
Development of a device made on a 3D printer to determine physical properties of grains

Desenvolvimento de um dispositivo confeccionado em impressora 3D para determinação de propriedades físicas dos grãos

Received: 21-07-2024 | Accepted: 25-08-2024 | Published: 31-08-2024

Agnaldo Santana Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: agnaldosantana2501@gmail.com

Diego Andrade Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: diegoandrade_senai@yahoo.com.br

Valfran José Santos Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: valfranjose40@gmail.com

Adilson Machado Enes

ORCID: <https://orcid.org/0000-0000-0000-0000>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: adilsonenes@gmail.com

Patricia Azevedo Castelo Branco Vale

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1419-5403>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: patriciavale78@gmail.com

Welington Gonzaga Vale

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2817-8487>
Universidade Federal de Sergipe, Brasil
E-mail: valewg@gmail.com

ABSTRACT

The physical properties of grains are essential for harvesting, storage, and commercialization. These properties, such as bulk density and moisture content, are usually measured with self-propelled machines, expensive equipment, or in laboratories, making them inaccessible to small producers. The research developed a low-cost and easy-to-use device that measures these properties. Tested and calibrated with corn and beans using the standard oven method 105°C/24h, it achieved an excellent coefficient of determination (r^2) of 0.998 for beans and 0.999 for corn. The bulk density was calibrated using a precision scale and a hectoliter weight kit, resulting in r^2 values of 0.928 for beans and 0.926 for corn. The device is a viable option for Precision Agriculture for small producers.

Keywords: Bulk Density; Moisture Content; Capacitive Method;

RESUMO

As propriedades físicas dos grãos são essenciais para a colheita, armazenamento e comercialização. Estas propriedades, como massa específica aparente e teor de água, geralmente são medidas com máquinas autopropelidas, equipamentos caros ou em laboratórios, inacessíveis para pequenos produtores. A pesquisa desenvolveu um equipamento de baixo custo e fácil uso, que mede essas propriedades. Testado e calibrado com milho e feijão, usando o método padrão da estufa 105°C/24h, obteve um excelente coeficiente de determinação (r^2) de 0,998 para feijão e 0,999 para milho. A massa específica aparente foi calibrada com uma balança de precisão e um kit de peso hectolitro, resultando em r^2 de 0,928 para feijão e 0,926 para milho. O equipamento é uma opção viável para a Agricultura de Precisão no pequeno produtor.

Palavras-chave: Massa Específica Aparente, Teor De Água, Método Capacitivo;

INTRODUÇÃO

A crescente expansão da população mundial tem gerado uma demanda cada vez mais exponencial por alimentos, elevando a produção de grãos a uma preocupação em escala global. No contexto brasileiro, o vasto território cultivado do país coloca-o em uma posição relevante na produção de grãos (Macedo, et al. 2017).

Conforme relatório do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no mês de junho de 2023, a safra de grãos, cereais e leguminosas no Brasil registrou um patamar de 307,3 milhões de toneladas, representando um aumento de 16,8% em comparação ao ano anterior. As culturas predominantes desse conjunto são o arroz (*Oryza sativa* L.), o milho (*Zea mays* L.) e a soja (*Glycine max*), os quais constituem 92,1% da produção projetada e abrangem 87,2% da área submetida à colheita (Ibge, 2023).

Dentre as fases cruciais na cadeia produtiva, a etapa pós-colheita assume importância crucial no destino dos grãos, seja para armazenamento ou comercialização (Krzyzanowski et al. 2023). A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) informa que especialistas discutem ativamente sobre protocolos de armazenamento, adoção de novas tecnologias na pós-colheita, perdas quantitativas e qualitativas dos grãos, os quais impactam significativamente a oferta de grãos à população devido às perdas nos processos de armazenamento (Conab, 2021).

Nessa conjuntura, algumas propriedades físicas dos grãos assumem um papel fundamental, precisando ser mantidas dentro de faixas específicas para garantir um armazenamento adequado e evitar perdas na qualidade, características físicas e químicas, bem como reduzir impactos financeiros. A massa específica aparente e o teor de água são algumas dessas propriedades físicas essenciais quando se aborda o armazenamento e a comercialização de grãos, sendo que ambas se correlacionam diretamente (Corrêa, Silva, 2010).

Atualmente um dos métodos indiretos mais utilizados para determinar o teor de água dos grãos nos diversos equipamentos existentes no mercado é o método capacitivo, que assim como os dados de massa específica aparente, podem ser obtidos através do uso de sensores em conjunto com a tecnologia presente no Arduino Uno (Araújo, 2018). Outro tipo de tecnologia que está se tornando de maior acessibilidade é a impressão 3D, a qual segundo Zucca (2019) pode ser utilizada para diversas aplicações do meio rural como uma forma alternativa para aumentar a produtividade agrícola.

