

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DE GRÃOS DE SOJA UTILIZANDO-SE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Manoel Adalberto Guedes¹, Mário Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata²,
Maria Elita Martins Duarte² Paulo de Almeida Farias³

RESUMO

Este trabalho foi realizado com a finalidade de se determinar as características físicas de grãos de soja (comprimento, largura, espessura, circularidade, esfericidade, perímetro, área projetada e volume) através de três métodos de medição utilizando-se o método convencional, que é o uso de paquímetro e a projeção da imagem dos grãos em papel milimetrado na parede e efetuar a comparação desses valores com o método de medição proposto, que é a utilização de scanner de mesa para determinação dessas características através de técnicas de processamento digital de imagens; os métodos de medição são estatisticamente confiáveis; os resultados das medições permitiram concluir que o scanner de mesa pode ser utilizado para determinar as características físicas de grãos de soja; concluiu-se também que: o comprimento, largura, espessura, perímetro, área projetada e volume, aumentaram com o aumento do teor de água; a circularidade e a esfericidade diminuíram com o aumento do teor de água.

Palavras-chave: scanner de mesa, processamento digital de imagens, soja

PHYSICAL CHARACTERIZATION OF SOY BEANS BY USING DIGITAL IMAGE PROCESSING

ABSTRACT

This study seeks to determine the physical characteristics of soybeans (length, width, thickness, roundness, perimeter, projected area and volume) according to three methods of measurement; using the conventional approach that consists of a caliper and the projection image of the grains on graph paper, drawing comparison of these values with a proposed measurement method that employs a flatbed scanner to determine these characteristics through digital image techniques; the measurement methods are statistically reliable with the results of measurements demonstrating that the flatbed scanner can be used to determine the physical characteristics of soybeans. It was also concluded that the length, width, thickness, perimeter, projected area and volume increased with the increasing moisture content; whereas the roundness and sphericity decreased with the increasing moisture content.

Keywords: Flatbed scanner, digital image processing, soybean

Protocolo 13-2011-61 de 20/11/2011

¹ Físico, Mestre em Engenharia Agrícola/UFCG/CEEI/NERG e-mail: adalberto@ufcg.edu.br

² Professor Associado da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, Brasil Email: mmata@deag.ufcg.edu.br, elita@deag.ufcg.edu.br

³ Engenheiro Eletricista, Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campina Grande, PB, Brasil Email: paulofarias@deag.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

A Conab (2009) anunciou uma colheita de 134,6 milhões de toneladas de grãos do biênio 2008/2009, sendo este o segundo melhor resultado já registrado no Brasil, perdendo apenas para a safra anterior, quando foram colhidos 144,1 milhões de toneladas, de cujo volume colhido os grãos de soja representaram 57,088 milhões de toneladas, correspondendo a 42,4% da produção nacional do referido biênio.

A estimativa de aumento da produção de grãos para 2010 é na ordem de 3 a 5%, que ficará entre 139,036 a 141,681 milhões de toneladas, com a estimativa de crescimento de 1,1% ou redução de 0,5% na área cultivada; referidos dados demonstram que a agricultura brasileira já começou a apresentar elevação da sua produção, com base no aumento da produtividade e não no crescimento efetivo da área cultivada; ressalta-se que alguns fatores são determinantes para a obtenção desses resultados, entre os quais é possível citar, dentro da modernização da agricultura, a utilização de sementes melhoradas, máquinas e implementos agrícolas mais modernos.

Com o aumento da produção ocorre a necessidade crescente nas indústrias de alimentos e beneficiamento de grãos e sementes, por produtos mais homogêneos e com menor percentual de impurezas; para tanto, a engenharia vem aprimorando os processos de beneficiamento através de estudos das propriedades físicas dos grãos, para o projeto de novas máquinas e equipamentos (Santana e Braga, 1999).

Uma das formas de se aprimorar e tornar rápidos tais processos, é através da análise de imagens por computador; trata-se de uma técnica de inspeção rápida, econômica, objetiva e consistente que se tem expandido em diversos meios do setor industrial e cuja precisão e velocidade satisfazem uma exigência crescente por produção e qualidade. Por ser um método de inspeção não destrutivo encontra um vasto campo de aplicações na agricultura e indústria de alimentos, Brosnam & Sun (2002), permitindo uma determinação rápida e objetiva de parâmetros de imagem de grãos (forma, brilho, cores); esta análise pode ser correlacionada com várias propriedades reconhecidamente importantes sob perspectiva prática, como teor de nutriente, características varietais e qualidade além de ser utilizada com sucesso na identificação de ervas daninhas, na classificação, identificação, grau de pureza, infecções do produto por doenças e

determinação de características físicas de grãos e sementes (Shouche et al. 2001, Wiwart et al. 2006).

Segundo Paliwal et al. (2003) os recentes avanços em hardware e software têm possibilitado, a sistemas de análise de imagem, detectar, processar, analisar e exibir os objetos das imagens digitais com detalhes em tempo real; desta forma, a identificação e a classificação dos grãos em sistemas baseados em técnicas de digitalização de imagens e fotografia, estão se tornando potencialmente viáveis.

Em face ao exposto o objetivo da pesquisa foi o desenvolvimento de um método visando determinar as propriedades físicas de grãos de soja através da análise de imagens digitalizadas com o uso de scanner de mesa e compará-las com os métodos tradicionais de medição por paquímetros, planímetros, curvímeter e análise por imagem projetada por luz em parede com papel milimetrado e por imersão e deslocamento de água.

MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

A soja (*Glycine max* (L.) Meer) foi adquirida na feira central de Campina Grande, Paraíba, sendo classificada em grupo um, classe amarela, tipo um; em seguida, os grãos passaram por uma pré-seleção manual para tirar os grãos quebrados, chochos, mofados, muito pequenos, mal-formados, com o tegumento enrugado, com coloração muito escura, grão sem tegumento e cotilédones partidos; os grãos restantes, 4,7 kg, foram colocados em um recipiente fechado.

Determinação da morfologia dos grãos

Uma amostra de grãos com massa aproximada de 400 gramas foi colocada em um cesto de tela o qual foi depositado no interior de um recipiente de vidro hermético com um espaçador e apenas água no seu interior. Na parte interna da tampa do recipiente foi colocado um pequeno ventilador. Neste ensaio foi utilizado o método dinâmico na determinação do teor de água de equilíbrio dos grãos, cujo equilíbrio é acelerado através da movimentação do ar na atmosfera que envolve

o produto, feito através da passagem forçada do ar na massa de grãos pelo ventilador (Ditchfield 2000) para que o processo de equilíbrio fosse mais rápido, até alcançar os teores de água estabelecidos, cujos valores foram, respectivamente, para o teor de água em que estavam armazenados (9,87%) e 13,7, 16,48, 18,20, 19,76% (b.u.).

Durante o processo de hidratação os cestos de arame com os grãos foram retirados dos recipientes de ensaio e pesados periodicamente, até atingir o teor de água necessário. O cálculo de ganho de massa de água essencial para que o grão atingisse o teor de água adequado para o ensaio, foi determinado através da Equação 1.

$$P_i = \left(\frac{100 - X_i}{100 - X_f} \right) \quad (1)$$

Sendo que P_f é a massa final da quantidade de sementes (kg), P_i a massa inicial da quantidade de sementes (kg), X_i teor de água inicial das sementes (%) e X_f teor de água final das sementes, (%).

Teor de água

Foi feita a determinação do teor de água dos grãos antes e depois dos ensaios; a massa foi determinada em balança analítica com precisão de 0,0001 g, e os grãos colocados em estufa sem circulação de ar na temperatura de $105^\circ\text{C} \pm 3\%$, em triplicata, pelo período de 24 horas, de acordo com as Regras para Análise de Sementes – RAS (Brasil, 2009); após este período foram novamente pesados para se obter, por diferença de massa, o teor de água inicial ou final do produto em base úmida, pela Equação 2.

$$\% X = \frac{m_i - m_f}{m_i} \quad (2)$$

Sendo %X o teor de água do produto em base úmida (%), m_i a massa inicial do produto (g) e m_f a massa final do produto (g).

