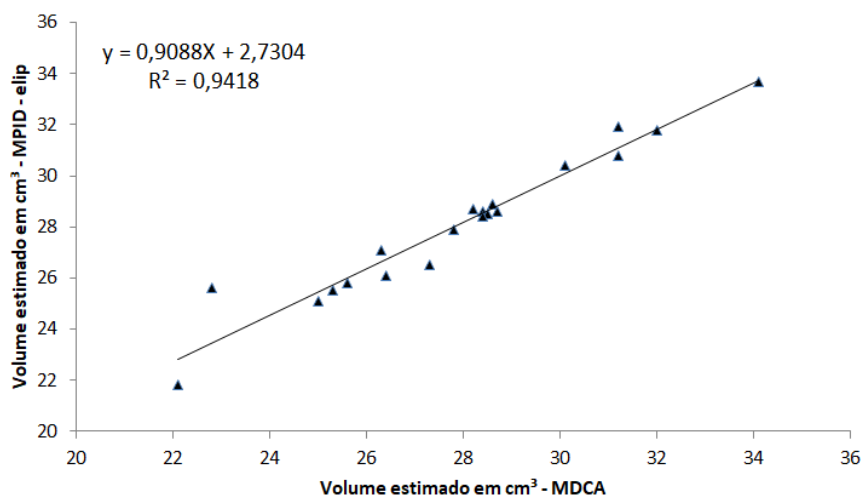


Figura 4. Valores do volume observados pelo MDCA *versus* estimados pelo MPID - elip.

constante, a distância entre o fruto e a câmera reduzia com o aumento do tamanho do fruto, resultando numa subestimação do volume em frutos pequenos e superestimação em frutos de tamanhos maiores.

No presente trabalho, não foram verificados os efeitos do tamanho do fruto na estimativa do volume (Tabela 1). Porém, deve se levar em conta a uniformidade das amostras utilizadas no estudo em termos do tamanho, o que constitui um dado relevante, pois pode ser que em caso de desuniformidade nas amostras, pudessem ser verificados os efeitos do tamanho do fruto.

O algoritmo MPID-elip também foi comparado com MDCA e o R^2 de 0,9418 (Figura 4) e RMSE de 0,69 foram verificados entre o volume estimado e o observado. Neste caso, os resultados do teste t das amostras

dependentes também não mostraram diferenças estatísticas entre o volume do algoritmo MPID-elip e o volume do MDCA ($p > 0,05$). A diferença média entre MDCA e algoritmo MPID-elip foi de $-0,2 \text{ cm}^3$. Foi feito a ANOVA para testar a significância da regressão, obtendo um valor $p = 1,46 \times 10^{-12}$, indicando que houve dependência entre as variáveis.

Com base nos resultados deste trabalho fica evidente que os dois algoritmos desenvolvidos são confiáveis e podem ser utilizados para estimar o volume do mesocarpo no fruto da macaúba. Porém, vale ressaltar que o algoritmo MPID-elip proporcionou uma estimativa do volume com menor erro em relação médio ao volume determinado pelo MDCA (observado), e também apresentou maior robustez (94%) dos resultados obtidos. Este melhor

desempenho do algoritmo MPID-elip em relação ao MPID-esf pode revelar que, apesar do fruto da macaúba não apresentar uma forma regular, a aproximação a um elipsóide permitiu descrever melhor o formato real do fruto da macaúba.

Ressalta-se que uma fonte de erro na determinação do volume do mesocarpo dos frutos pelos modelos propostos, percebida neste trabalho, foi a precisão das medidas das dimensões dos frutos, devido à superfície irregular dos mesmos.

4. CONCLUSÕES

A partir deste trabalho pode-se concluir que tanto a aproximação realizada pelo modelo esférico (MPID-esf) quanto à aproximação realizada pelo modelo elipsoide (MPID-esf) foram capazes de estimar o volume do mesocarpo da macaúba. O uso do modelo MPID-elip, no entanto, possibilitou uma maior aproximação dos resultados estimados pelo modelo padrão (Método do deslocamento da coluna de água - MDCA). A dificuldade na estimativa do volume do fruto de macaúba pelo processamento de imagem se deve principalmente pela irregularidade superficial do fruto, o que dificulta a utilização de

modelos regulares para a estimativa do volume. Além do mais, fontes de erro como a relação de escala e medições precisas realizadas pelo MDCA devem ser minimizadas para que se obtenha uma maior precisão nas estimativas de volume.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos cordiais ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, ao CNPq e a CAPES.

6. REFERÊNCIAS

- FORBES K. A.; TATTERSFIELD G. M. Estimating fruit volume from digital images. *Africon, IEEE*, v.1, p. 107-112. 1999.
- HIANE, P. A.; FILHO, M. M. R.; RAMOS, M. I. L.; MACEDO, M. L. R. Óleo da polpa e amêndoa de bocaiúva, *acrocomia aculeata* (jacq.) lodd. caracterização e composição em ácido graxos. *Brazilian Journal Food Technology*, v.8, n.3, p. 256-259, 2005.
- KHOJASTEHNAAZHAND. M.; OMID. M.; TABATABAEEFAR. A. Determination of Orange volume and

- surface area using image processing technique. *International Agrophysics*, 23, p. 237 – 242, 2009.
- KOC, A. B. Determination of Watermelon volume using ellipsoid approximation and image processing. *Journal of Postharvest Biol.*, v. 45, p. 366 – 371, 2007
- LEITE, H. G.; OLIVEIRA, F. H. T.. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. *Comm. Soil Sci. Plant Anal*, 17 p., 2002.
- MANFIO, C. E.; MOTOIKE, S.Y.; DOS SANTOS, C. E. M.; PIMENTEL, L. D.; QUEIROZ, V.; SATO, A. Repetibilidade em características biométricas dos frutos de Macaúba, *Ciência Rural*, Santa Maria, vol. 41, n. 1, p. 70 – 76, 2011.
- RASHIDI M; GHOLAMI, M.; ABBASSI, S. Cantaloupe volume determination through image processing, *J. Agri. Sci. Tech.*, vol. 11, p. 623 – 631, 2009.
- RASHIDI, M.; GHOLAMI, M. Determination of Kiwifruit volume using ellipsoid approximation and image processing methods. *International Journal of Agriculture & Biology*, vol. 10, n. 4. p. 375 – 380, 2008
- RASHIDI, M.; SEYFI, K. Determination of Kiwifruit volume using image processing. *World Applied Science Journal*, v. 3, n.2. p. 184 – 190, 2008.