Em um cenário de avanços tecnológicos e automação agrícola, observamos a disponibilidade de máquinas e equipamentos capazes de medir insumos e propriedades dos grãos diretamente na lavoura, possibilitando a criação de mapas de produtividade. Entretanto, a acessibilidade a esses monitores de produtividade, geralmente encontrados em colhedoras autopropelidas, ainda se restringe a fazendas de grande porte, devido aos altos custos associados a esses equipamentos (Santos 2012, Araújo, 2018).

Uma vez que, apesar de existentes, os equipamentos de bancada para medir estas propriedades físicas, tais instrumentos muitas vezes não se mostram viáveis economicamente para pequenos produtores, devido a seus custos consideravelmente elevados, sendo assim, o presente trabalho visou desenvolver um dispositivo para a determinação das propriedades físicas dos grãos como massa específica aparente e teor de água dos grãos e com baixo custo.

MATERIAL E MÉTODOS

O equipamento foi desenvolvido no laboratório do Departamento de Engenharia Agrícola (DEAGRI) e os ensaios referente a calibração foram realizados no laboratório de Máquinas e Motores (LAMOT), da Universidade Federal de Sergipe, Campus São Cristóvão – UFS, SE.

LISTAS DE MATERIAS UTILIZADOS PARA ELABORAÇÃO DO DISPOSITIVO:

- 2 Eletrodos de alumínio com diâmetros diferentes;
- 1 placa de microcontrolador Arduino UNO;
- 1 módulo micro SD SPI;
- 1 sensor de temperatura modelo DS18B20;
- 2 Micros Servos motores (modelo 9g SG90);
- 1 módulo de tela oled de resolução 128x64 modelo SSD1306;
- 1 Célula de carga 5 kg (precisão de 1g modelo YZC -131);
- 1 módulo amplificador de sinal HX711;
- 1 Notebook dell core i5;
- 1 impressora 3D modelo CREALITY ENDER 3 PRO;
- 3 filamentos PLA (azul, branco e preto);
- 4 pés rosqueáveis;
- 1 nível de bolha.

MODELAGEM, IMPRESSÃO E CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO.

Primeiramente foi desenvolvido a modelagem do desenho industrial do dispositivo no software de computação gráfica SolidWorks, criando a modelagem tridimensional. Posteriormente foi impresso utilizando a impressora 3D modelo CREALITY ENDER 3PRO, com auxílio do software fatiador ULTIMAKER CURA versão 4.9, o material utilizado para impressão foi o PLA.

No desenvolvimento do protótipo foram utilizados dois eletrodos cilíndricos com diâmetros diferentes confeccionados com folha de alumínio de espessura 1 mm, uma placa de desenvolvimento Arduino UNO, um módulo micro SD SPI, um sensor de temperatura modelo DS18B20, 2 Micros Servos motores (modelo 9g SG90), módulo de tela LCD de resolução 128x64 modelo SSD1306, célula de carga 5 kg (precisão de 1g modelo YZC -131) e um módulo amplificador de sinal HX711. Toda a programação das funções executadas no microcontrolador foi desenvolvida pela multiplataforma (IDE) do Arduino utilizando a linguagem C++, utilizando um notebook da marca Dell Inspiron com processador Intel(R) Core (TM) i5-8265U CPU @ 1.60GHz 1.80 GHz.

Na parte do desenvolvimento dos sensores de massa específica aparente e de teor de água dos grãos foi utilizado o Arduino Uno que possui um microcontrolador ATmega328, contendo 14 portas digitais com funções específicas, sendo que 6 podem ser usadas como saídas PWM, 6 para portas analógicas e suprimento de energia de 3,3 a 5V.

CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20.

O sensor de temperatura DS18B20 foi submetido a uma calibração junto ao termohigrômetro digital, que de acordo com as especificações do fabricante possui as seguintes características: faixa de leitura de temperatura: $-50^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$; resolução: $0,1^{\circ}\text{C}$ e precisão: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Os dados foram coletados do dia 27/11/2020 a 03/12/2020, no laboratório de máquinas e motores (LAMOT), do departamento de Engenharia Agrícola, no Campus de São Cristóvão, da Universidade Federal de Sergipe, em intervalos de 10 minutos, totalizando 404 dados.

CALIBRAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA.