Dimensão dos grãos

A avaliação das dimensões foi realizada para cada teor de água (teor de água no início do armazenamento (9,87%) e nos valores de 13,7, 16,48, 18,20, 19,76% (b.u.) com grupos de 50 grãos de soja numerados; a primeira

leitura foi com o auxílio de paquímetro digital com precisão de 0,01 mm, o grão foi medido em seus três eixos mutuamente perpendiculares (Figura 1) comprimento, largura e espessura; com esses valores foi possível determinar a circularidade, esfericidade, perímetro, área projetada, volume com as Equações 3, 4, 5, 6 e 7 respectivamente.

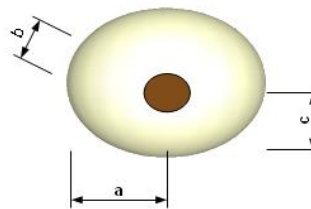


Figura 1 – Eixos do grão de soja, a (maior) b (intermediário) e c (menor)

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

$$\varphi = \left[\frac{\sqrt[3]{abc}}{a} \right] 100 \quad (4)$$

$$P = 2\pi \left[\frac{a+2}{2} \right] \quad (5)$$

$$A = \pi ab \quad (6)$$

$$V = \frac{4}{3} \pi abc \quad (7)$$

onde C é a circularidade (%), φ é esfericidade (%), Perímetro (mm), A é a área (mm^2) e V o volume das sementes em cm^3 .

A avaliação das dimensões foi realizada também com projeção dos mesmos 50 grãos de soja; em cada teor de água proposto cada grão foi projetado na posição de repouso, de perfil e de topo, seguindo-se os seus três eixos mutuamente perpendiculares com o auxílio de um retroprojetor, e seus contornos desenhados em papel milimetrado formato A4, com uma escala pré-estabelecida entre o tamanho real e o tamanho do objeto projetado; foi executada seguindo-se a metodologia delineada por Duarte et al. (2006); com o resultado das projeções foram determinados, para cada grão, comprimento, largura, espessura, circularidade, perímetro e área projetada, valores esses determinados nas imagens projetadas, esfericidade e volume.

Os valores para o cálculo da circularidade e a esfericidade de cinquenta grãos de soja, em cinco diferentes teores de água, foram determinados pelos contornos do grão projetado na posição de repouso, com uma escala pré-estabelecida entre o tamanho real e o tamanho do objeto projetado. Entre a área

projetada enquanto na área do menor círculo que circunscreve o grão em repouso, foi determinada a circularidade, Equação 8, em que: C e a circularidade (%), A_p e a área projetada do produto (mm^2) e A_c a área do menor círculo que circunscreve a projeção (mm^2); a esfericidade dos grãos foi determinada de acordo com a Equação 4, descrita por Mohsenin (1978) segundo a relação entre os volumes do sólido e o volume de uma esfera circunscrita a este sólido.

$$C = \frac{A_p}{A_c} \times 100 \quad (8)$$

Para se medir o perímetro do perfil do grão projetado usou-se um curvímetro graduado em centímetros, conforme Figura 2, método que consiste em contornar todo o perímetro do grão e anotar o valor indicado na sua escala.



Figura 2 – Curvímetro

Para se fazer a determinação da área projetada do grão utilizou-se o método de contagem dos espaços delimitados pela projeção, Figura 3, em que a área é igual ao somatório de todos os quadrados internos da área delimitada pela projeção do perfil do grão.

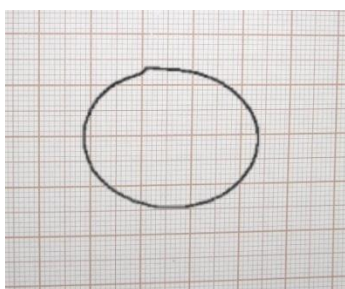


Figura 3 – Projeção do grão de soja na posição de repouso em papel milimetrado

O volume das sementes de soja foi calculado pela Equação 7 de acordo com a geometria dos grãos, que é uma elipsóide.

Análise da morfologia dos grãos

Foi delineada uma metodologia para análise dos grãos com o scanner e colocada sob forma de fluxograma para facilitar a compreensão de acordo como está na Figura 4.

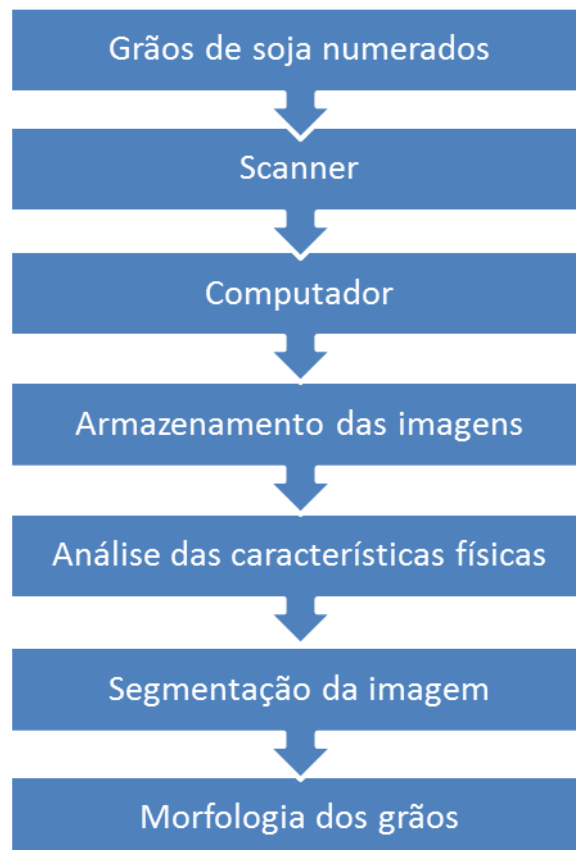


Figura 4 – Fluxograma de captura e análise da morfologia dos grãos

Grãos de soja numerados

Ao atingir o teor de água apropriado para o ensaio, os grãos para análise, já numerados um a um em ordem crescente até o número cinquenta, Figura 5, foram colocados em uma superfície de acrílico com guias, de forma que os grãos pudessem ser acomodados na sua posição de repouso, perfil e de topo. A placa de acrílico possui, em suas bordas, uma escala graduada em milímetros, para se fazer a calibração de medidas entre o valor digitalizado em pixel e o valor real em milímetros dos grãos analisados.

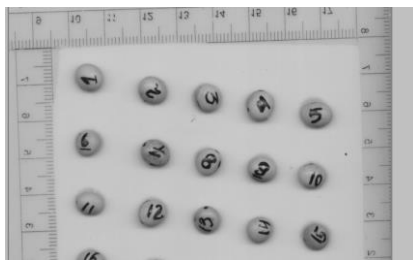


Figura 5 - Amostra de grãos de soja numerados na posição de repouso na bandeja de ensaio com escala graduada em milímetros

Scanner

A fim de realizar a varredura da imagem para caracterização das dimensões físicas dos grãos de soja, fez-se uma alteração física na fonte de alimentação do circuito do inversor da lâmpada fluorescente do scanner Genius Color Plus 600 de forma que, ao se ligar o scanner, ele realizasse todos os testes de inicialização para os quais foi projetado, ou seja, ele movimenta a unidade ótica de leitura CCD para uma faixa de branco de calibração que fica embaixo da tampa; esta faixa branca é que vai definir a intensidade do brilho da fluorescente; após este teste se inicia o processo de varredura da imagem; para ser colocada embaixo do scanner, desenvolveu-se uma caixa com quatro lâmpadas fluorescentes. Na unidade inversora da lâmpada do scanner foi adaptado um relé magnético e fixado um ímã na tampa; tão logo o scanner inicia seu deslocamento o relé magnético sai do raio de ação do campo magnético do ímã e abre seu contato, desligando o circuito elétrico que alimenta o inversor da lâmpada fluorescente, fazendo com que ela apague; o scanner realiza todo este procedimento de varredura no escuro e de forma invertida, Figura 7, dependendo apenas da luz difusa vinda de uma placa de acrílico opaca, negatoscópio, que está abaixo, Figura 6, para sensibilizar a unidade de leitura ótica (CCD).

