

AVALIAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA NOS GRÃOS DE *ORYZA SATIVA* L. E DE *COFFEA ARABICA* L.

ARLINDO MODESTO ANTUNES¹, GABRIEL CARVALHO MATIAS², CÁSSIO HUMBERTO LIMA³, ALCEBIADES FOGAÇA DE SOUZA SOBRINHO⁴ E VINICIUS MORIBE PEREIRA⁵

¹ Docente do curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia, Rod. PA 140, 2428-4822, CEP: 68680-000, Tomé-Açu – PA, Brasil. e-mail: arlindo007@gmail.com.

² Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Aqueanta Sol, CEP: 37200-900, Lavras – MG, Brasil. e-mail: gabrielcarvim@hotmail.com.

³ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Aqueanta Sol, CEP: 37200-900, Lavras – MG, Brasil. e-mail: cassiomg17@hotmail.com.

⁴ Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Aqueanta Sol, CEP: 37200-900, Lavras – MG, Brasil. e-mail: alcebiadesfss@gmail.com.

⁵ Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Aqueanta Sol, CEP: 37200-900, Lavras – MG, Brasil. e-mail: vmp@viniciusmoribe.com.

RESUMO: O principal fator influenciador no processo de conservação dos grãos é o teor de água dos mesmos, sendo que as reações de deterioração acontecem em altos níveis de umidade. Portanto, os grãos armazenados devem ser preservados ao máximo. O objetivo deste estudo foi aferir a exatidão e reprodutibilidade dos métodos: padrão da estufa 105°C, destilação por Brown-Duvel, condutividade elétrica e método dielétrico (capacitância), relacionando os resultados com a massa específica do produto. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de significância e as análises foram realizadas utilizando *software* estatístico Sisvar versão 5.6. O método da capacitância mostrou-se eficaz para determinação do teor de água dos grãos, tanto para o arroz e como para o café, sendo equiparável ao método padrão da estufa 105°C. A massa específica média aparente encontrada para o arroz e para o café foram 740,5 e 614,1 kg.m⁻³, respectivamente.

Palavras-chaves: capacitância, massa específica, brown-duvel, condutividade elétrica.

METHODOLOGIES EVALUATIONS FOR DETERMINING THE WATER CONTENT IN *ORYZA SATIVA* L. AND *COFFEA ARABICA* L. GRAINS

ABSTRACT: The main influencing factor in grain conservation process is water content of grains, with deterioration reactions occurring at high humidity levels. Therefore, stored grains must be preserved to the maximum. The aim of this study was to assess the accuracy and reproducibility of methods: standard of the oven at 105°C, Brown-Duvel distillation, electrical conductivity and dielectric method (capacitance), relating the results to the specific product mass. The results were subjected to analysis of variance and Tukey's test at 5% significance and were performed using Sisvar version 5.6 statistical software. The capacitance method proved to be effective for determining the grains water content, both for rice and coffee, being comparable to the standard method of the 105°C oven. The apparent average specific mass found for rice and coffee were 740.5 and 614.1 kg.m⁻³, respectively.

Keywords: capacitance, specific mass, brown-duvel, electric conductivity.

1 INTRODUÇÃO

É de conhecimento amplo que, é necessário estocar os grãos colhidos por uma produção, para tanto, o objetivo do armazenamento é preservar as características

que os grãos apresentam após o período de colheita. É sabido que a vitalidade dos grãos pode ser preservada e a qualidade de moagem e das propriedades nutritivas do alimento pode ser mantida (BROOKER et al., 1992). Contudo, é de conhecimento científico que não

é possível melhorar a qualidade dos grãos durante o armazenamento, apenas se faz a manutenção de suas qualidades. Grãos colhidos de forma inadequada serão de baixa qualidade, não importando como são armazenados, mas boas condições durante esse período são fundamentais para conservar a qualidade inicial. O teor de água da semente e a temperatura do ar são variáveis determinantes das mudanças de qualidade durante o armazenamento (BROOKER et al., 1982).