No sensor de massa específica foi utilizado uma célula de carga com capacidade máxima de 5 kg e precisão de 1g modelo YZC -131, com dimensões de 8 x 12 mm, cujo funcionamento era composto por uma ponte resistiva que altera sua resistência conforme o peso é aplicado, e assim enviando uma tensão ao microcontrolador também foi

necessário utilizar um amplificador de sinal (módulo HX711) para conseguir comunicar com o Arduino.

Para a calibração da célula de carga utilizou-se uma balança de precisão (fabricante Glass Lab com carga máxima de 4,2 kg e precisão de 0,00001 kg). A massa utilizada no teste foi aumentando de 0,05kg em 0,05 kg até chegar um acumulado de 0,85 kg, medido na balança de precisão e posteriormente na célula de carga do protótipo, em seguida utilizando os valores traçou-se uma curva de calibração no programa Minitab 19.

CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE.

Para calibrar o sensor de massa específica aparente, foi utilizado um kit de peso hectolitro (fabricante GEHAKA) como referência para medir a massa específica aparente dos grãos e posteriormente pesado na balança de precisão. Foram utilizados os grãos de milho e de feijão para a medições, os dados foram ajustados por regressão e gerou-se uma equação de calibração para o sensor desenvolvido.

MEDIÇÃO DO TEOR DE ÁGUA DOS GRÃOS.

Para determinar o teor de água do grão foi utilizado dois eletrodos de formato cilíndrico com diâmetros diferentes onde foi encaixado em uma base cilíndrica concêntrica projetada no SolidWorks, impressa na impressora 3D FDM, de material PLA, com dimensões previamente calculadas, com encaixes elevados para que não existisse nenhum grau de liberdade entre os eletrodos excluindo a possibilidade de alguma movimentação durante as medições. As propriedades dielétricas das amostras foram obtidas através de um circuito elétrico denominado método puramente capacitivo de corrente contínua.

A capacitância foi obtida com a seguinte equação 1:

$$CP = \frac{VA0 \times S}{VA2 - VA0} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

CP = é a capacitância do capacitor com grãos (em Farad);

VA0 = é a voltagem na porta analógica A0 do Arduino;

S = Stray capacitance do microcontrolador Arduino UNO (F);

VA2 = Voltagem na porta analógica A2 do Arduino.

Foram realizados testes prévios com capacitores conhecidos para determinar e eliminar o valor de Stray Capacitance, que devido à proximidade dos componentes das placas de microcontroladores são gerados valores de capacitâncias indesejados que podem afetar no resultado (Araújo, 2018). Já a porta analógica A2 foi configurada para sempre enviar 5,0 V para o eletrodo interno.

Ao obter o valor da capacitância, o valor é inserido na equação (2) da constante dielétrica, assim obtendo o valor para correlacionar com o teor de água dos grãos, o qual foi usado para gerar a curva de calibração.

$$\epsilon = \frac{CP \cdot \ln\left(\frac{a}{b}\right)}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \epsilon_0} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

ϵ = Constante dielétrica do material analisado (valor adimensional);

a – Raio do eletrodo interno (em metros);

b – Raio do eletrodo externo (em metros);

L – Comprimento dos eletrodos (em metros);

ϵ_0 – Permissividade do espaço livre ($8,854 \times 10^{-12}$ F.m⁻¹).

Todos esses valores eram obtidos quando realizava os testes, via microcontrolador Arduino Uno, e os dados que são constantes, estão definidos nas equações do código de programação.

Para realizar a calibração do medidor do teor de água foram utilizadas três amostras de 1,2 kg para cada tipo de grão (milho e feijão) com três teores de umidade diferentes no total de 6 amostras, (3 de milho e 3 de feijão). Foram realizadas 5 medições no protótipo para cada amostra, com temperatura média ambiente de 24°C medido pelo sensor de temperatura do aparelho. Obtendo-se os valores da constante dielétrica para cada teor de água do milho e do feijão, posteriormente fez a média dos valores da constante dielétrica.

Após as medições no protótipo retirou-se três amostras de 0,05 kg de grãos para cada teor de água para realizar a determinação do teor de água pelo método padrão estufa $105 \pm 3^\circ\text{C}/24\text{h}$ de acordo a metodologia sugerida pela RAS (Regra de Análise de Sementes) (Brasil, 2009).

Foi utilizada a seguinte equação (3) para obter o teor de água na base do peso úmido:

$$U = \frac{100(P - p)}{P - t} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

U = % do teor de água do grão;

P = peso inicial, peso do recipiente e da semente úmida;

p = peso final, peso do recipiente e da semente seca;

t = tara, peso do recipiente.