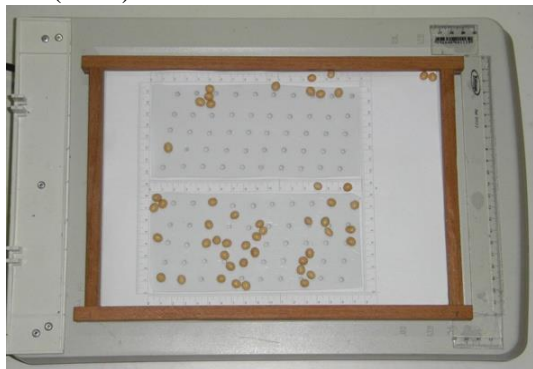


Figura 6 - Unidade de negatoscópio com amostra na bandeja de ensaio



Figura 7 – Unidade de scanner invertida, pronta para digitalizar com bandeja e amostra de grãos ajustada em seu interior

Computador

O computador utilizado tem um processador AMD Duron de 2.8 Gigabytes de clock, com memória RAM de 1 gigabyte e unidade de disco rígido com capacidade de armazenamento de 120 gigabytes, com o sistema operacional Windows XP.

Armazenamento das imagens

A forma para obtenção das imagens, embora simples, é de extrema importância para o sucesso do processamento. É feita, inicialmente, a criação de um banco de imagens a serem processadas e analisadas, fator que auxilia na organização da pesquisa, com imagens pré-selecionadas por meio de análise visual na tela do computador.

Análise das características físicas

Todas as imagens utilizadas passaram por uma etapa de pré-processamento no programa Paint Net 3.5, a fim de que as características de interesse, no caso os contornos dos grãos, fossem destacadas.

Os grãos são analisados na sequência predeterminada pela numeração, Figura 8, gerada no programa Image-Pro plus; para cada posição do grão na bandeja tem-se uma tabela com os dados das suas características físicas, como comprimento, largura, espessura, perímetro, área; esses valores foram exportados para o programa Excel, em forma de tabela.

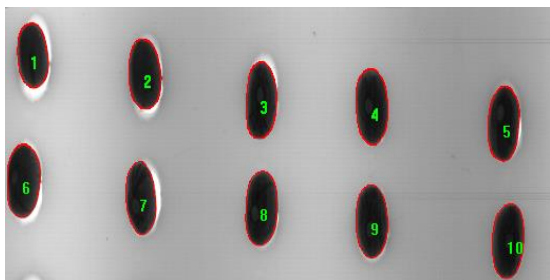


Figura 8 – Padrão de imagem gerada pelo software com a identificação individual de cada grão na sequência predeterminada pela bandeja

Segmentação de imagem

A segmentação da imagem para separar o plano de fundo do objeto principal de estudo, Figura 9, tem a função de delimitar os contornos de onde se vão extrair as informações principais foi feita com o programa Paint Net 3.5.

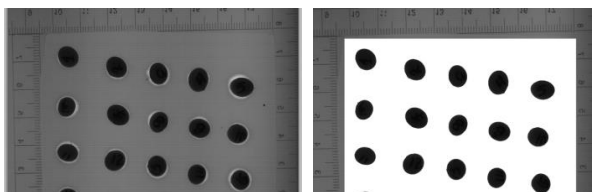


Figura 9 - Imagem com amostras de soja antes e após segmentação

Morfologia dos grãos

O software Image Pro Plus determina as características morfológicas do tamanho e da forma de grãos escaneados pela binarização das imagens, em que essas imagens são inscritas em um retângulo para definição dos seus principais eixos visando encontrar a relação entre a área do retângulo e a área da semente, Figura 10.

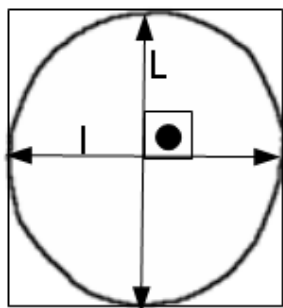


Figura 10 - Borda da imagem do grão de soja com seus principais eixos

Na Tabela 1 se apresentam algumas das características morfológicas extraídas dos grãos, após sua segmentação.

Tabela 1 – Características morfológicas dos grãos

Parâmetros	Definição
Área (mm ²)	Área (A) dos grãos é o somatório de todos os pixels que compõem a imagem do grão.
Perímetro (mm)	O perímetro (P) é o comprimento da borda segmentada de cada semente; é a soma matemática das distâncias Euclidianas, entre os sucessivos pares de pixel em volta desta borda (Visen 2002).
Comprimento do maior eixo (mm)	Comprimento da maior linha (L) que pode ser tocada na borda da semente e seja paralela à linha L.
Comprimento do menor eixo (mm)	Comprimento da maior linha (I) que pode ser tocada na borda da semente e seja perpendicular a linha L.

Para se determinar a circularidade, esfericidade e volume, foram utilizadas as Equações 3, 4 e 7, respectivamente, adotando-se os valores de comprimento, largura e espessura determinados pelo software de análise de imagem.

Análise estatística

Utilizou-se o programa Excel versão 2007 para encontrar as médias, o desvio padrão e a covariância dos valores ensaiados, e determinar os modelos matemáticos lineares e seus valores de coeficiente de determinação (R^2).

Análise de variância

Utilizou-se o programa Assistat Versão 7.5 Beta (2010) para análise de variância; o experimento foi o inteiramente casualizado e as médias comparadas pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade; os tratamentos foram os três métodos de medição das dimensões dos grãos (paquímetro, digitalização de imagens com scanner e projeção dos grãos) e do volume dos grãos (por deslocamento de água).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias dos fatores qualitativos comparadas pelo Teste de Tukey, em 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES**Variação do comprimento da soja**

Apresenta-se, na Tabela 2, o resultado da variação do comprimento da soja obtido das médias das medidas efetuadas por paquímetro, projetor e scanner tendo, como variáveis, cinco diferentes teores de água, 9,87, 13,70, 16,48,

18,20 e 19,76% verificando-se o seu comportamento através do teste de Tukey.

A Figura 11 contém os dados do comprimento do grão de soja em função de diferentes teores de água. Observa-se ainda que o comprimento do grão de soja aumenta com a elevação do teor de água, comportamento que pode ser observado através dos diferentes métodos de medição.

Tabela 2 – Valores médios do comprimento do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	7,74 ± 0,39 b	7,81 ± 0,38 b	7,89 ± 0,47 b	8,00 ± 0,46 b	8,19 ± 0,40 b
Projetor	8,05 ± 0,46 a	8,17 ± 0,46 a	8,18 ± 0,50 a	8,31 ± 0,52 a	8,51 ± 0,45 a
Scanner	7,79 ± 0,48 b	7,94 ± 0,45 b	8,04 ± 0,47 ab	8,23 ± 0,49 ab	8,39 ± 0,43 a
DMS	0,21098	0,20408	0,22773	0,23317	0,20236
C.V. (%)	5,66467	5,40327	5,98045	6,01804	5,10795

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

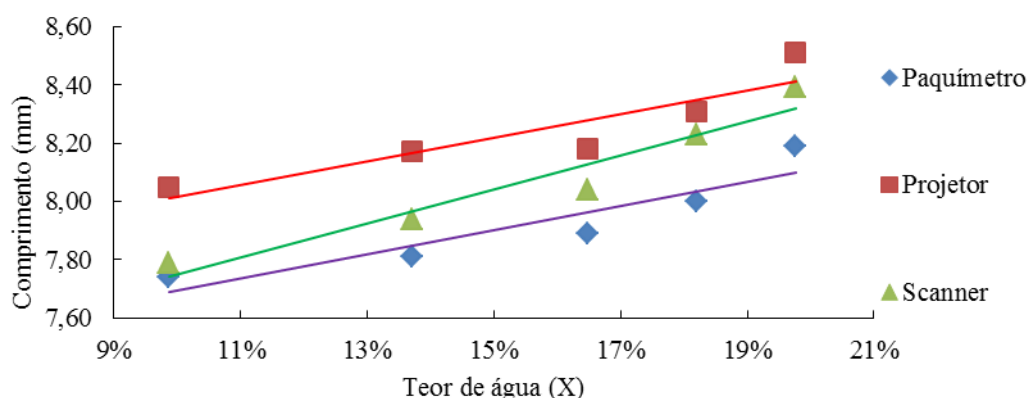


Figura 11 - Valores médios do comprimento do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Observa-se ainda que, com 9,87, 13,70, 16,48 e 18,20% de teor de água, não houve diferenças significativas entre as medições por paquímetro e scanner, diferindo em 5% das medidas com projetor; nos teores de água de 16,48, 18,20 e 19,76% não se verificaram diferenças significativas em nível de 5%, nas leituras do projetor e do scanner. Os valores do comprimento também apresentaram baixo valor de covariância em todas as escalas de teor de água.

