



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**DANOS MECÂNICOS E QUALIDADE DE SEMENTES DE
GRÃO-DE-BICO**

JOSÉ DE OLIVEIRA CRUZ

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

FEVEREIRO/2024



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**DANOS MECÂNICOS E QUALIDADE DE SEMENTES DE
GRÃO-DE-BICO**

JOSÉ DE OLIVEIRA CRUZ

ORIENTADOR: PROF. DR. RICARDO CARMONA

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF

FEVEREIRO/2024



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**DANOS MECÂNICOS E QUALIDADE DE SEMENTES DE
GRÃO-DE-BICO**

JOSÉ DE OLIVEIRA CRUZ

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

Ricardo Carmona, Dr. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária -
Universidade de Brasília, CPF: 183.492.181-34, rcarmona@unb.br (Orientador)

Nara Oliveira Silva Souza, Dra. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária
- Universidade de Brasília, narasouza@unb.br (Membro interno)

Caroline Jacome Costa, Dra. Embrapa Hortaliças, caroline.costa@embrapa.br
(membro externa)

Patrícia Pereira da Silva, Dra. Anapa, patricia.pereira@colaborador.embrapa.br
(membro externa)

BRASÍLIA/DF, 28 de FEVEREIRO de 2024

FICHA CATALOGRÁFICA

Cruz, José de Oliveira

Danos mecânicos e qualidade de sementes de grão-de-bico.
José de Oliveira Cruz; Orientação de Ricardo Carmona. Brasília,
2024.

123 p.: il.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília / Faculdade
de Agronomia e Medicina Veterinária, 2024.

1. Beneficiamento de sementes. 2. *Cicer arietinum* L. 3.
Colheita mecânica. 4. Perdas em campo. 5. Qualidade de
sementes. 6. Teste de tintura de iodo. 7. Teste do pêndulo

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CRUZ, J. O. **Danos mecânicos e qualidade de sementes de grão-de-bico.**
Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de
Brasília, 2024, 123 p. Tese de doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: José de Oliveira Cruz

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Danos mecânicos e qualidade de
sementes de grão-de-bico

GRAU: Doutor ANO: 2024

É concedida à Universidade de Brasília de Brasília permissão para reproduzir
cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos
acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de
publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem
a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada
à fonte.

NOME: José de Oliveira Cruz - CPF: 036.846.763-57 - Tel. (16) 98212-9199 -
E-mail: josecruz08@yahoo.com

“Há para todas as coisas

um tempo

determinado por

Deus”

Eclesiastes 3

“É justo que muito custe

o que muito

vale”

Santa Teresa D'Ávila

À Deus, pelo dom da vida, por ser fortaleza, amparo e misericórdia. Ao professores Ricardo Carmona pela orientação, apoio, cuidado e amizade. Aos alunos de graduação Bruno Santos, Thiago Estácio, Maíza Souza, Luis Carlos, Amanda, Athos, Emilly, Isa, Anelise, Davi, Márcio, Gabriel e Isabela Artiaga pelo apoio, amizade e ajuda nas atividades de campo e em laboratório. À Osmar Artiaga pelo apoio e disponibilidade da Fazenda Agrogarbanzo para condução dos experimentos. À Universidade de Brasília pela oportunidade. À Dra. Profa. Nara, Dra. Caroline, Dra. Patrícia pela disponibilidade de leitura desta tese. Aos que foram e aos que ficaram. E a todos que contribuíram de alguma forma na produção dessa tese,

MINHA GRATIÇÃO

À Nossa Senhora e Santa Rita de Cássia. À minha mãe Lucí Cruz, meu pai Zé Soares, meus irmãos Lucélio, Laíce, Laiza e Larisse, meus sobrinhos Bárbara, Baruck e Isabella e a Gracilene. Aos meus amigos Mayara, Tayara, Raiane, Léa, Jonatas e Emanuel. Aos grupos Emaús, EPJ e EJC,

DEDICO

DANOS MECÂNICOS E QUALIDADE DE SEMENTES DE GRÃO-DE-BICO

Resumo: O grão-de-bico é a segunda leguminosa mais consumida mundialmente – fato que demanda por sementes de alta qualidade. Nesse viés, a qualidade de uma semente pode ser comprometida por danos mecânicos que venham ocorrer no decorrer do processo produtivo, tendo em vista que podem prejudicar a qualidade física, fisiológica e sanitária das sementes, ao passo que o uso de cultivares com sementes menos sensíveis a danos mecânicos podem atenuar os efeitos desses danos. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivos: determinar a metodologia do teste rápido de tintura de iodo em sementes de grão-de-bico; avaliar a qualidade de sementes e as perdas em campo de sementes de grão-de-bico do tipo desi na colheita mecânica, etapa crítica do processo de produção de sementes; avaliar os efeitos do beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de grão-de-bico variedade Jamu 96; avaliar o efeito dos danos mecânicos causados através do teste do pêndulo na qualidade física e fisiológica de sementes de grão-de-bico, bem como identificar a resistência das sementes de cultivares aos danos mecânicos em distintos teores de água. A obtenção das sementes se deu nas Fazendas: AgroGarbanzo, Água Limpa (da Universidade de Brasília – UnB) e Sucupira (da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA). As análises se deram: no Laboratório de Tecnologia de Sementes da UnB. Para tanto, inicialmente foram testadas as concentrações 5, 10 e 15% nos tempos 2,5, 5, 10, 15 e 20 minutos de imersão das sementes na solução de tintura de iodo fraco. Em seguida foram avaliadas as qualidades físicas e fisiológicas de 10 lotes de sementes, além da aplicação do teste rápido de tintura de iodo na concentração de 10% nos tempos de 10 e 15 minutos. Em campos de produção de sementes de grão-de-bico do tipo Desi realizou-se sua colheita em dois anos com uma colhedora do tipo John Deere 9770 STS. Foram avaliadas as rotações 200, 300 e 400 rpm e as aberturas entre cilindro e côncavo 1, 2 e 3. Em seguida foram avaliadas as perdas em campo e qualidades física e fisiológica das sementes. Quanto a fragilidade das sementes aos danos mecânicos, foram avaliadas as qualidades físicas e fisiológicas das sementes das cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa, com distintos teores de água (9, 11, 13 e 15%), nas regiões de impacto do pêndulo nas sementes (ponta, cotilédone e