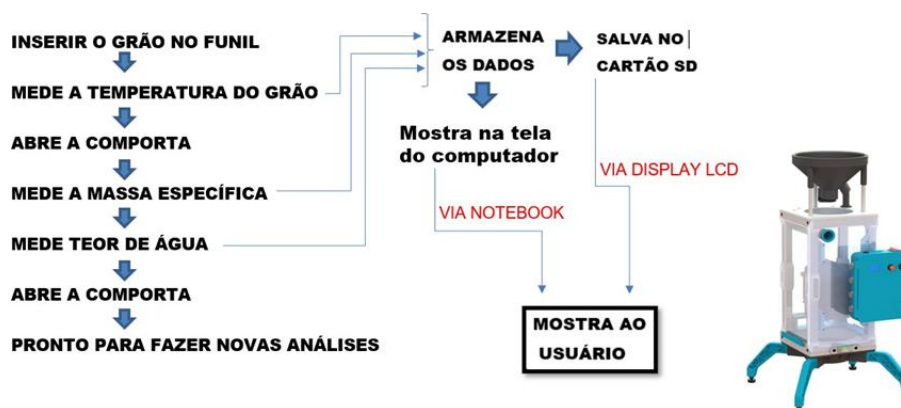
Os valores de teor de água calculado foram plotados no software Minitab 19 correlacionando com os valores da constante dielétrica e obtendo uma equação de calibração ajustado por modelo de regressão.

ETAPAS DO FUNCIONAMENTO DO DISPOSITIVO.

Ao ser alimentado por grãos, o equipamento mediu a temperatura na parte superior ainda no funil, e ao abrir a tampa do mesmo, o grão caiu de forma concêntrica direcionado na parte superior cônica do eletrodo interno de maneira que os grãos se arranjaram naturalmente por gravidade até preencher completamente o eletrodo externo, um servo motor foi acionado para retirar o excesso dos grãos, posteriormente a célula de carga foi acionada para estimar a massa específica aparente, e uma tensão foi enviada de uma porta analógica para o eletrodo externo estimando a capacitância pelo método capacitivo, o grão foi liberado logo em seguida por abertura da comporta inferior acionada por um servo motor.

No momento em que os grãos preencheram completamente o cilindro externo e o servo motor retirar o excesso da parte superior dos grãos, a célula de carga foi acionada para fazer 50 leituras referente à massa de coluna de grãos, após as leituras da massa e capacitância, o valor lido retirou-se a média das 50 leituras, logo em seguida foram armazenadas no cartão de memória, posteriormente informadas na tela do Notebook e no display LCD (Figura 1).

Figura 1 – Diagrama de Funcionamento do equipamento



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS

RESULTADOS OBTIDOS DA CALIBRAÇÃO DO SENSOR DE TEMPERATURA

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios e desvios padrão das medidas de temperatura do sensor DS18B20 e o termo-higrômetro digital.

Tabela 1 – Comparação das médias de temperatura entre o sensor DS18B20 e o termo-higrômetro digital

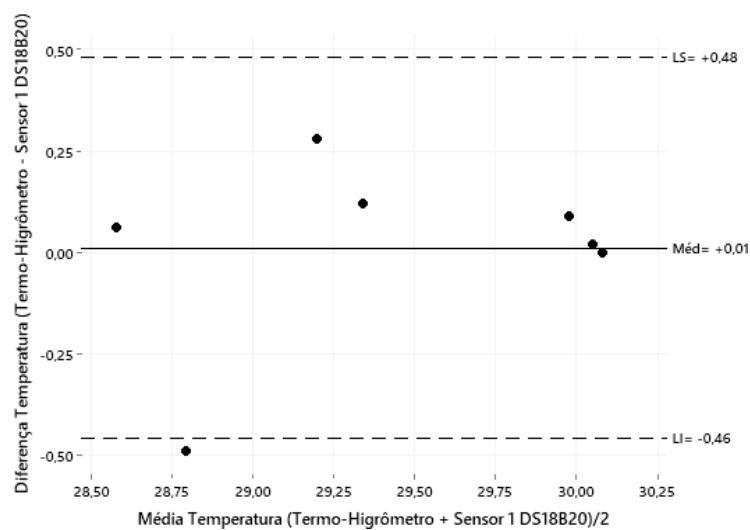
Dia	Sensor	N	Ta (°C)	
			Média	StDev
27/11/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	42	28,96 a	0,4580
	DS18B20	42	29,04 a	0,4471
28/11/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	41	28,61 a	0,4018
	DS18B20	41	28,55 a	0,4302
29/11/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	22	29,34 a	0,4020
	DS18B20	22	29,05 a	0,3331
30/11/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	37	29,40 a	0,3018
	DS18B20	37	29,28 a	0,3444
01/12/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	29	30,02 a	0,3018
	DS18B20	29	29,93 a	0,3444
02/12/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	27	30,06 a	0,4892
	DS18B20	27	30,04 a	0,4143
03/12/2020	TERMO-HIGRÔMETRO	25	30,08 a	0,5330
	DS18B20	25	30,08 a	0,4491