Três expressões lineares e seus coeficientes de correlação foram definidos para encontrar os valores da medida do comprimento do grão de soja, através de paquímetro (Com_{pa}) (Equação 9), medidos utilizando-se a projeção da imagem (Com_{pr}) (Equação 10) e medidos através de scanner para digitalização do grão (Com_{es}) (Equação 11) que podem descrever a

relação da forma de medir o comprimento da soja, em função do teor de água.

$$Com_{pa} = 4,153x + 7,278 \quad R^2 = 0,848 \quad (9)$$

$$Com_{pr} = 4,037x + 7,614 \quad R^2 = 0,816 \quad (10)$$

$$Com_{es} = 5,828x + 7,168 \quad R^2 = 0,93 \quad (11)$$

Variação da largura da soja

Na Tabela 3 estão os resultados da variação da largura da soja obtidos das médias das medidas efetuadas por paquímetro, projetor e scanner e tendo, como variáveis, cinco diferentes teores de água, 9,87, 13,70, 16,48, 18,20 e 19,76%, e o resultado do teste de Tukey. Observa-se que não houve diferenças estatísticas em todos os teores de água entre as medidas com paquímetro e scanner; no teor de água de 19,76% não houve diferenças entre as medidas efetuadas com projetor e scanner.

Tabela 3 – Valores médios da largura do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

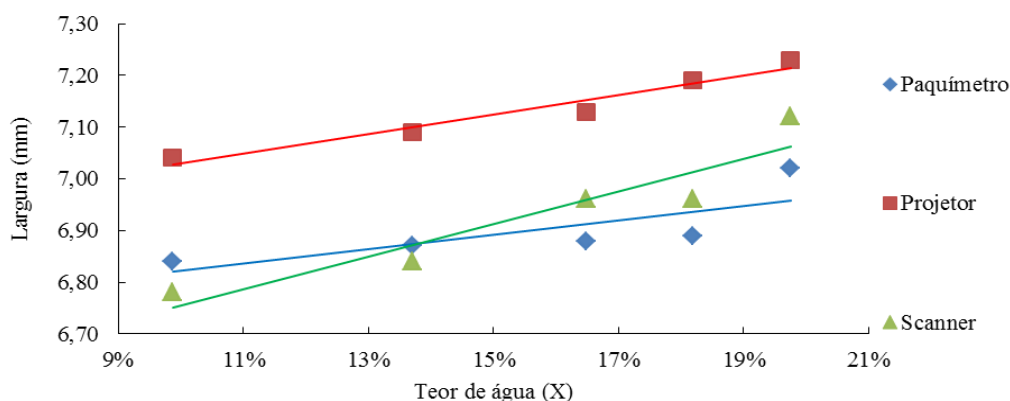
Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	6,84 ± 0,32 b	6,87 ± 0,32 b	6,88 ± 0,32 b	6,89 ± 0,34 b	7,02 ± 0,28 b
Projetor	7,04 ± 0,35 a	7,09 ± 0,33 a	7,13 ± 0,36a	7,19 ± 0,42 a	7,23 ± 0,33 a
Scanner	6,78 ± 0,40 b	6,84 ± 0,38 b	6,96 ± 0,38 b	6,96 ± 0,36 b	7,12 ± 0,31 ab
DMS	0,16982	0,16374	0,16855	0,17873	0,14550
C.V. (%)	5,20693	4,98482	5,09228	5,37906	4,31204

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si

Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

Apresentam-se, na Figura 12, os dados da largura do grão de soja em função de diferentes

teores de água através de três diferentes métodos de determinação.

**Figura 12** - Valores médios da largura do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Pode-se determinar, com os valores médios da largura, três expressões lineares, medidas com paquímetro (Lar_{PA}) (Equação 12), medidas utilizando-se a projeção da imagem (Lar_{PR}) (Equação 13) e medidas utilizando-se scanner para digitalização do grão (Lar_{ES}) (Equação 14) que podem descrever a relação entre a forma de medir a largura da soja em função do teor de água.

$$Lar_{pa} = 1,397X + 6,682 \quad R^2 = 0,616 \quad (12)$$

$$Lar_{pr} = 1,898X + 6,839 \quad R^2 = 0,955 \quad (13)$$

$$Lar_{es} = 3,141X + 6,441 \quad R^2 = 0,883 \quad (14)$$

Varição da espessura da soja

Da Tabela 4 consta o resultado da variação da espessura da soja obtida das médias das medidas efetuadas por paquímetro, projetor e scanner tendo-se, como variáveis, cinco diferentes teores de água, 9,87, 13,70, 16,48, 18,20 e 19,76%, e o resultado do teste de Tukey. Observa-se, na mesma tabela que, com exceção do teor de água de 19,76%, não houve diferenças significativas entre as medidas feitas com paquímetro e scanner, ocorrendo diferença em nível de 5% no teor de água de 9,87% entre as medidas do scanner e projetor sem, no entanto, haver diferenças até o teor de água de 19,76%.

Tabela 4 - Valores médios da espessura do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	5,85 ± 0,20 b	5,92 ± 0,31b	5,98 ± 0,33 b	6,01 ± 0,36 b	6,05 ± 0,32 b
Projetor	6,10 ± 0,29a	6,11 ± 0,40 a	6,18 ± 0,29 a	6,20 ± 0,39 a	6,34 ± 0,36 a
Scanner	5,85 ± 0,23 b	6,02 ± 0,29ab	6,04 ± 0,36 ab	6,12 ± 0,43 ab	6,26 ± 0,34a
DMS	0,11612	0,15969	0,15636	0,18698	0,16207
C.V. (%)	4,13169	5,59834	5,43961	6,45799	5,51492

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si

Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

A Figura 13 contém os dados da espessura do grão de soja em função do teor de

água utilizando-se três diferentes métodos de determinação.

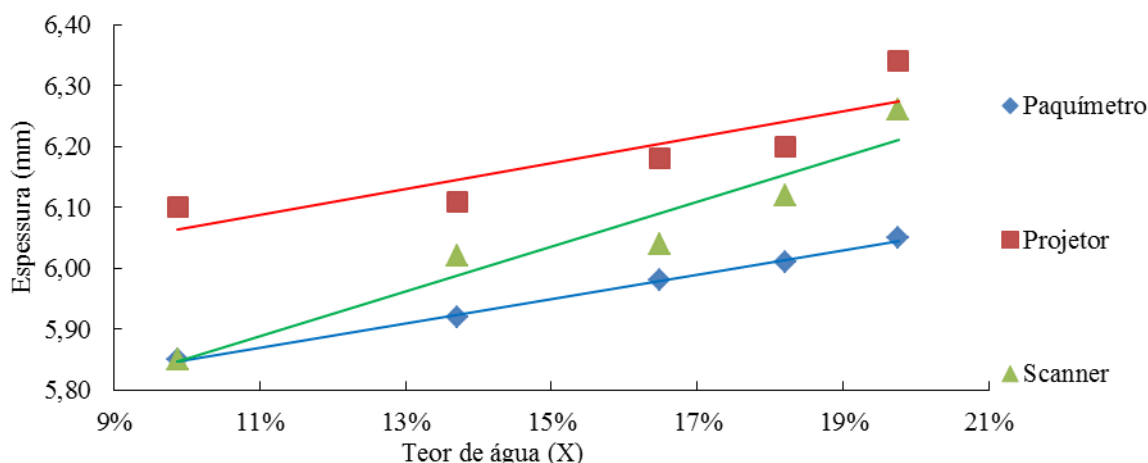


Figura 13 - Valores médios da espessura do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Com os valores médios da espessura e através das informações da Figura 3 pode-se determinar três expressões lineares: medidas com paquímetro (Esp_{pa}) (Equação 15), medidas utilizando-se a projeção da imagem (Esp_{pr}) (Equação 16) e medidas com scanner, para digitalização do grão (Esp_{es}) (Equação 17) que podem descrever a relação entre a forma de medir a espessura da soja em função do teor de água.