dorso). Diante do exposto, pode-se concluir que: a recomendação da realização do teste de iodo, na concentração de 10% (do produto comercial com concentração de iodo igual a 2%), durante 15 minutos, para a aferição do nível de danos em sementes de grão-de-bico. De fato, tem-se correlação entre a coloração das sementes mediante solução de tintura de iodo e a qualidade física e fisiológica das sementes de grão-de-bico. A rotação do cilindro rotor afeta significativamente a qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo Desi, com rotações mais altas (400 RPM) resultando em danos mecânicos mais severos. A abertura entre o cilindro e côncavo desempenha um papel crítico na perda de sementes durante a colheita, com aberturas maiores levando a perdas mais substanciais. Sementes colhidas em 2021 demonstraram ser mais suscetíveis a danos mecânicos em comparação com as de 2020, destacando a importância do controle de danos durante a colheita. A análise de clorofila e carotenoides não revelou influência significativa da rotação do cilindro rotor, assim, essas variáveis não são afetadas por esse ajuste. A rotação de 300 RPM foi a que trouxe menos impactos na qualidade final das sementes de grão de bico tipo desi. A qualidade fisiológica do lote de sementes de grão-de-bico é melhorada principalmente na mesa densimétrica e máquina classificadora, ao separar as sementes por peso específico e por diâmetro. Há relação direta entre o peso específico e a qualidade fisiológica das sementes de grão-de-bico. Os danos mecânicos prejudicam a qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico. As sementes de grão-de-bico da cultivar BRS Kalifa é mais resistente e aquelas da cultivar BRS Aleppo é mais sensível aos danos mecânicos. O método do pêndulo é eficiente para identificar cultivar sensível aos danos mecânicos. Danos mecânicos no eixo embrionário é altamente prejudicial para qualidade das sementes de grão-de-bico. Sementes com menores teores de água (9%) são mais sensíveis a danos mecânicos por impactos. Sementes com teores de água de 13 e 15% são mais resistentes aos danos mecânicos.

Palavras-chave: Beneficiamento de sementes, *Cicer arietinum* L., Colheita mecânica, Perdas em campo, Qualidade de sementes, Teste de tintura de iodo, Teste do pêndulo

Mechanical Damage and Seed Quality of Chickpeas

Abstract: Chickpea is the second most consumed legume worldwide, which demands high-quality seeds. In this regard, seed quality can be compromised by mechanical damage occurring during the production process, as it can impair the physical, physiological, and sanitary quality of seeds. The use of cultivars with seeds less susceptible to mechanical damage can mitigate these effects. Therefore, this study aimed to determine the methodology of the rapid iodine staining test in chickpea seeds; evaluate seed quality and field losses of Desi-type chickpea seeds during mechanical harvesting, a critical stage in the seed production process; assess the effects of processing on the physical and physiological quality of Jamu 96 chickpea variety seeds; evaluate the effect of mechanical damage caused by the pendulum test on the physical and physiological quality of chickpea seeds, as well as identify the resistance of seed cultivars to mechanical damage at different moisture levels. The seeds were obtained from the AgroGarbanzo, Água Limpa (University of Brasília – UnB), and Sucupira (Brazilian Agricultural Research Corporation – EMBRAPA) Farms. The analyses were conducted at the UnB Seed Technology Laboratory. Initially, concentrations of 5%, 10%, and 15% were tested for 2.5, 5, 10, 15, and 20 minutes of seed immersion in weak iodine staining solution. Subsequently, the physical and physiological qualities of 10 seed lots were evaluated, along with the application of the rapid iodine staining test at a concentration of 10% for 10 and 15 minutes. In Desi-type chickpea seed production fields, harvesting was carried out over two years using a John Deere 9770 STS harvester. Rotations of 200, 300, and 400 RPM and clearances between cylinder and concave of 1, 2, and 3 were evaluated. Field losses and physical and physiological qualities of the seeds were then assessed. Regarding seed susceptibility to mechanical damage, the physical and physiological qualities of seeds from the BRS Aleppo, BRS Cristalino, and BRS Kalifa cultivars were evaluated at different moisture levels (9%, 11%, 13%, and 15%) and impact regions of the pendulum on the seeds (tip, cotyledon, and back). In conclusion, it can be stated that the recommended iodine test concentration of 10% (from the commercial product with an iodine concentration of 2%), for 15 minutes, for assessing the level of damage in chickpea seeds. Indeed, there is a correlation between seed staining using iodine

staining solution and the physical and physiological quality of chickpea seeds. The rotation of the rotor cylinder significantly affects the quality of Desi-type chickpea seeds, with higher rotations (400 RPM) resulting in more severe mechanical damage. The clearance between the cylinder and concave plays a critical role in seed loss during harvesting, with larger clearances resulting in more substantial losses. Seeds harvested in 2021 were more susceptible to mechanical damage compared to those in 2020, highlighting the importance of damage control during harvesting. Chlorophyll and carotenoid analysis did not reveal a significant influence of rotor cylinder rotation; thus, these variables are not affected by this adjustment. The 300 RPM rotation brought the least impact on the final quality of Desi-type chickpea seeds. The physiological quality of the chickpea seed lot is mainly improved in the gravity table and sorting machine by separating seeds by specific weight and diameter. There is a direct relationship between specific weight and physiological quality of chickpea seeds. This processing model needs adjustments due to the high occurrence of seeds from other species in the sorting machine. Mechanical damage affects the physiological quality of chickpea seeds. BRS Kalifa chickpea seeds are more resistant, while those from BRS Aleppo are more sensitive to mechanical damage. The pendulum method is efficient in identifying cultivars sensitive to mechanical damage. Mechanical damage to the embryonic axis is highly detrimental to chickpea seed quality. Seeds with lower moisture levels (9%) are more sensitive to mechanical damage from impacts. Seeds with moisture levels of 13% and 15% are more resistant to mechanical damage.