Valores médios seguidos da mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% pelo teste Tukey. StDev: desvio padrão. Fonte: Dados do trabalho.

Para a verificação de concordância entre os valores de temperatura registrados pelo sensor do presente trabalho, com o termo-higrômetro, utilizou-se a análise gráfica de Bland e Altman (1986). A Figura 8, apresenta essa análise entre o sensor DS18B20 e o termo-higrômetro.

A análise do gráfico de Bland e Altman (Figura 2), que avalia a concordância entre os valores de temperatura registrados pelo sensor DS18B20 e o termo-higrômetro, permitiu verificar que a maior parte dos valores se encontra dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença de +0,01 °C entre os valores registrados pelo termo-higrômetro e o sensor DS18B20, demonstrando assim alta concordância entre os resultados.

Figura 2 – Gráfico de BLAND e ALTMAN para comparações entre valores de temperatura registrada pelo termo-higrômetro digital e o sensor DS18B20



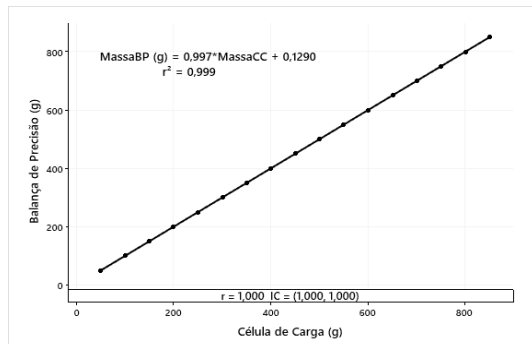
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

RESULTADO DA CALIBRAÇÃO DA CÉLULA DE CARGA.

O gráfico (Figura 3) mostra a comparação do teste feito entre o dispositivo desenvolvido e a balança de precisão com acréscimo de massa de 0,05 em 0,05 kg até chegar 0,85 kg, no qual obteve um excelente resultado com $r^2 = 0,999$.

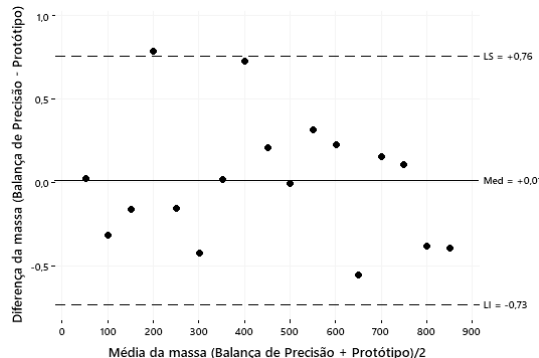
A análise do gráfico de Bland e Altman (Figura 4), avalia a concordância entre os valores de massa registrados pela balança de precisão e a célula de carga, permitiu verificar que a maior parte dos valores se encontra dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença média de +0,01 g entre os valores registrados pela balança de precisão e a célula de carga, um resultado excelente de concordância.

Figura 3 – Gráfico de comparação entre os valores registrados pela balança de precisão e a célula de carga do protótipo, com temperatura média de 24°C



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 4 – Gráfico de BLAND e ALTMAN para comparações entre valores da massa medida pela balança de precisão e a célula de carga do protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

RESULTADOS DOS DADOS DE MASSA ESPECÍFICA APARENTE.