A fim de evitar a ocorrência de alterações químicas, bioquímicas, físicas e microbiológicas, os grãos devem ser preservados ao máximo durante o período de pré-processamento e armazenamento. A velocidade e a intensidade desses processos dependem sempre da qualidade intrínseca dos grãos, das operações de pré-processamento, do sistema de armazenagem utilizado e dos fatores ambientais predominantes durante o período de estocagem (ANTUNES, et al., 2016 apud ALENCAR, 2010).

Para tanto, o principal fator influenciador em todo processo de armazenamento é o teor de água dos grãos. As reações de deterioração acontecem em altos níveis de umidade, destacando-se a hidrólise enzimática e a oxidação dos lipídios, porém, essas reações acontecem com menor frequência com baixos conteúdos de água. Por intermédio disso, o teor de água dos grãos, deve ser controlado para o perfeito armazenamento (FURQUIM et al., 2014).

Sendo assim, para determinar o teor de água dos grãos, são utilizados diversos métodos, os quais podem ser reunidos em dois grupos: diretos e indiretos. Os métodos diretos baseiam-se na massa de água removida dos grãos, e os métodos indiretos baseiam-se em propriedades físicas que variam em função da quantidade de água do grão. A escolha do método deve basear-se na precisão, exatidão e reprodutibilidade.

Advindo disso, o objetivo deste estudo foi aferir a exatidão e reprodutibilidade dos métodos: padrão da estufa 105°C, destilação por Brown-Duvel, condutividade elétrica e método dielétrico (capacitância), relacionando os resultados com a massa específica do

produto. Para essas determinações foram utilizados os grãos de arroz *Oryza Sativa* L. e de café *Coffe Arábica* L. Os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey a 5% de significância e as análises realizadas utilizando-se do software estatístico Sisvar versão 5.6.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área

A presente pesquisa foi realizada no município de Lavras (MG) com coordenadas geográficas de 21°17'33" S de latitude, 45°10'41" W de longitude e 904 m de altitude. Os testes foram executados no Departamento de Engenharia Agrícola no laboratório de processamento de produtos agrícolas (LPPA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Foram utilizados grãos de arroz *Oryza Sativa* L. e de café *Coffe Arábica* L., já beneficiados, provenientes de fazenda na região de Nazareno (MG).

A amostra inicial foi dividida em subamostras de aproximadamente 250g. Posteriormente, foi executado processo de determinação do teor de água nos grãos de arroz e de café por métodos diretos e indiretos.

2.2 Teor de água pelo método padrão da estufa 105°C

A fim de determinar o teor de água dos grãos pelo método padrão da estufa, foi regulada a temperatura da estufa a 105°C±3. Os recipientes foram secos por 30 minutos em estufa a 105°C e posteriormente resfriados em dessecador. Foi realizada pesagem em balança com precisão de 0,001g e rotulagem dos recipientes utilizados para determinação. Após esse processo, os recipientes foram pesados contendo os grãos e acomodados em estufa a 105°C ± 3/24h, segundo metodologia descrita por BRASIL (2009). O teor de água foi calculado na base do peso úmido, aplicando-se a equação:

$$U(\%b. u) = \frac{100x(P-p)}{P-T} \quad (1)$$

Onde:

P = Peso Inicial, em gramas g;
P = Peso Final, em gramas g;
T= Tara do recipiente, em gramas g;
U= teor de água em base úmida, %.

2.3 Teor de água dos grãos pelo método brown - duvel

Utilizou-se um equipamento que se baseou na remoção da água dos grãos pelo aquecimento do material imerso em um líquido (óleo), que possui temperatura de ebulição

superior ao da água. O vapor d'água proveniente dos grãos é condensado, recolhido e medido em um cilindro graduado (Figura 1). Para facilitar a determinação prática em três repetições, foram utilizadas amostras de 100g de arroz e 100g de café, considerando massa específica da água igual a $1,0 \text{ g.ml}^{-1}$. Após passado o tempo determinado para cada espécie (arroz e café), foi mensurado o volume em proveta. O valor do teor de água foi considerado igual ao volume medido em mililitros.