Keywords: Seed processing, *Cicer arietinum* L., Mechanical harvesting, Field losses, Seed quality, Iodine staining test, Pendulum test

1. Introdução geral

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), ou grão-da-felicidade, é a segunda leguminosa mais consumida mundialmente e a terceira mais produzida. Isso se deve, principalmente, à sua elevada qualidade nutricional e à facilidade de adaptação a regiões de clima seco e ameno, além de ser uma cultura menos exigente em água quando comparada com outras leguminosas.

No Brasil, tem-se identificado um crescimento no consumo de seus grãos, principalmente no contexto de dietas veganas e vegetarianas, inclusive como alternativa para substituição de proteína animal. Esta é uma cultura com alta adaptabilidade às regiões brasileiras, especialmente na região do Cerrado. Recentemente, foram realizados diversos estudos relacionados à adaptação do grão-de-bico nesta região.

Entre as vantagens do uso dessa cultura no Cerrado, podemos citar: a diversificação de cultivos, o que resulta em uma maior sustentabilidade do negócio agrícola; a capacidade de fixação de nitrogênio, por se tratar de uma leguminosa; além de ser uma cultura com maior tolerância à seca, se comparada a outras leguminosas; e o uso do mesmo maquinário de outras leguminosas, como, por exemplo, a plantadeira e a colhedora.

Entretanto, há uma necessidade básica para a expansão da área cultivada de grão-de-bico: sementes de qualidade. De acordo com a literatura, observa-se uma carência de resultados de pesquisa agrônômica com essa espécie no Brasil, principalmente relacionados à produção de sementes.

As sementes de grão-de-bico apresentam uma anatomia propícia a danos mecânicos, o que é um fator importante a ser considerado durante o processo produtivo para a obtenção de sementes de qualidade adequada. Nesse sentido, os principais processos da cadeia produtiva que induzem danos mecânicos são a colheita e o beneficiamento.

Dessa forma, estudos voltados para avaliar o efeito dos danos mecânicos e os métodos de avaliação desses danos são necessários para impulsionar a indústria de sementes de grão-de-bico no Brasil.

2. Objetivos

2.1. Objetivo geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar os danos mecânicos e a qualidade das sementes de grão-de-bico no processo produtivo.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar o efeito do tempo de exposição das sementes em solução de iodo e sua concentração na coloração de estruturas de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) danificadas artificialmente e naturalmente. Além de avaliar a correlação da qualidade física e fisiológica com o teste rápido de tintura de iodo.
- Avaliar os efeitos do beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de grão-de-bico.
- Avaliar a qualidade de sementes e as perdas em campo de grão-de-bico do tipo desi na colheita mecânica, etapa crítica do processo de produção de sementes.
- Avaliar o efeito dos danos mecânicos causados através do teste do pêndulo na qualidade física e fisiológica de sementes de grão-de-bico, bem como identificar a resistência das sementes de cultivares aos danos mecânicos em distintos teores de água.

3. Revisão de literatura

As leguminosas de grãos secos, denominadas *pulses*, são conhecidas mundialmente. Em sua produção, as *pulses* podem melhorar a fertilidade do solo devido à sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico no solo e aumentar o fluxo biológico do fósforo (TIJANI; DREYER, 2018).

Além disso, as *pulses* apresentam elevado valor nutricional, cada vez mais reconhecidas como a base de uma dieta sustentável (BRASIL, 2018). Elas

compõem um grupo de 12 culturas que inclui, além dos feijões, as ervilhas secas, as lentilhas e o grão-de-bico (BRASIL, 2018).

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), também conhecido na América Latina como garbanzo, está presente em mais de 50 países, sendo que sua produção e seu consumo estão concentrados no subcontinente Indiano, oeste da Ásia, norte da África, sudoeste europeu e região centro-americana (ICRISAT, 2017).

A cultura em questão é a segunda leguminosa mais consumida no mundo, com área cultivada de 14,8 milhões de hectares e produtividade de 0,96 t ha⁻¹ (FAO, 2017; 2011; NASCIMENTO et al., 2016). No Brasil, seu consumo e sua produção vem aumentando. No entanto, sua importação se faz necessária, principalmente, da Argentina e do México (NASCIMENTO et al., 2016). Assim, essa cultura vem se expandindo no país resultando em crescente demanda por sementes.

De acordo com o Sistema de Gestão de Fiscalização – SIGEF, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, foram registados campos de produção de todas as classes de sementes de grão-de-bico a partir das safras de 2016/2016 (Figura 1) (BRASIL, 2023). Em 2022 foram produzidas em cerca de 69 ha um montante de 97 t de sementes de grão-de-bico. Em relação a produção estimada de 2019-2019, pode-se perceber uma queda cerca de 95%, este fato deve-se principalmente que nos anos de 2018 e 2019 foram lançados materiais no mercado, além de que, nos anos seguintes ocorreu a pandemia.