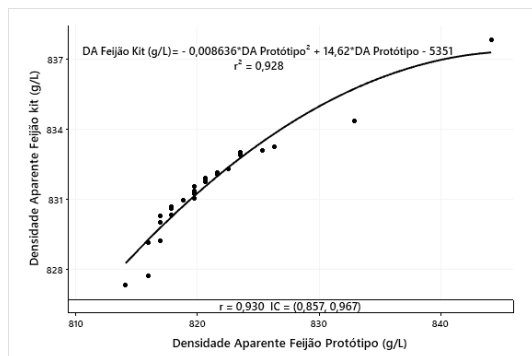
Foram realizadas as medições de massa específica aparente dos dois tipos de grão (milho e feijão). Os valores obtidos variaram entre 792,96 à 848,37 kg.m⁻³ para o feijão e 789,65 à 810,17 kg.m⁻³ para o milho. Tal variação era esperada devido a diferença de umidade entre os grãos. A massa específica aparente, de acordo com Lagares (2009), é facilmente obtida usando dispositivos de células de carga disponíveis no mercado, sendo necessário apenas obter os valores da massa de um determinado volume de grãos desconsiderando os espaços vazios, tendo como unidade de medida kg.m⁻³. Normalmente, a massa específica aparente de grãos agrícolas apresenta uma relação positiva com a diminuição do teor de água do grão, no qual é possível ser influenciada por vários fatores como variedades, grãos avariados, tempo e temperatura de secagem e entre outros fatores. É considerada uma variável fundamental para avaliar a qualidade de grãos e sementes, sendo relevante no processo de calibração de sensores de teor de água em métodos indiretos conforme mencionado por Botelho et al (2018).

A equação de calibração gerada para o sensor e seu respectivo coeficiente de determinação (r^2) estão apresentados na Figura 14 para o feijão e Figura 16 para o milho.

A análise do gráfico de Bland e Altman, que avalia a concordância entre os valores da massa específica aparente determinado pelo aparelho padrão e o dispositivo, permitiu verificar que a maior parte dos valores se encontra dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença de 22,59 g (Figura 5) entre os valores

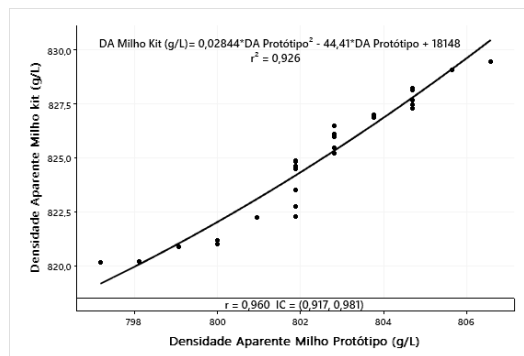
registrados para o milho. E uma diferença de 10,45 g (Figura 6) entre os valores registrados para o feijão, apresentando um nível satisfatório de concordância.

Figura 5 – Gráfico de comparação entre os valores de densidade aparente (massa específica aparente) determinado pelo aparelho padrão (kit) e o protótipo para grãos de feijão



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 6 – Gráfico de BLAND e ALTMAN para comparações entre valores de massa específica aparente determinado pelo aparelho padrão e o protótipo para os grãos de feijão



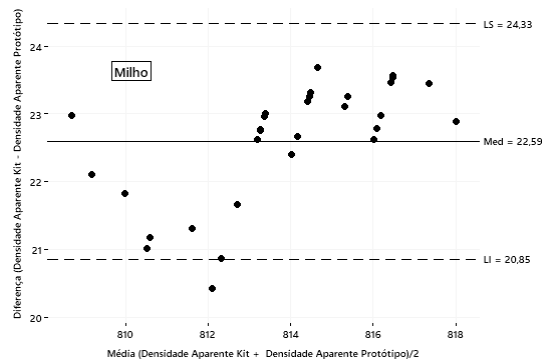
Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Os coeficientes de determinação evidenciaram $r^2 = 0,926$ e $r^2 = 0,928$ para o milho e feijão respectivamente. Diferindo ligeiramente de Araújo (2018) ao fazer calibração de sensor de massa específica aparente com grãos de milho e de feijão, obteve resultado de $r^2 = 0,974$, contrapondo com o que fora encontrado no estudo feito por Botelho et al (2018) que afirmam que tanto o tamanho, quanto a forma dos grãos influenciam na determinação da massa específica aparente.

Os valores dos coeficientes foram obtidos pela equação de correção, o qual apresentou melhores resultados para comparar a massa específica aparente de grãos do protótipo em relação ao do kit peso hectolitro foi a equação de segundo grau: DA Milho Kit (kg.hct^{-1}) = $0,02844 \cdot \text{DA Protótipo}^2 - 44,41 \cdot \text{DA Protótipo} + 18148$ para o milho, e DA Feijão Kit (kg.hct^{-1}) = $-0,008636 \cdot \text{DA Protótipo}^2 + 14,62 \cdot \text{DA Protótipo} - 5351$ para o feijão, onde DA significa os valores de Densidade aparente ou massa específica aparente dos grãos.