Figura 1. Medidor de teor de água pelo método Brown-Duvel.



2.4 Teor de água dos grãos pelo método da condutividade elétrica

O princípio de funcionamento do equipamento (Figura 2) é que uma amostra de grãos é comprimida (método destrutivo) entre dois eletrodos ligados a uma fonte elétrica e a um galvanômetro, que indica a variação da corrente elétrica no sistema, influenciada pelos grãos. Uma corrente elétrica direta é imposta entre os dois eletrodos, e esta encontra uma resistência em função da quantidade de água

presente nos grãos. Quanto maior o teor de água, menor a resistência à passagem da corrente elétrica.

Segundo Silva (2008), temperaturas elevadas das amostras podem induzir a erros, pois a alta temperatura resulta na baixa resistência que, por sua vez fica com a umidade elevada. Além disso, a pressão exercida pelos eletrodos sobre a amostra de grãos pode influenciar no valor do teor de água, então, cada tipo de grão possui uma pressão específica para ser utilizada.

Figura 2. Medidor do teor de água pela resistência elétrica dos grãos.



Para cada avaliação, foram utilizadas três repetições contendo aproximadamente 50 gramas de produto. no caso do café e 60 gramas de produto, em se tratando do arroz, conforme manual do equipamento.

Através da publicação no Diário Oficial da União de 19 de agosto de 2013, o Inmetro tornou válida a Portaria nº 402, de 15/8/2013, que aprova o Regulamento Técnico Metrológico - RTM e seu Anexo, estabelecendo os requisitos que os medidores de umidade de grãos utilizados nas transações comerciais devem atender (GEHAKA, 2016).

O Art. 4º do regulamento estabelece que, a partir de 15/2/2016, trinta meses após a sua publicação, não será admitida a utilização de medidores de umidade de grãos de indicação não digital e amostra destrutiva, conhecidos como medidores universais, condizente com o apresentado na Figura 2 (GEHAKA, 2016).

2.5 Teor de água dos grãos pelo método dielétrico (capacitância)

Neste método, o teor de água é determinado por meio de propriedades dos grãos que variam com o seu conteúdo de água sendo, portanto, um método indireto. Uma dessas propriedades é a constante dielétrica, que mostra a habilidade de um material, comparado com o vácuo, em armazenar energia quando submetido a um campo elétrico. Todos os componentes dos grãos contribuem para sua constante dielétrica. No entanto, as moléculas de água, em razão de sua estrutura, apresentam uma constante dielétrica cerca de vinte vezes maior do que a grande maioria dos constituintes dos grãos. Em razão de sua estrutura, as moléculas de água podem ser consideradas como um dipolo eletrostático (Funk, 2000).

Para determinação com este equipamento (Figura 3) foi utilizado três repetições para cada produto (arroz e café), sendo aferido instantaneamente os resultados de teor de água na tela do equipamento.

Figura 3. Medidor do teor de água pela resistência elétrica dos grãos.



2.6 Massa específica aparente dos grãos

Define-se como massa específica aparente de uma massa de grãos, a relação entre a massa total e o volume total dessa massa. A massa específica aparente depende do teor de água que, por sua vez, depende do coeficiente do atrito interno dos grãos, da

forma da célula e do modo de enchimento (MILMAN, 2002).

Para determinar a massa específica granular para o arroz e para o café, utilizou-se um equipamento (Figura 4) com volume conhecido para acomodar os grãos (0,001 m³), assim sendo, posteriormente pesou-se a massa desse volume (SILVA, 2008).

Figura 4. Balança para determinação da massa específica.