$$Esp_{pa} = 2,004X + 5,649 \quad R^2 = 0,997 \quad (15)$$

$$Esp_{pr} = 2,135X + 5,852 \quad R^2 = 0,753 \quad (16)$$

$$Esp_{es} = 3,671X + 5,485 \quad R^2 = 0,920 \quad (17)$$

Nos gráficos de comprimento, largura e espessura, Figuras 11, 12 e 13 observou-se que, respectivamente, as três dimensões da soja têm dependência direta com o aumento do teor de água, expandindo seus três eixos para uma faixa de teor de água entre 9,87 e 19,76%, fato este detectado pelas três formas de medição.

Com os resultados da Tabela 5 pode-se afirmar que o grão apresentou variação no comprimento, maior que as outras dimensões evidenciando que a menor variação foi da espessura, com medidas obtidas com paquímetro e projetor; constata-se também que as maiores variações no comprimento, largura e espessura da soja, foram observadas pelas medidas utilizando-se o método da projeção; assim, na medida em que o teor de água aumenta a soja sai de sua condição de esferoide e começa a ter uma condição de elipsoide pelo fato de seu comprimento ter um percentual maior de variação do que a largura, em função do aumento da água. Este aumento nos três eixos foi observado também nos ensaios de grãos de soja, feitos por Isik (2007), Tavakoli et al. (2009), Polat et al. (2006) e Kibar (2008). Ribeiro et al. (2005) relatam uma diminuição nos três eixos da soja durante o processo de secagem.

Tabela 5 - Valores iniciais e finais para comprimento, largura e espessura de soja nos seus respectivos teores de água, e seu percentual de variação

	Comprimento			Largura			Espessura		
	9,87%	19,76%	% Variação	9,87%	19,76%	% Variação	9,87%	19,76%	% Variação
Paquímetro	7,74	8,19	5,81	6,84	7,02	2,63	5,85	6,05	3,42
Projetor	8,05	8,51	5,71	7,04	7,23	2,70	6,10	6,34	3,93
Scanner	7,79	8,39	7,70	6,78	7,12	5,01	5,85	6,26	7,01

Circularidade da soja

A Tabela 6 contém os resultados obtidos da circularidade da soja entre as médias das medidas efetuadas por paquímetro, projetor e scanner e, como variáveis, cinco diferentes teores de água e o resultado do teste de Tukey. Analisando essas tabelas percebe-se, entre os

teores de água analisados, que não ocorreram diferenças estatísticas entre os métodos de medição por paquímetro e projetor, ocorrendo diferenças estatísticas entre projetor e scanner; apenas no teor de água de 18,20% não ocorreram diferenças significativas nos teores de água de 9,7, 13,70, 16,48 e 19,76%.

Tabela 6 – Valores médios da circularidade do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	88,42± 4,37a	88,00± 3,47 ^a	87,18±4,13 a	86,25±3,53 ab	85,90± 3,93a
Projetor	87,64 ±5,66 a	86,96± 4,24 a	86,39± 5,19 a	86,64± 3,96 a	85,12± 4,60a
Scanner	87,21 ±5,81 a	86,26± 4,09 a	86,69± 4,42a	84,73± 4,10b	84,99± 4,26a
DMS	2,51890	1,86981	2,17954	1,83320	2,02388
C.V. (%)	6,05925	4,53308	5,28323	4,56187	5,00656

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si
Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

Constata-se, na Figura 14, diminuição na circularidade da soja sempre que o teor de água aumenta, fato este observado pelas respostas dos três métodos de medição, observando-se que o método de medição utilizando o paquímetro mostra uma variação maior, indo de 88,42% com 9,87% de teor de água até uma

circularidade de 85,90% com teor de água de 19,76%; discordando dos valores de Tunde-Akitunde et al. (2005) que, ao analisar três variedades de soja em uma faixa de teor de água de 6,25 até 11,60% (b.s.) verificaram que a circularidade aumentou de 45,5 para 75,9%.

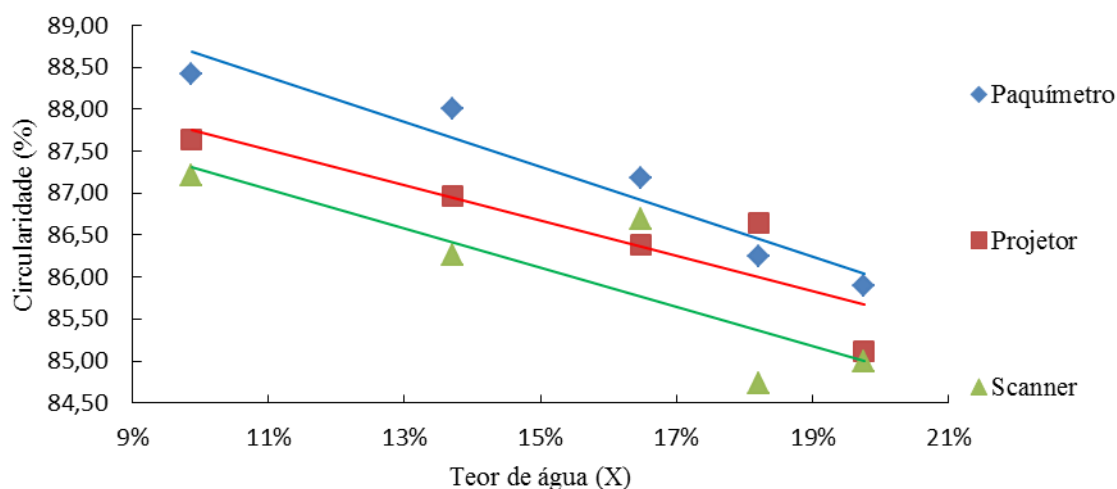


Figura 14 - Valores médios da circularidade do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

A partir das informações dos valores médios da Figura 14, determinam-se três expressões lineares que podem descrever a relação entre a forma de medir a circularidade da soja em função do teor de água, que são medidas com paquímetro (C_{rpa}) (Equação 18), medidas utilizando-se a projeção da imagem (C_{rpr}) (Equação 19) e medidas através de scanner, para digitalização do grão (C_{rsc}) (Equação 20).

$$C_{rpa} = -26,77X + 91,32 \quad R^2 = 0,932 \quad (18)$$

$$C_{rpr} = -21,01X + 89,82 \quad R^2 = 0,788 \quad (19)$$

$$C_{rsc} = -23,37X + 89,62 \quad R^2 = 0,721 \quad (20)$$

Esfericidade da soja

Observam-se, na Tabela 7, as médias das medidas de esfericidade da soja, efetuadas por paquímetro, projetor e scanner, em grãos de

soja submetidos a cinco diferentes teores de água; e o resultado do teste de Tukey. observa-se ainda que não houve diferenças estatísticas entre os métodos utilizados para determinar a

esfericidade da soja em toda a faixa de teor de água compreendida entre 9,87 e 19,76%.