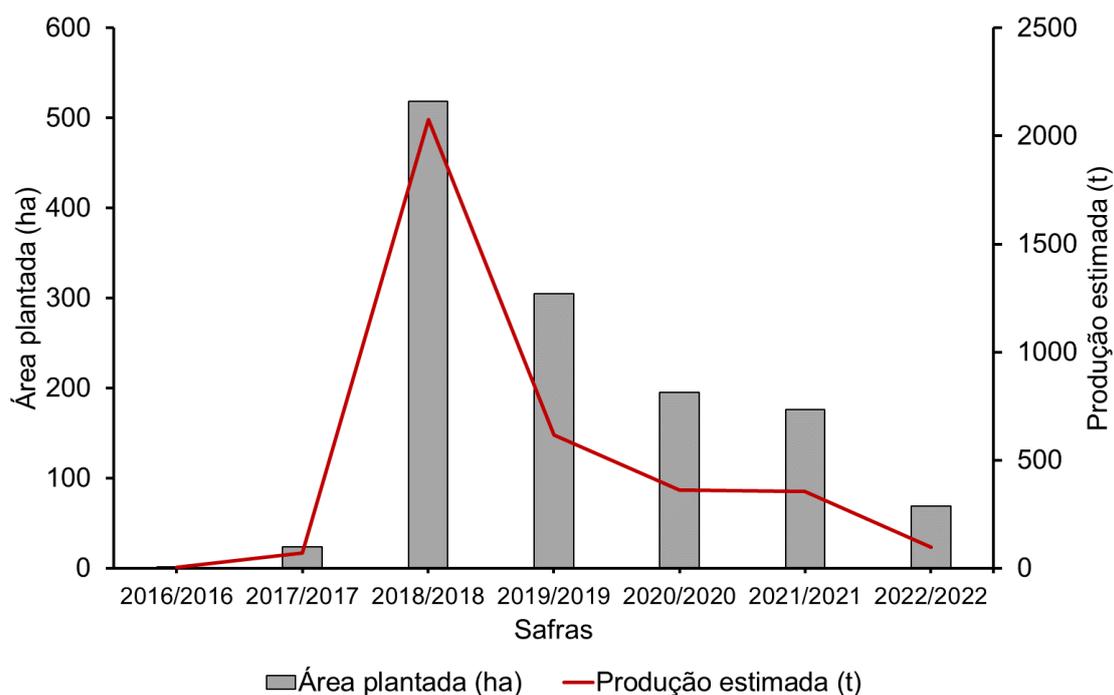


Figura 1. Área plantada registrada, no SIGEF/MAPA, e produção estimada de sementes de grão-de-bico das classes: genética, básica, C1, C2, S1 e S2. Fonte: <https://dados.agricultura.gov.br/dataset/>

Segundo registros, na safra de 2022/2022 foram produzidas sementes no Distrito Federal, Paraná e Minas Gerais, das cultivares BRS Kalifa, BRS Aleppo, BRS Toro, BRS Cristalino, Cícero e Apu (BRASIL, 2023).

O grão-de-bico apresenta tolerância ao déficit hídrico e se adapta bem a climas secos e amenos (HOSKEM et al., 2017). Sua planta é herbácea, anual e ereta (MARGHEIM et al., 2004); seu sistema radicular é pivotante e com poucas raízes laterais (GAUR et al., 2010); e, suas vagens se desenvolvem na parte superior, em geral, com uma ou duas sementes.

As sementes podem ser enrugadas ou ásperas, coloridas e protegidas com tegumento espesso – características do tipo Desi – ou mesmo de superfície lisa ou ligeiramente enrugada, com tegumento fino, coloração branca ou bege, formato bicado (cabeça de carneiro) e de tamanho maior – características do tipo Kabuli (NASCIMENTO et al., 2016; GAUR et al., 2010).

As sementes da cultura em comento são constituídas pelo tegumento ali envolto. Além disso, são bitegumentadas e possuem dois cotilédones e um embrião. Possuem micrópila, rafe e o hilo protuberante, que é a radícula do eixo embrionário – o ponto de fixação da semente na vagem (HOSKEM, 2014). Tal hilo protuberante torna-se um problema durante a produção de sementes, uma

vez que é uma parte vital do embrião, está situado sob tegumento pouco espesso e, por estar mais exposto, é passível de ser danificado com facilidade, prejudicando, assim, sua qualidade.

Dessa feita, a qualidade das sementes pode ser afetada por diversos fatores, tais como: colheita mecanizada, grau de umidade das sementes durante a colheita e genética ou tipo da semente, possibilitando resistência ao dano mecânico, que está relacionado à sua composição (CUNHA et al., 2009; TERASAWA et al., 2009; POPINIGIS, 1985). Vale ressaltar que, para a cultura do grão-de-bico, são escassas as informações relacionadas à colheita de suas sementes.

Nesse contexto, a colheita mecanizada pode ser inviabilizada quando o teor de água das sementes é elevado, podendo causar dificuldades para o recolhimento e a trilha, devido à massa verde e úmida das plantas e à ocorrência de danos mecânicos por amassamento das sementes (TERASAWA, 2008).

Quando o teor de água da semente é elevado por ocasião da maturidade fisiológica, as sementes ortodoxas devem permanecer no campo até a redução a um nível que a colheita não cause danos às sementes (MARCOS-FILHO, 2015). Apesar de que, quando a semente permanece muito tempo no campo, após o desligamento fisiológico, as intempéries podem provocar deterioração e perda da qualidade, além de causar deiscência das vagens e atrasar a colheita (TRANCOSO, 2018).

Segundo Marco-Filho (2015), para maior longevidade de sementes de grande parte das espécies, o teor de água ideal é aproximadamente 12%. Entretanto, o teor de água não pode ser muito baixo para que a semente não seja danificada no processo de embebição (TRANCOSO, 2018). Além disso, os baixos teores de água podem acarretar na deiscência de algumas vagens (NASCIMENTO et al., 2016).

Dessa forma, quando o teor de água da semente é baixo, caracteriza-se por apresentar maior número de sementes quebradas e tegumento rachado, causando perda imediata na qualidade da semente (TERASAWA, 2008).

Em sementes de soja, por exemplo, alguns autores recomendam teor de água no momento da colheita na faixa entre 12,0% a 14,0% – algo seguro para evitar danificações na semente e perdas na qualidade fisiológica (DALTRO et al., 2010; FRANÇA-NETO et al., 2007). Trancoso et al. (2021) recomendaram a

colheita de sementes de grão-de-bico quando suas vagens atingirem coloração amarela; mas, nessa fase, apesar de estar com elevada qualidade fisiológica, suas sementes apresentam elevado teor de água (cerca de 40%). Assim, mecanicamente, fica inviável ao produtor colher suas sementes de grão-de-bico no ponto em questão.

Já em sementes de feijão foi constatado que, quando colhidas com teores de água superiores a 17%, o índice de quebra das sementes foi elevado, bem como os danos mecânicos imediatos e danos latentes após seis meses de armazenamento (AFONSO-JÚNIOR; CORREA, 2000). Tal índice de quebra, quando elevado, acarreta em perdas significativas de qualidade e quantidade de sementes de um lote, tendo em vista que a semente de feijão danificada não possui valor comercial (TERASAWA, 2018).