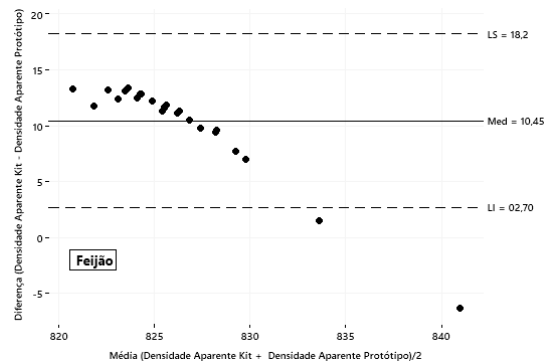
A análise do gráfico de Bland e Altman, que avalia a concordância entre os valores da massa específica aparente determinado pelo aparelho padrão e o dispositivo, permitiu verificar que a maior parte dos valores se encontra dentro dos limites estabelecidos. Percebe-se que em média há uma diferença de 22,59 g (Figura 7) entre os valores registrados para o milho. E uma diferença de 10,45 g (Figura 8) entre os valores registrados para o feijão, apresentando um nível satisfatório de concordância.

Figura 7 – Gráfico de BLAND e ALTMAN para comparações entre valores de massa específica aparente determinado pelo aparelho padrão e o protótipo para os grãos de milho



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 8 – Gráfico de BLAND e ALTMAN para comparações entre valores de massa específica aparente determinado pelo aparelho padrão e o protótipo para os grãos de feijão

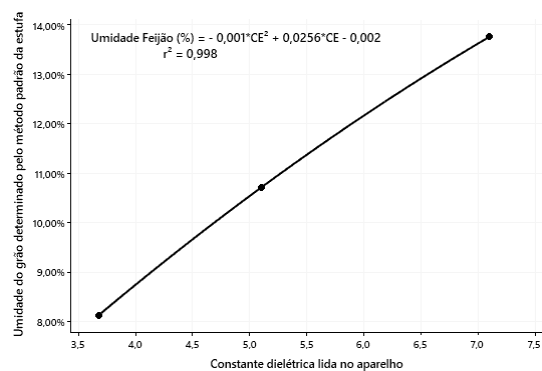


Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

RESULTADOS DA CALIBRAÇÃO DO TEOR DE ÁGUA EM FUNÇÃO DA CONSTANTE DIELÉTRICA DOS GRÃOS

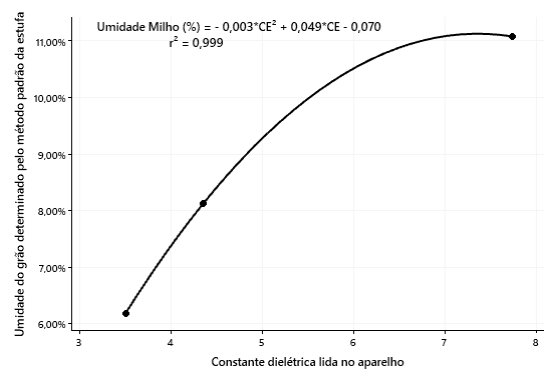
O teor de água dos grãos variou de 6,18% a 11,08% para o milho e de 8,21% a 13,75% para o grão do feijão (Figuras 9 e 10). Após as análises estatísticas, o coeficiente de determinação r^2 se mostrou bem próximo de 1, demonstrando uma boa correlação entre os valores de contante dielétrica e a o teor de água dos grãos, condizente com os resultados encontrados por Araújo (2018) ao fazer a calibração do sensor capacitivo usando grãos de milho e feijão como dielétricos encontrando $r^2 = 0,974$ para o milho e $r^2 = 0,967$ para grãos de feijão.

Figura 9 – Gráfico de comparação entre os valores dos teores de água dos grãos de feijão determinado pelo método padrão da estufa, e os valores de constante dielétrica registrados pelo dispositivo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Figura 10 – Gráfico de comparação entre os valores do teor de água dos grãos de milho determinado pelo método padrão da estufa, e os valores de constante dielétrica registrados pelo dispositivo



Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Como o método capacitivo que consiste em utilizar capacitores preenchido com grãos entre suas placas, e através de uma tensão aplicada nas placas a qual está em contato com a massa, é possível obter valores da constante dielétrica dos grãos e conseqüentemente a capacitância no dispositivo capacitivo. Sendo que os grãos é um material dielétrico, ou seja, atua como um isolante elétrico, a variação da quantidade de água presente ocasiona uma alteração na constante dielétrica do capacitor possibilitando estimar o teor de água, já que as constantes dielétricas são proporcionais a quantidade de água dos grãos (Olivo, 2010; Araújo, 2018).