Tabela 7 – Valores médios da esfericidade do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	87,71 ±2,62a	87,39 ±2,28 a	87,12± 2,63a	86,54± 2,51a	85,74±2,72 a
Projetor	87,26 ±3,55a	86,64 ± 2,93a	86,50± 3,09a	86,27 ±2,89a	85,91± 3,14a
Scanner	86,85 ±3,45a	86,82±2,60 a	86,64 ±2,87a	85,72± 2,39a	85,51± 2,88a
DMS	1,53147	1,24107	1,35848	1,23477	1,38268
C.V. (%)	3,70864	3,01308	3,29799	3,02244	3,39980

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

Na Figura 15 se constata que a esfericidade da soja decresceu com o aumento do teor de água, fato este detectado nos três métodos de medição sendo a maior variação detectada pelas medições do paquímetro, que variou de 87,71% para um teor de água de 9,87%, até 85,74% para um teor de água de 19,76%, concordando com os valores da variação da esfericidade encontrados por Matouk et al. (2008) que observaram decréscimo na esfericidade da soja a qual diminuiu de 88,88 para 87,21%, para um

aumento no teor de água de 9,52 até 24,64% (b.u.); resultados similares para soja foram relatados por Tavakoli et al. (2009), Polat et al. (2006) e Kibar (2008); foram encontrados, também, em alguns trabalhos com soja, casos em que a esfericidade aumentou com a elevação do teor de água, como relatado por Isik (2007) e Deshpande et al. (1993) que, dentro de uma faixa de teor de água de 8,7 até 25% (b.s.), verificaram que a esfericidade da soja variou de 80,6 até 81,6%.

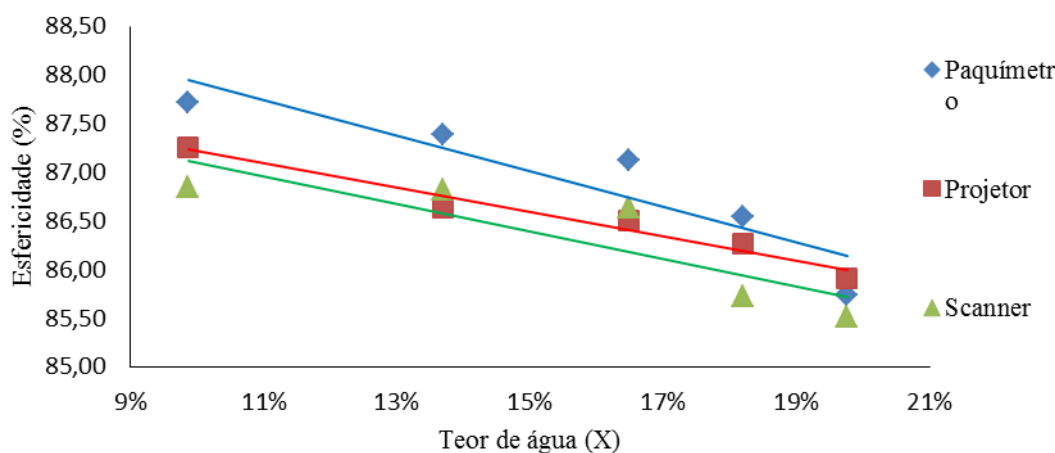


Figura 15 - Valores médios da esfericidade do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Com os valores médios da Figura 15 pode-se determinar três expressões lineares, possíveis de descrever a relação da esfericidade em função da variação do teor de água, que são medidas com paquímetro (φ_{pa}) (Equação 21), medidas utilizando-se a projeção da imagem (φ_{pr}) (Equação 22) e medidas com scanner para digitalização do grão (φ_{es}) (Equação 23).

$$\varphi_{pa} = -18,17X + 89,73 \quad R^2 = 0,836 \quad (21)$$

$$\varphi_{pr} = -12,52X + 88,47 \quad R^2 = 0,963 \quad (22)$$

$$\varphi_{es} = -14,09X + 88,50 \quad R^2 = 0,738 \quad (23)$$

Perímetro da soja

Estão contidos, na Tabela 8, os valores médios das medidas do perímetro da soja efetuadas por paquímetro, projetor e scanner em grãos submetidos a cinco diferentes teores de água; observa-se que não ocorreram diferenças

significativas entre as leituras do paquímetro e scanner nos teores de água de 9,87 e 13,70%; não houve diferenças estatísticas entre os resultados das medições obtidas por projetor e

scanner entre os teores de água de 16,48 e 18,20%, havendo diferenças estatísticas entre as três formas de medição do grão de soja no teor de água de 19,76%.

Tabela 8 – Valores médios do perímetro do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	22,90 ± 0,96	23,05 ± 1,01 b	23,18 ± 1,13 b	23,38 ± 1,17	23,90 ± 0,91 c
Projetor	23,93 ± 1,06 a	24,33 ± 1,17a	24,39 ± 1,30 a	24,70 ± 3,44	25,16 ± 1,17a
Scanner	23,02 ± 1,14	23,41 ± 1,12 b	23,93 ± 1,36 a	24,01 ± 1,24	24,46 ± 1,01 b
DMS	0,50121	0,52078	0,59927	1,04981	0,49163
C.V. (%)	4,54219	4,65881	5,30775	9,28056	4,23529

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

Com base na Figura 16, o perímetro da soja cresceu com o aumento do teor de água, fato este detectado pelos três métodos de medição em que a maior variação foi detectada pelo método da projeção da imagem, que variou

de 23,92 a 25,15 mm, e a menor variação foi detectada pela leitura por paquímetro, que variou de 22,90 a 23,89 mm entre os teores de água de 9,87 a 19,76% (b.u.).

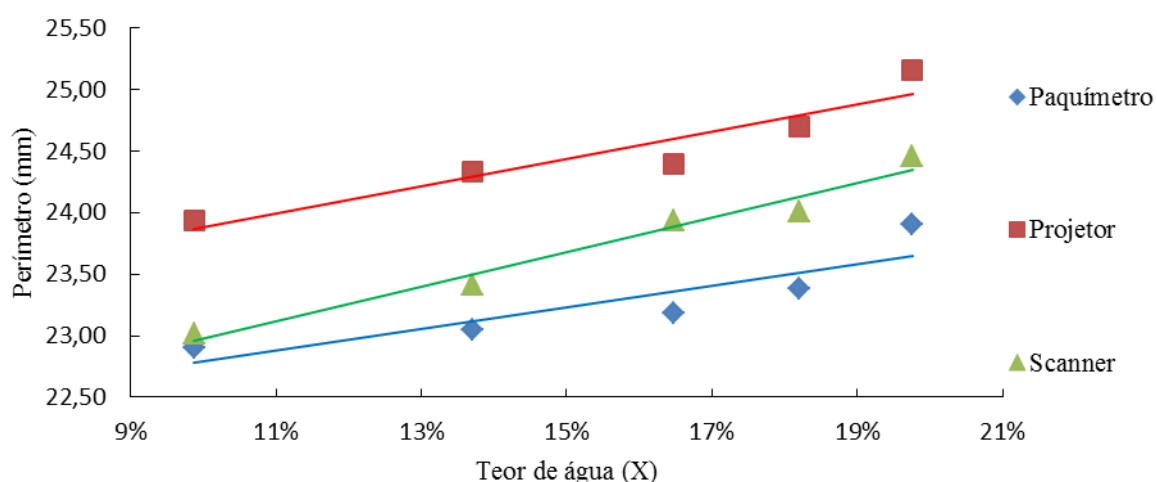


Figura 16 - Valores médios do perímetro do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Com as informações da Figura 16, dos pontos ensaiados, pode-se determinar três expressões lineares para descrever a relação entre o perímetro do grão de soja em função da variação do teor de água, que são medidas com paquímetro (P_{pa}) (Equação 24), medidas utilizando-se a projeção da imagem (P_{pr}) (Equação 25) e medidas através de scanner, para digitalização do grão (P_{es}) (Equação 26).

$$P_{pa} = 8,755X + 21,91 \quad R^2 = 0,780 \quad (24)$$

$$P_{pr} = 11,02X + 22,78 \quad R^2 = 0,885 \quad (25)$$

$$P_{es} = 14,06X + 21,57 \quad R^2 = 0,968 \quad (26)$$

Área projetada da soja

Na Tabela 9 se apresentam os valores médios das medidas da área projetada dos grãos de soja submetidos a cinco diferentes teores de água, efetuadas por paquímetro, projetor e scanner. Por esta tabela percebe-se que não houve diferenças estatísticas entre as formas de medição entre paquímetro e projetor nos teores de água compreendidos entre 9,87 e 19,76% (b.u.) ocorrendo diferenças estatísticas entre as medições com projetor e scanner nos teores de água de 9,87 e 13,70%.