Durante a colheita de sementes geralmente ocorre perdas de sementes em campo. Tal ação deve ser evitada, pois configura considerável prejuízo para o produtor. As perdas em campo são avaliadas através da colheita do material perdido em campo, em uma área determinada, logo após a passagem da colhedora. Em seguida, esse material é pesado, procedendo-se o cálculo da perda para a área total.

As perdas em campo podem ser influenciadas pelo teor de água das sementes, pelas regulagens da máquina e pela experiência do operador (BARROZO et al., 2010). Além das perdas de sementes em campo, as sementes colhidas podem apresentar perdas da qualidade a partir de danos mecânicos, devido às falhas com manutenção, regulagem inadequada ou falta de treinamento dos operadores das colhedoras (TERASAWA, 2018).

A colheita mecanizada de sementes de grão-de-bico também pode afetar sua qualidade, uma vez que elevadas velocidades da colhedora ou altas rotações do cilindro rotor podem prejudicar a qualidade das sementes (DIAS et al., 2021). Dias et al. (2021) concluíram que a associação da baixa velocidade da colhedora ($2,5 \text{ km h}^{-1}$) associada às menores rotações do cilindro rotor são mais adequadas para a colheita de sementes dessa espécie.

Costa et al. (1996) avaliaram a combinação de regulagens de colhedoras equipadas com cilindro convencional e diferentes velocidades de deslocamento da máquina ($4,5$ e $8,0 \text{ km h}^{-1}$), rotação do cilindro (550 e 800 rpm) e abertura do

côncavo (10 e 4 mm), constatando que a menor velocidade de deslocamento e do cilindro resultou em menores danos mecânicos.

No entanto, a regulagem dos equipamentos demanda tempo e preparo dos operadores e da equipe técnica (TERASAWA, 2018). Ainda assim, Costa et al. (1996), para sementes de soja, sugeriram que, para a redução de danos mecânicos, é preciso dar atenção à redução da rotação do cilindro rotor, bem como promover ajustes rigorosos da abertura do cilindro-côncavo.

Aqueles autores concluíram que as sementes de soja colhidas com baixo teor de água (10,8%) nas diferentes regulagens supramencionadas proporcionaram elevada quantidade de sementes quebradas, reduzindo a germinação e o vigor, além de causar elevada incidência de fungos.

De fato, as sementes após a colheita não se encontram em condições adequadas para o armazenamento, a comercialização ou a semeadura, pelo fato de apresentarem grande quantidade de impurezas e diferentes tamanhos. (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012). A remoção de impurezas do lote e classificação das sementes por tamanho/forma favorecem a negociação para a comercialização, o semeio e o desempenho fisiológico (MARCOS-FILHO, 2015).

As principais impurezas removidas no beneficiamento são: sementes de má qualidade, deformadas, danificadas, infectadas por patógenos, palhas, torrões e sementes de outras espécies.

O beneficiamento expõe as sementes ao impacto durante a queda e o choque com as máquinas, causando lesões e trincas no tegumento. Dessa forma, os danos se acumulam no decorrer do beneficiamento, favorecendo o acesso dos microrganismos no interior das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A qualidade da semente está diretamente ligada com o tipo de máquina a ser utilizada e a sequência de operações envolvidas durante o beneficiamento. A limpeza e a regulagem das mesmas são aspectos imprescindíveis para a obtenção de sementes de alta qualidade (MELO et al., 2016).

Por conseguinte, o beneficiamento deve ser realizado de forma adequada, para que os esforços anteriores, empreendidos no desenvolvimento do material e nas técnicas culturais da cultura, não sejam perdidos, pois, a qualidade das sementes interfere no estabelecimento adequado do stand de plantas, refletindo na produtividade da cultura.

Dessa feira, faz-se importante confrontar as qualidades física, fisiológica e sanitária das sementes com as condições do processo de produção dessas sementes, uma vez que a semente de qualidade é a base para a produção rentável.

Durante a produção de sementes, o produtor deve fazer uso de máquinas e métodos que causem o mínimo de danos mecânicos possível. Nesse viés, entende-se que os danos mecânicos em sementes é um dos principais problemas da produção de sementes – consequência da mecanização das atividades agrícolas.

Em geral, os danos mecânicos em sementes acarretam baixa qualidade fisiológica e alterações metabólicas degenerativas (atraso no processo germinativo, redução no crescimento de plântulas e lixiviação de solutos, por exemplo), caracterizando sua deterioração (SILVA et al., 2011).

Carbonell e Krzyzanowski (1995) propuseram o teste do pêndulo para avaliar o efeito dos danos mecânicos e a resistência de sementes de cultivares de soja. Tem-se aí a queda livre de um pêndulo de aço sobre sementes individualizadas em alvéolos de um disco de aço. Estas recebem um impacto de força conhecida – metodologia que pode ser utilizada em programas de melhoramento, visando a avaliação de danos mecânicos em lotes de sementes e a seleção de materiais genéticos resistentes a esses danos.

Fazendo uso do teste do pêndulo para a seleção de cultivares resistentes a danos mecânicos, alguns estudiosos concluíram que o método em questão é eficiente (CARBONELL; KRZYZANOWSKI, 1995; CARBONELL et al., 1993). Além disso, afirmaram que o teor de água é determinante neste teste. Assim, sementes com baixos teores de umidade (8%) são mais suscetíveis ao dano mecânico imediato – o que gera baixo índice de germinação (FRANÇA-NETO et al., 1984).

Os danos mecânicos podem ser avaliados de diversas formas, em especial, fazendo uso do teste de tetrazólio e do teste de condutividade elétrica. O uso de testes para identificar os danos mecânicos é de grande importância, desde que sejam rápidos e precisos na identificação dos danos (MELO et al., 2012). Entre os testes de destaque têm-se: o teste de tetrazólio, em sementes de grão-de-bico (PARAÍSO et al., 2019); o teste de hipoclorito de sódio, em análises de sementes de soja (Figura 2) (ALBANEZE et al., 2018); e, o teste de

tintura de iodo, em milho (Figura 3) (CARVALHO et al., 2011). Estes dois últimos são testes considerados rápidos, de fácil execução, econômicos e de fácil interpretação. Apesar disso, não há adequação de metodologias do teste de iodo para a cultura do grão-de-bico.