A massa específica aparente foi determinada pela massa de grãos e pelo volume ocupado por esses grãos, utilizando-se de três repetições. Foi atribuída a equação a seguir:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V} \quad (2)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os métodos de determinação do teor de água estudados diferiram significativamente tanto para o arroz como para o café. A comparação entre esses valores é apresentada na Figura 5. Os valores de teor de água obtidos pelo método da capacitância foram muito

Onde:

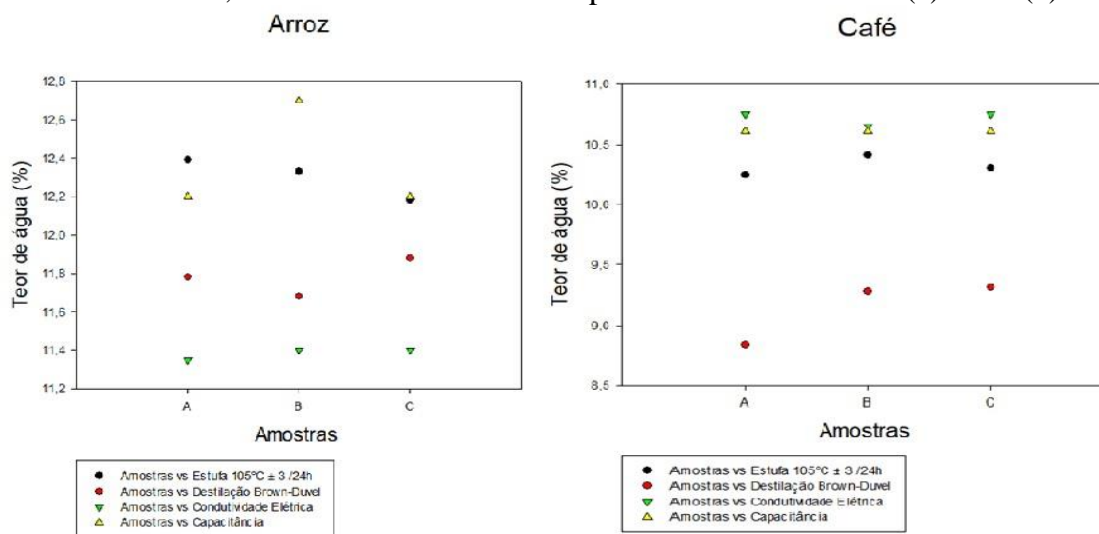
pap é a massa específica aparente ou granular do produto (kg.m⁻³);

m é a massa do produto (kg);

V é o volume ocupado pela massa de produto (m³).

próximos daqueles encontrados pelo método da estufa 105°C ± 3/24h. Para o arroz, o método da condutividade elétrica apresentou valores mais distantes do método da estufa 105°C ± 3/24h e para o café, o método de destilação de Brown Duvel foi o mais discrepante em relação ao método da estufa 105°C ± 3/24h.

Figura 5. Comparação do teor de água obtido pelos métodos estufa $105^{\circ}\text{C} \pm 3 / 24\text{h}$, destilação Brow-Duvel, Condutividade elétrica e capacitância convencional (a) arroz (b) café.



Os coeficientes de variação obtidos, 1,36% para arroz e 1,39% para o café, apontam bom nível de precisão nos ensaios. Pode-se observar que, para o arroz, o método de destilação Brow-Duvel e condutividade elétrica apresentaram valores inferiores aos obtidos pelo método da estufa $105^{\circ}\text{C} \pm 3 / 24\text{h}$ e capacitância (Tabela 1). Nota-se que a variação observada, de até 1,0 pelo método da condutividade elétrica em comparação com o método padrão, não é considerada admissível pelas Regras para Análise de Sementes (RAS) para teores de umidade entre 11,0 e 12,9% b.u..

Levando em consideração o National Institute of Standards and Technology (NIST,

2006), os valores encontrados também mostram-se superior a tolerâncias preconizada de $\pm 5\%$ sobre os valores obtidos pelo método estufa, na faixa de umidade até 25% b.u. Isso mostra que o art. 4º da Portaria nº 402 de 15/8/2013, publicada pelo Inmetro Gehaka (2016), acertou em desautorizar a utilização do medidor de umidade universal em determinações em todo território nacional.