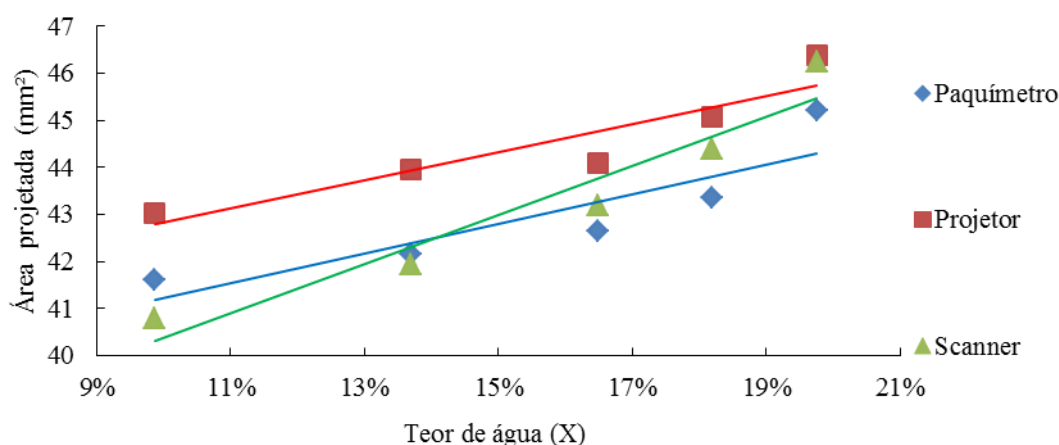
Tabela 9 – Valores médios da área projetada do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor e scanner

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	41,62 ± 3,45ab	42,16 ± 3,69ab	42,64 ± 4,03 a	43,36 ± 4,23a	45,21 ± 3,44 a
Projetor	43,03 ± 3,45 a	43,96 ± 4,01a	44,09 ± 4,37a	45,06 ± 4,37a	46,37 ± 3,72 a
Scanner	40,78 ± 3,95 b	41,94 ± 4,24b	43,18 ± 4,27a	44,39 ± 4,42 a	46,25 ± 3,76 a
DMS	1,71771	1,88887	2,00283	2,05668	1,72381
C.V. (%)	8,67310	9,34134	9,76412	9,80813	7,92083

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si
Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

Encontram-se, na Figura 17, os valores da área projetada do grão de soja em função do teor de água. Observa-se nesta figura um incremento na área projetada da soja com o aumento do teor de água, fato este detectado nos três métodos de medição, sendo que a maior variação da área foi detectada pelas medidas do scanner, que variaram de 40,78 a 46,25 mm²; a menor variação de área foi observada nas medidas pelo método por projeção que variaram de 43,03 a 46,37 mm², entre os teores de água de 9,87 a 19,76% (b.u.).

Fato este ocorrido em virtude do grão ter aumento nos seus principais eixos, comprimento e largura, em função do aumento do teor de água; resultados similares foram reportados por Isik (2007), a área da soja aumentou linearmente de 37,69 para 53,99 mm² para uma variação do teor de água de 10,62 a 27,06% (b.s.); resultados semelhantes foram reportados por Matouk et al. (2008), ao relatarem que a área projetada da soja aumentou de 41,73 para 44,79 mm² para uma variação do teor de água entre 9,52 e 24,64% (b.u.).

**Figura 17** - Valores médios da área projetada do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Partindo das informações dos pontos representados na Figura 17, pode-se determinar três expressões lineares que, por sua vez, descrevem a relação entre a área projetada da soja em função da variação do teor de água, que são os valores medidos com paquímetro (A_{pa}) (Equação 27), medidas utilizando-se a projeção da imagem (A_{pr}) (Equação 28) e medidas com scanner, para digitalização do grão (A_{sc}) (Equação 29).

$$A_{pa} = 31,52X + 38,08 \quad R^2 = 0,785 \quad (27)$$

$$A_{pr} = 29,9X + 39,83 \quad R^2 = 0,851 \quad (28)$$

$$A_{sc} = 52,25X + 35,15 \quad R^2 = 0,924 \quad (29)$$

Volume da soja

Apresentam-se, na Tabela 10, os valores médios das medidas do volume do grão de soja submetido a cinco diferentes teores de água, efetuadas pelo método de deslocamento de água e se utilizando as medidas dos eixos determinados pelos métodos do paquímetro, projetor e scanner, para calcular o volume, utilizando a Equação 7. Analisando-se a Tabela 10, percebe-se que não houve diferenças estatísticas entre os métodos de medição por deslocamento de água, paquímetro e scanner entre os teores de água de 9,87 e 18,20%; em

todos os teores de água analisados não houve diferenças estatísticas entre o método por paquímetro e deslocamento de água; não ocorreram diferenças entre os métodos por

projektor e scanner nos teores de água na faixa de 16,48 e 19,76%, podendo ser utilizado qualquer um desses métodos, sem alterar significativamente o resultado.

Tabela 10 – Valores médios do volume do grão de soja em função de diferentes teores de água obtidos através de medidas com paquímetro, projetor, scanner e deslocamento de água

Teor de água	9,87%	13,70%	16,48%	18,20%	19,76%
Paquímetro	0,1625± 0,017 b	0,1669± 0,021 b	0,1707± 0,023 b	0,1744±0,025 b	0,1816±0,021 b
Projektor	0,1812± 0,019a	0,1863±0,024 a	0,1896± 0,023a	0,1956±0,030 a	0,2046±0,023 a
Scanner	0,1625± 0,020 b	0,1722±0,024 b	0,1780±0,026ab	0,1847±0,027 ab	0,1966±0,023 a
Deslo. água	0,1628±0,018 b	0,1665±0,021 b	0,1678± 0,025 b	0,1738±0,025b	0,1766±0,022 b
DMS	0,00960	0,01171	0,01265	0,01401	0,01193
C.V. (%)	11,07823	13,06247	13,83257	14,84954	12,12936

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si
Foi aplicado o teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade

Observam-se, na Figura 18, os valores da variação do volume do grão de soja em função do teor de água; constata-se ainda um aumento no volume da soja com o aumento do teor de água, fato este detectado nos quatro métodos de medição, sendo que o maior valor de variação do volume foi detectado pelas medidas utilizando-se o método da projeção, que variou de 0,1812 para 0,2046 cm³, e a menor variação do valor do volume foi pelo método do deslocamento de água, que variou de 0,1628 para 0,1766 cm³ para uma faixa de teor de água de 9,87 a 19,76% (b.u.); resultados similares foram reportados por Matouk et al. (2008), nos seus estudos, o grão de soja aumentou o volume de 148,338 para 171,388 mm³, para um teor de água variando de 9,52 até 24,64% (b.u.); outros resultados semelhantes foram relatados por Kibar (2008).

Pela análise dos resultados é possível comprovar que os volumes calculados pelos diâmetros médios medidos pelos métodos de medição por paquímetro e scanner, apresentaram valores mais próximos dos valores medidos por deslocamento de água, significando que qualquer um desses métodos poderia ser utilizado para se determinar o volume teórico da soja. O motivo do volume do grão de soja ser maior pelo método da projeção se deve ao fato de que, na projeção, os valores dos três eixos mutuamente perpendiculares foram os maiores em função de um somatório de erros, tais como, papel milimetrado, a escala utilizada, o contorno em volta da projeção dos grãos, a medição da área projetada no papel milimetrado ser feita por régua com precisão de 1.0 mm, e a conversão de escala.