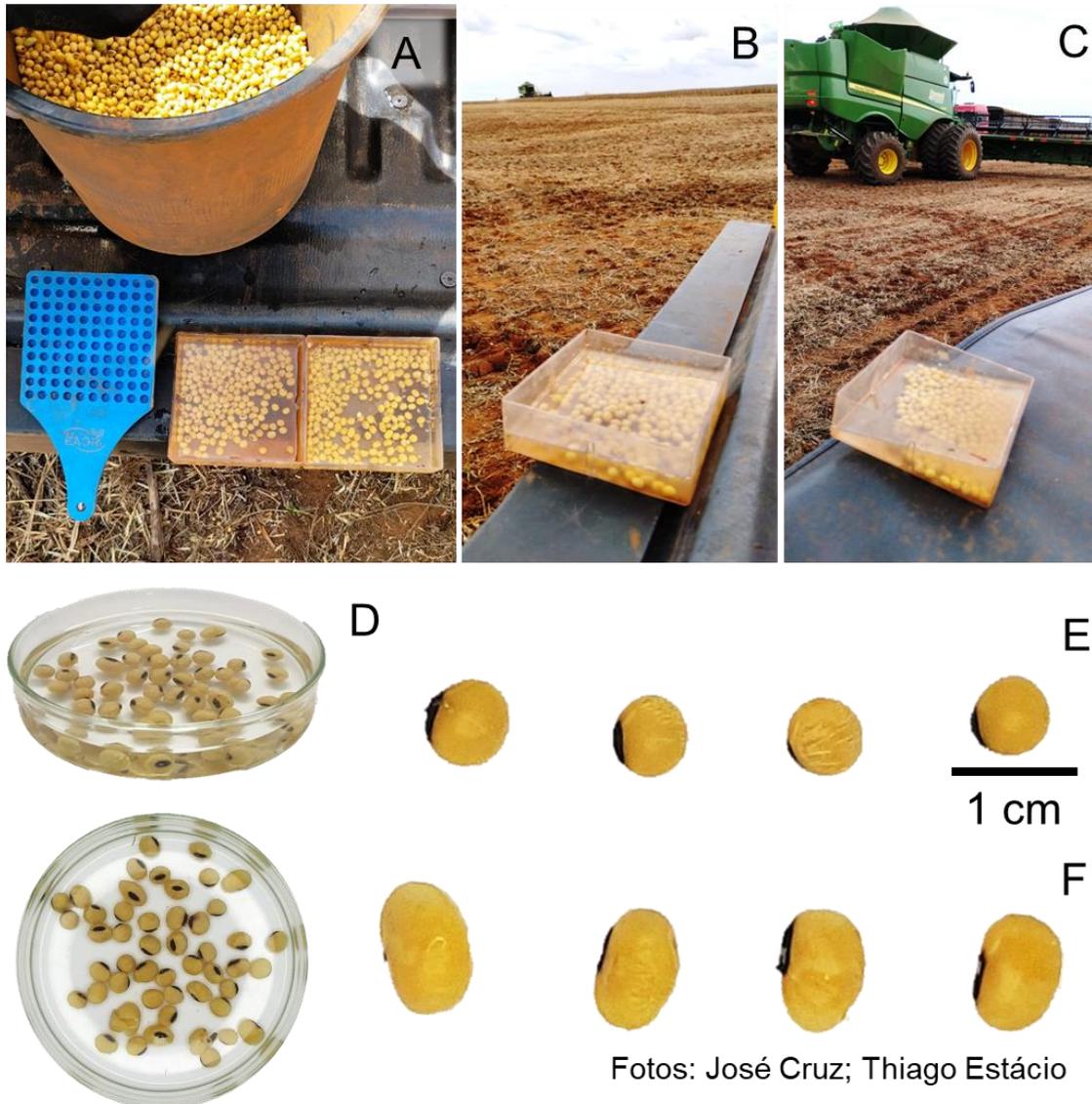


Figura 2. Teste do hipoclorito de sódio em sementes de soja realizado em campo durante colheita (A, B e C) e em laboratório (D); sementes aparentemente sem danos (E) e danificadas, conforme teste do hipoclorito de sódio (F).



Figura 3. Teste rápido de tintura de iodo em sementes de milho realizado em laboratório (A); sementes aparentemente sem danos (B) e danificadas, conforme teste citado (C).

Além da qualidade física, a qualidade fisiológica da semente deve ser reconhecida, sobretudo, no que tange à avaliação do efeito dos danos mecânicos. Um dos métodos eficientes para se avaliar a qualidade fisiológica de sementes é o teste de tetrazólio, que caracteriza com eficiência os danos mecânicos e os danos por deterioração por teor de água (FRANÇA-NETO et al., 1998). Tem-se aí um teste eficiente, rápido e confiável, que confere um diagnóstico das possíveis causas responsáveis pela redução da qualidade (BRASIL, 2009). De acordo com a coloração, ele permite determinar o local e a intensidade do dano.

Um dos testes que geralmente não é exigido na comercialização de lotes de sementes é o teste de sanidade, ao passo que a colheita pode proporcionar a contaminação das sementes por fungos ou apenas causar os danos, deixando uma porta aberta para a entrada do patógeno. A presença de fungos nas sementes resulta no decréscimo da germinação e do vigor, além de comprometer o desenvolvimento da cultura no campo (MARCOS et al., 2015; MALLMANN et al., 2013; MARCHI et al., 2010).

A produtividade e a qualidade da semente dependem das condições pelas quais a cultura foi conduzida, sobretudo, nas fases de colheita e beneficiamento. Dessa forma, torna-se necessária a atenção do produtor em relação às condições que são produzidas, bem como em relação à qualidade (física, fisiológica ou sanitária) apresentada pela semente no final do processo.