Sendo assim, a variação observada de 0,5 entre método de destilação Brow-Duvel e método padrão da estufa 105°C é aceitável pela NIST e RAS para as condições tratadas neste estudo. (BRASIL, 2009).

Tabela 1. Comparação entre os teores médios de teor de água, obtidos com diferentes métodos em grãos de arroz e café.

Produto	Método	Média do teor de água nos grãos b.u. (%)
Arroz	Estufa $105^{\circ}\text{C} \pm 1 / 24\text{h}$	12,3 a
Arroz	Destilação Brown-Duvel	11,7 b
Arroz	Condutividade Elétrica	11,3 b
Arroz	Capacitância	12,3 a
Café	Estufa $105^{\circ}\text{C} \pm 1 / 24\text{h}$	10,3 a
Café	Destilação Brown-Duvel	9,14 c
Café	Condutividade Elétrica	10,7 b
Café	Capacitância	10,6 ab

* Médias seguidas da mesma letra, não diferem entre si pelo teste de Tuckey, ($P \leq 0,05$).

Já para o café, o método de destilação Brow-Duvel foi o que apresentou valores

inferiores e com a variação observada de 1,16 não é aceitável pela RAS e NIST.

Comparando-se o método da capacitância e método da condutividade elétrica com o método da estufa $105^{\circ}\text{C} \pm 3/24\text{h}$, nota-se uma variância de 0,3 e 0,4 respectivamente, considerado admissível pela RAS (BRASIL, 2009).

Para o arroz, verificou-se que divergiram significativamente do método oficial da estufa e do método da capacitância os métodos destilação Brow-Duvel e condutividade elétrica.

Comparando-se os resultados obtidos com grãos de café, nota-se também que não houve diferença significativa entre o método da estufa $105^{\circ}\text{C} \pm 3/24\text{h}$ e capacitância. O método da condutividade elétrica não se diferenciou significativamente do método da capacitância. Já o método por destilação Brow-Duvel apresentou diferença estatística dos demais métodos.

Os valores médios determinados para a massa específica aparentem do arroz e café são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Massa específica aparente (kg.m^{-3}) dos grãos de arroz e café.

Produto	$\rho_{\text{ap}} (\text{kg m}^{-3})$
Arroz	740,50
Café	614,09

A massa específica aparente do café apresentou valor médio de $614,0 \text{ kg.m}^{-3}$, valores próximos encontrados por Couto et al. (1999), que em seu estudo encontrou valores que variaram de $391,3$ a $606,6 \text{ kg.m}^{-3}$, é menor que a apresentada pela maioria dos grãos agrícolas, sendo comparável à da aveia; seu comportamento, em função do teor de umidade dos grãos, difere da maioria dos outros grãos. Ainda segundo os mesmos autores, para acréscimo no teor de umidade, enquanto a massa específica desses últimos decresce, até determinado valor e, a seguir, cresce, a massa específica aparente do café decresce continuamente durante todo o intervalo de umidade investigado pelos autores.

Resultados próximos também foram encontrados durante um estudo sobre massa específica de cinco variedades de café cereja descascado realizado por Botelho et al. (2018), que encontrou valores de massa específica aparente entre $398,6$ a $594,6 \text{ kg.m}^{-3}$ para teor de água variando de $9,72$ a $47,51\%$ (b.u.).

Para o grão de arroz, foi encontrado massa específica aparente média de $740,5 \text{ kg.m}^{-3}$. Resultados semelhantes forma encontrados por De Souza et al, (2016), quando mostraram que conforme houve um aumento no teor de água de suas amostras de arroz, ocorreu um acréscimo significativo na massa específica aparente do produto, tendo encontrado valores entre $558,5$ a $610,4 \text{ kg.m}^{-3}$,

para uma variação do teor de água de $9,52$ até $28,07\%$.