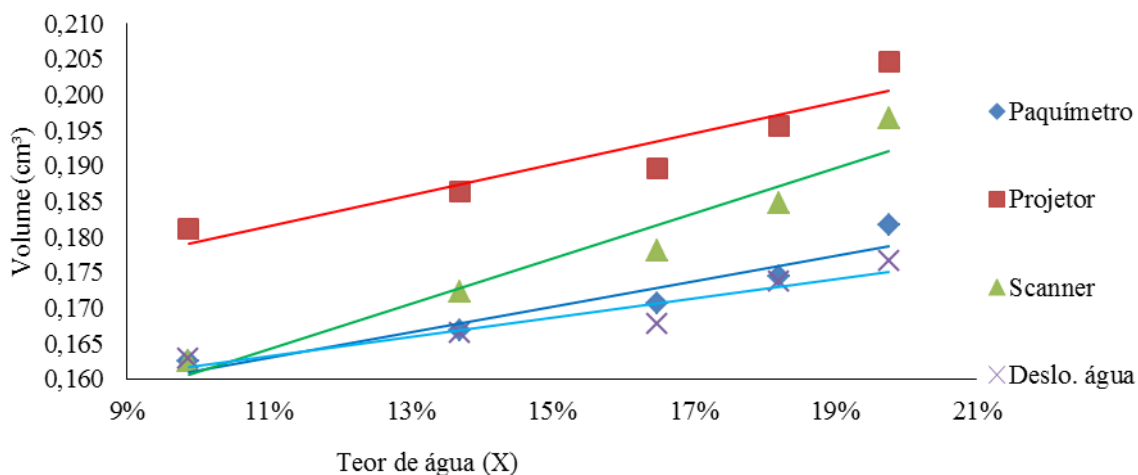


Figura 18 - Valores médios do volume do grão de soja em função do teor de água para diferentes métodos de medição

Partindo dos pontos ensaiados na Figura 18, pode-se determinar quatro expressões lineares as quais, por sua vez, são passíveis de descrever a relação entre o volume da soja em função da variação do teor de água, que são os valores medidos por paquímetro (V_{pa}) (Equação 30) medidas utilizando-se a projeção da imagem (V_{pr}) (Equação 31), medidas através de scanner para digitalização dos grãos (V_{sc}) (Equação 32) e medidas pelo deslocamento de água dos grãos (V_{H_2O}) (Equação 33).

$$V_{pa} = 0,178X + 0,143 \quad R^2 = 0,913 \quad (30)$$

$$V_{pr} = 0,216X + 0,157 \quad R^2 = 0,879 \quad (31)$$

$$V_{sc} = 0,317X + 0,129 \quad R^2 = 0,934 \quad (32)$$

$$V_{H_2O} = 0,135X + 0,148 \quad R^2 = 0,901 \quad (33)$$

A Equação 30 é a que mais se aproxima dos valores do volume dos grãos, obtidos pelo deslocamento de água, Equação 33.

CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos pelos três métodos de medição para determinar as características físicas dos grãos de soja conclui-se que:

- O comprimento a largura e a espessura dos grãos de soja aumentam com o aumento do teor de água, como a maioria dos produtos agrícolas.
- Os grãos de soja apresentaram crescimento percentual maior no seu maior eixo (comprimento).
- A circularidade e a esfericidade diminuem com o aumento do teor de água para grãos de soja.
- O perímetro, área projetada e volume, aumentam com o teor de água para grãos de soja.
- Foram satisfatórios os valores dos coeficientes de correlação dos modelos de regressão linear utilizados para descrever a relação entre a forma de medir as características físicas dos grãos de soja pelos três métodos utilizados em função do teor de água.
- Pela compatibilização entre os valores medidos pelos três métodos utilizados, medidas com paquímetro, medidas utilizando-se a projeção da imagem dos grãos em papel milimetrado e medidas realizadas com scanner para digitalização dos grãos de soja e pelo resultado das análises de variância, conclui-se que o método utilizando o scanner é válido para determinar as características físicas dos grãos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. – Brasília : Mapa/ACS, 2009. 399 p.
- Brosnam, T.; Sun, D. Inspection and grading of agricultural and food products by computer vision systems – a review. **Computers and Electronics in Agriculture**, Dublin, v.36, n.2, p.193-213, 2002.
- Conab. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento de safra brasileira**; Intenção de plantio de grãos, segundo levantamento, novembro 2009 / Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab, 2009. 39 p.
- Deshpande, S. D.; Bal, S.; Ojha, T. P. Physical properties of soybean. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.56, n.2, p89-98, Oct, 1993.
- Ditchfield, C. **Estudo dos métodos para a medida de atividade de água**. 2000. 174f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Engenharia Química. São Paulo SP.
- Duarte, M. E. M.; Cavalcanti Mata, M. E. R. M.; Almeida, F. A. C.; Características físicas de sementes. In: Almeida, F. A. C.; Duarte, M. E. M.; Cavalcanti Mata, M. E. R. M. **Tecnologia de Armazenagem em sementes**, 1. ed. Campina Grande, PB: UFCG, 2006. cap.5, p.189-269.
- Isik, E.; Izli, N. Moisture physical and mechanic properties of dent corn (*Zea mays* var. *indentata* Sturt) seeds (Ada-523). **American Journal of Food Technology**, v.2, n.5, p.342-353, 2007.
- Kibar, H. Physical and mechanical properties of soybean. **International Agrophysics**, Lublin, Polônia v.22, p.239-244. 2008. Disponível em; <http://www.Internationalagrophysics.org/arykuly/international_agrophysics/IntAgr_2008_22_3_239>.pdf Acesso em: 08 jun 2010.
- Matouk, A. M.; Abd El-Latif, S. M.; Tharwat, A. Physical properties of some oil producing crops. **Journal Agricultural scientific**, Mansoura, Egypt, v.33, p.4213–4233, 2008.
- Mohsenin, N. N. **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1978. 742p.

- Paliwal, J.; Visen, N. S.; Jayas, D. S.; White, N. D. G. Cereal grain and dockage identification using machine vision. **Biosystems Engineering**, v.85, n.1, p.51-57, May 2003.
- Polat, R.; Atay, U.; Saglam, C. Some physical and aerodynamic properties of soybean. **Journal of Agronomy**, v.5, n.1, p.74-78, 2006.
- Ribeiro, D. M.; Correa, P. C.; Rodrigues, D. H.; Goneli, A. L. D. Análise da variação das propriedades físicas dos grãos de soja durante o processo de secagem. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.25, n.3, p.611-617, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v25n3/27035.pdf>>. Acesso em: 08 Jun 2010.
- Santana, M. de F. S.; Braga, M. E. D. Parâmetros aerodinâmicos que influenciam na separação do amendoim. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.1, n.1, p.66-72, 1999.
- Shouche, S. P.; Rastogi R.; Bhagwat, S. G.; Sainis, J. K. Shape analysis of grains of Indian wheat varieties. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.33, p.55-76, 2001.
- Tavakoli, H.; Rajabipour, A.; Mohthasebi, S. S. Moisture-dependent some engineering properties of soybean grains. **Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal**, Manuscript 1110, Vol. XI, 2009. Disponível em: <<http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/viewFile/1110/1152>> Acesso em: 08 Jun 2010.
- Tunde-Akitunde, T. Y.; Olajide, J. O.; Akitunde, B. O. Mass-volume-area related and mechanical properties of soybean as a function of moisture and variety. **International Journal of Food Properties**, Philadelphia, v.8, n.3, p.449-456, Set, 2005
- Wiwart. M.; Mos. M.; Wójtowicz. T.; Studies on the imbibition of triticale kernels with a different degree of sprouting, using digital shape analysis. **Plant Soil Environment**, Praga, República Tcheca, v.52, p.328-334, 2006.
- Visen, N. S.; Paliwal, J.; Jayas, D. S.; White, N. D. G.; Specialist neural networks for cereal grain classification. **Biosystems Engineering**, v.82, n.2, p.151-159, 2002.