4. Referências

AFONSO JÚNIOR, P. C.; CORRÊA, P. C. Efeitos imediato e latente da secagem de sementes de feijão colhidas com diferentes níveis de umidade. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 24, p. 33-40, 2000. Edição Especial.

ALBANEZE, R.; VILLELA, F.A; POSSENTI, J.C.; GUOLLO, K.; RIEDO, I.C. Danos mecânicos causados pelo uso de carrinhos de grãos para transporte durante a colheita de sementes de soja. *Journal Seed Science*, v.40, n.4, p.422-427, 2018.

ARAÍSO, H. A.; JUNIOR, D. S. B.; AVELAR, R. I. S.; COSTA, C. A.; GOMES, L. S. P.; NASCIMENTO, W. M. Adjustments in the tetrazolium test methodology for assessing the physiological quality of chickpea seeds. *Journal of Seed Science*, Londrina, v.41, n.1, p. 007-012, 2019.

BRASIL, Brasil começa a produzir grão-de-bico para mercado asiático Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/brasil-comeca-a-produzir-grao-de-bico-para-mercado-asiatico>>, Acesso em 27 Dez 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano nacional de desenvolvimento da cadeia do feijão e pulses. Brasília: MAPA, 2018.40 f.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS, p.189, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Controle da Produção de Sementes e Mudanças – SIGEF. Disponível em: <<https://dados.agricultura.gov.br/dataset/dados-referentes-ao-controle-da-producao-de-sementes-sigef>>. Acesso em jan de 2023.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. The pendulum test for screening soybean genotypes for seeds resistant to mechanical damage. *Seed Science and Technology*, v.23, n.2, p.331-339, 1995.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OLIVEIRA, M.C.N.; FONSECA-JUNIOR, N.S. Teor de água das sementes de soja e métodos de avaliação do dano mecânico provocado no teste do pêndulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.28, n.11, p.1277-1285, 1993.

CARVALHO, D.C.; ALBUQUERQUE, M.C.F.; CANEPPELE, M.A.B.; BRITO, J.; COSTA, J. Avaliação da resistência mecânica de grãos de milho via teste de impacto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.7, p.724-730, 2011.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

COSTA, N.P.; OLIVEIRA, M.C.N.; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; MESQUITA, C.M.; TAVARES, L.C.V. Efeito da colheita mecânica sobre a qualidade de semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Pelotas, v.18, n.2, p.232-237, 1996.

CUNHA, J. P. A. R.; OLIVEIRA, P.; SANTOS, C. M.; MION, R. L. Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 39, n. 5, p. 1420-1425, 2009.

DIAS, L.B.X.; QUEIROZ, P.A.M.; CASTRO, T.C.; FREITAS, M.A.M.; LEÃO-ARAÚJO, E.F.; NASCIMENTO, W.M. Physiological quality of mechanically harvested chickpea seeds. *Engenharia na Agricultura*, v.29, p. 28-35, 2021.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZAÇÃO OF THE UNITED NATIONS (FAO). Ano internacional das leguminosas, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/portugal/ano-internacional-leguminosas/perguntas-frequentes/en/>>. Acesso em: 16 de dez. 2017.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. FAOSTAT. Food and agriculture data. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/t0646e/T0646E0s.htm>>. Acesso em: 02 Jan. 2017.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; PÁDUA, G. P.; COSTA, N. P.; HENNING, A. A. Tecnologia da produção de sementes de soja de alta qualidade. Londrina: EMBRAPA, CNPSo, 2007. 12 p. (Circular técnica, 40).

GAUR, P.M.; TRIPATHI, S.; GOWDA C.L.L.; RANGA RAO, G.V.; SHARMA, H.C.; PANDE, S.; SHARMA, M. Chickpea Seed Production Manual. Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, [s.v.], [s.n.], 28 p., 2010.

HOSKEM, B. C. S. Época de plantio de grão-de-bico em montes claros. 2014. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Produção Vegetal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros.

KRZYZANOWSKI, A.C.; FRANÇA NETO, J. B.; COSTA, N.P. Teste do Hipoclorito de Sódio Sementes de Soja. Londrina: EMBRAPA - CNPSo, 2004. (Circular Técnica, 37).

MALLMANN, G.; VERZIGNASSI, J. R.; FERNANDES, C. D.; SANTOS, J. M.; VECHIATO, M. H.; INÁCIO, C. A.; BATISTA, M. V.; QUEIROZ, C. A. Fungos e nematoides associados a sementes de forrageiras tropicais. *Summa Phytopathologica, Botucatu*, v. 39, n. 3, p. 201-203, dez. 2013.

MARCHI, C. E; FERNANDES, C. D; BUENO, M. L; BATISTA, M. V; FABRIS, L. R. Fungos veiculados por sementes comerciais de braquiária. *Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo*, v.77, n.1, p.65-73, 2010.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MARCOS, M. F.; JANK, L.; FERNANDES, C. D.; VERZIGNASSI, J. R.; MALLMANN, G.; QUEIRÓZ, C. A.; BATISTA, M. V. Reação à *Bipolaris maydis*, agente causal da mancha foliar, em híbridos apomíticos de *Panicum maximum*. *Summa Phytopathologica, Botucatu*, v. 41, n. 3, p. 197-201, set. 2015.

MELO, L. F. D., MARTINS, C. C., SILVA, G. Z. D., BONETI, J. E. B., & VIEIRA, R. D. (2016). Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. *Revista Ciência Agronômica*, 47, 667-674.

MELO, L.F.; SÁ, M.E.; FAGIOLI, M.; LEAL, S.T.; MARTINS, I. Testes Rápidos para Identificação de Danos Mecânicos em Sementes de Milho Doce. In: XXIX CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 29, 2012, Águas de Lindóia.

Anais [...]. Águas de Lindóia: Associação Brasileira de Milho e Sorgo, v.1, [s.n] p.3467-3474, 2012.

NASCIMENTO, W.M.; SILVA, P.P.; ARTIAGA, O.P.; SUINAGA, F.A. Hortaliças leguminosas. Edição 1. Embrapa Hortaliças, 2016.