O resultado encontrado foi de acordo com o esperado, pois teor de água dos grãos está em uma faixa na qual usando o método capacitivo, consegue-se determinar o teor de água de maneira satisfatória (Lagares, 2009; Olivo, 2010; Araújo, 2018).

Em razão da variação sazonal e do momento dos testes não ser na época de colheita, foram utilizados os grãos com teor de água baixo.

CUSTO

Os materiais adquiridos foram orçados e resultaram em um total de R\$ 594,40 (valor do dólar R\$ 5,26). Valor este que representa apenas 22,86% do custo do kit de peso hectolitro que é aproximadamente R\$ 2.600 no site da fabricante GEHAK, o qual ainda necessita de uma balança para obter somente os dados de massa específica aparente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para a massa específica aparente apresentam variação esperada, o que demonstra um coeficiente de determinação significativo. A acessibilidade financeira do equipamento possibilita sua implementação na Agricultura de Precisão, especialmente para pequenos produtores.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, G. D. M. Sistema de baixo custo para determinação do teor de água e massa específica aparente de feijão e milho. 2018. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140673686908378>. Acesso em: 22 ago. 2023.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, p. 307-310, 1986.

BOTELHO, F. M.; FARIA, B. M. E. M.; BOTELHO, S.; RUFFATO, S.; NOGUEIRA, R. M. Metodologias para determinação de massa específica de grãos. 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1154850>. Acesso em: 28 ago. 2023. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v1i141.7922>

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Perdas em transporte e armazenagem de grãos: panorama atual e perspectivas. Brasil: CONAB, 2021. 197 p. Disponível em: https://www.conab.gov.br/outras-publicacoes/item/download/35953_e93eba0ef12529526cef749f8d465f7b. Acesso em: 11 ago. 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Indicadores IBGE: levantamento sistemático da produção agrícola. Estatística da Produção Agrícola. Brasil: IBGE, 2023. 102 p. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2023/estProdAgri_202307.pdf. Acesso em: ago. 2023.

KRZYZANOWSKI, F. C.; OLIVEIRA, M. A.; LORINI, I.; FRANÇA-NETO, J. B.; AUGUSTO, F. Armazenamento do grão de soja com qualidade: princípios importantes a serem observados. 2023. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155426/1/Circ-Tec-196.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2023.

LAGARES JR, M. L. Desenvolvimento de um sistema capacitivo para medição de umidade de sementes embarcado em uma colhedora. 2009. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/14684/1/DesenvolvimentoSistemaCapacitivo.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2021.

MELLO, C. H. P.; GUEDES, F. N.; NORONHA, V. J. M.; KAWASAKI, A. A.; SOUSA ROCHA, T. E.; FERREIRA, J. R.; JUNIOR, J. H. C. G. Análise da qualidade superficial e dimensional em peças produzidas por modelagem por deposição de material fundido (FDM). Revista Produção Online, v. 10, n. 3, p. 504-523, 2010. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/237/715>. Acesso em: 21 ago. 2023. <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v10i3.237>

NELSON, S. Dielectric properties of agricultural materials and their applications. Academic Press, 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=rTFOBQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Dielectric+properties+of+agricultural+materials+and+their+applications&ots=bxJMF3sz&sig=YL5kq212KJOXyW3Gy5EB-o-E244#v=onepage&q=Dielectric%20properties%20of%20agricultural%20materials%20and%20their%20applications&f=false>. Acesso em: jul. 2023.

OLIVO, O. E. Determinação da umidade da soja por medida capacitiva. 2010. Dissertação (Pós-Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/25576/Dissertacao%20-%20Tania%20Evelyn%20Olivo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 ago. 2023.

PEREIRA, F. J. D. S. Construção de uma bancada de ensaio e avaliação de um sistema de mensuração da produtividade de grãos. 2002. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: http://afurlan.com.br/lap/cp/assets/layout/files/ted/tese_sensor%20de%20volume.PDF. Acesso em: 27 jul. 2023.

SANTOS, M. Impacto das mudanças tecnológicas na gestão das pequenas e médias propriedades de produção de grãos na região da Quarta Colônia. 2012. Disponível em: http://repositorio.faculdadeam.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/67/TCC_AD_M_Marcelo_da_Silva_dos_Santos_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 14 jul. 2023.

ZUCCA, R. Desenvolvimento de impressora 3D de baixo custo para prototipagem de peças para o meio rural. 2019. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Grande Dourados, Mato Grosso do Sul. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/943/1/RafaelZucca.pdf>. Acesso em: 7 mar. 2023.