Araújo et al. (2014) também obtiveram resultados semelhantes, ao executar um estudo que avaliava a massa específica aparente e real dos grãos de amendoim durante o processo da secagem, os autores puderam averiguar que, seus valores de massa específica aparente e real correspondiam a 544 a 598 kg.m^{-3} e 885 a 966 kg.m^{-3} , respectivamente, quando o teor de água estava entre 4 a 56% (b.s.).

4 CONCLUSÕES

- Tanto para o arroz como para o café os resultados do método da capacitância não ultrapassaram o percentual permitido pela RAS, sendo assim, estatisticamente podem substituir o método padrão da estufa.
- Houve diferença nos teores de água entre os métodos avaliados em arroz e café, e alguns resultados ultrapassaram os 0,5 pontos percentuais admitidos pela RAS.
- A massa específica média aparente encontrada para o arroz e café foram $740,5$ e $614,1 \text{ kg.m}^{-3}$, respectivamente.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

(CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio e incentivo com bolsas aos autores.

6 REFERÊNCIAS

- ALENCAR, E. R.; FARONI, Lêda R. D. ; PETERNELLI, Luiz A. ; SILVA, Marco T. C. da ; COSTA, André R. . Influence of soybean storage conditions on crude oil quality. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 303-308, 2010 *apud* ANTUNES, A. M., DEVILLA, I. A., NETO, A. C. B., ALVES, B. G. X., ALVES, G. R., & SANTOS, M. M. Development of an automated system of aeration for grain storage. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 43, p. 4293-4303, 2016.
- BOTELHO, F. M., de FARIA, B. M. E. M., BOTELHO, S. D. C. C., RUFFATO, S., NOGUEIRA, R. M. (2018). Metodologias para determinação de massa específica de grãos. **Agrarian**, Dourados - MS. v. 11, n. 41, p. 251-259, 2018.
- BRASIL. **Regra para análise de sementes. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária.** Brasília, DF: MARA, 2009. 365p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.H. **Drying and storage of grains and oilseeds.** Westport: AVI, 1992. 450p.
- COUTO, S. M., MAGALHÃES, A. C., QUEIROZ, D. M. D., & 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, 1999
- DE SOUSA, R. V., MATA, M. E. R. C., DUARTE, M. E. M., ALMEIDA, R. D., ROSA, M. E. C., & DE SOUSA, A. C. (2016). Influência do teor de água nas propriedades físicas dos grãos de arroz vermelho em casca. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.18, n.Especial, p.495-502, 2016
- FUNK, D. B. Uniformity in dielectric grain moisture measurement. In: Institut National de La Recherche Agronomique. [s.l.] Uniformity by 2000, 2000. p. 69–91.
- FURQUIM, L. C.; CASTRO, C. F. D. S.; RESENDE, O.; CAMPOS, J. M. C. Efeito da secagem e do armazenamento das sementes de Pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) na qualidade do óleo. **Revista científica**. n.1 p.51 – 70, 2014.
- GEHAKA. Informativo Gehaka - Inmetro determina o fim da utilização dos medidores de umidade tipo 'UNIVERSAL'. Disponível: <<http://www.gehaka.com.br>>. Acesso em: 10 mai. 2019
- MILMAN, M. J.; **Equipamentos para pré-processamento de grãos.** Pelotas: Editora Universitária – UFPEL. 2002. p. 19-25.
- NIST - NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. **Specifications, tolerances, and other technical requirements for weighting and measuring devices.** HANDBOOK 44. 2007 Edition. Washington: U.S. Government Printing Office, 2006. 319p.

PARAGINSKI, R. T. ET AL. **Caracterização e propriedade dos grãos**. In: Armazenamento e beneficiamento de grãos. Alegrete: IFFarroupilha, 2016. p. 1–114.

SILVA, J. S.; **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**. Viçosa: Aprenda Fácil. 2ª ed. 2008. p. 22-31.