PARAÍSO, H.A.; BRANDÃO-JUNIOR, D.S.; AVELAR, R.I.S.; COSTA, C.A.; GOMES, L.S.P.; NASCIMENTO, W.M. Ajustes na metodologia do teste de tetrazólio para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico. *Journal Seed Science*, v.41, n.1, p.7-12, 2019.

POPINIGIS, F. Fisiologia de semente. Brasília: AGIPLAN, 1985. 289 p.

TERASAWA, J. M.; PANOBIANCO, M.; POSSAMAI, E.; KOEHLER, H. S. Antecipação da colheita na qualidade fisiológica de sementes de soja. *Bragantia*, Campinas, v. 68, n. 3, p. 765-773, 2009.

TIJANI, B.; DREYER, H. Foreword: Pulses. In: SNAPP, S.; RAHMANIAN, M.; BATELLO, C.; CALLES, T. **Pulse crops for sustainable farms in sub-Saharan Africa**. Roma: FAO, 2018. 47 f.

TRANCOSO, A.C.R.; DIAS, D.C.F.S.; PICOLI, E.A.T.; SILVA-JÚNIOR, R.A.; SILVA, L.J.; NASCIMENTO, W.M. Alterações anatômicas, histoquímicas e fisiológicas durante a maturação de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.). *Rev. Ciênc. Agron.* [online]. 2021, vol.52, n.4, e20207534. Epub Sep 27, 2021. ISSN 0045-6888.

CAPÍTULO I

Teste de iodo para identificar danos físicos em sementes de grão-de-bico¹

¹ Artigo submetido para Revista Ciência Agronômica

Teste de iodo para identificar danos físicos em sementes de grão-de-bico

Resumo: O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das principais leguminosas cultivadas e consumidas em todo o mundo. Um dos principais problemas na produção de sementes dessa espécie é o dano mecânico. Com o objetivo de desenvolver um protocolo para o teste rápido de iodo, o objetivo deste estudo foi determinar o efeito do tempo de exposição das sementes à solução de iodo e sua concentração na coloração das sementes de grão-de-bico, artificial e naturalmente danificadas. Concentrações de 5, 10 e 15% (produto comercial contendo 2% de iodo) foram testadas em sementes intactas e em sementes artificialmente danificadas, durante 2,5; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 minutos de imersão. Além disso, a correlação entre a cor de dez lotes de sementes expostas ao iodo, na concentração de 10% por 10 e 15 minutos, com as qualidades físicas e fisiológicas das sementes foi avaliada. Os dados foram submetidos a análises univariadas e multivariadas. O teste de iodo, na concentração de 10% do produto comercial (concentração de iodo de 2%), por 15 minutos, é eficaz para avaliar o nível de dano mecânico em sementes de grão-de-bico, devido à correlação negativa entre o nível de coloração das sementes neste teste e as qualidades físicas e fisiológicas das sementes.

Palavras-chave: Análise multivariada, *Cicer arietinum* L., dano mecânico, qualidade física, qualidade fisiológica

Iodine test to identify physical damage in chickpea seeds

Abstract: Chickpea (*Cicer arietinum* L.) is one of the main legumes cultivated and consumed worldwide. One of the main problems in seed production of this species is mechanical damage. Aiming at the development of a protocol for the rapid iodine test, the objective of this study was to determine the effect of exposure time of seeds in iodine solution and its concentration in coloring chickpea seeds, artificially and naturally damaged. Concentrations of 5, 10 and 15% (commercial product containing 2% of iodine) were tested in intact seeds

and in artificially damaged seeds, during 2.5; 5.0; 10.0; 15.0 and 20.0 minutes of immersion. In addition, the correlation between the color of ten seed lots exposed to iodine, at the concentration of 10% for 10 and 15 minutes, with physical and physiological seed qualities was evaluated. Data were submitted to univariate and multivariate analyses. The iodine test, at a concentration of 10% of the commercial product (iodine concentration of 2%), for 15 minutes, is effective for evaluating the level of mechanical damage in chickpea seeds, due to the negative correlation between the level of coloration of the seeds in this test and the physical and physiological seed qualities.

Keywords: *Cicer arietinum* L., mechanical damage, multivariate analysis, physical quality, physiological quality.

Introdução

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), originário da Índia, é a segunda leguminosa mais consumida no mundo (Nascimento et al., 2016; Pang et al., 2017). Seus grãos são ricos em fibras, minerais e vitaminas (Merga & Haji, 2019). Além disso, apresentam outros usos a exemplo de preparações medicinais, em nutracêuticos e na indústria de cosméticos (Pandey & Chakraborty, 2023). Seu consumo e produção vêm crescendo ultimamente em razão de suas características nutricionais e diversidade de usos.

No Brasil, essa cultura apresenta grande potencial para cultivo em segunda safra ou no inverno, em razão da adequação entre seus requerimentos edafoclimáticos e condições predominantes em várias regiões do país nessas épocas (Nascimento et al., 2016). Assim, a demanda por sementes de alta qualidade também está aumentando (Araujo et al., 2022).

Sementes de grão-de-bico são caracterizadas estruturalmente por uma protuberância causada pelo crescimento do eixo hipocótilo-radícula (Nascimento et al., 2016), bastante vulnerável a danos mecânicos, sendo essa a principal causa de redução de qualidade durante a colheita, beneficiamento e manuseio

das sementes (Dias et al., 2021). O dano mecânico é um dos fatores mais importantes que afeta a qualidade das sementes (Delfan, Shanbazi & Esvand, 2022). Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de testes rápidos para aferição de danos mecânicos, para fins de regulagem e ajustes nos equipamentos de colheita e de beneficiamento de sementes dessa espécie.

Os testes para essa finalidade precisam ser rápidos e precisos na identificação dos danos, a exemplo do teste do hipoclorito de sódio para sementes de soja (Albaneze et al., 2018), do teste de tintura de iodo em milho (Carvalho et al., 2011) e do teste de tetrazólio em sementes de grão-de-bico (Paraíso et al., 2019). Esse último, apesar de preciso, demanda pelo menos cerca de 24 horas para sua interpretação, o que o torna inviável para fins de regulagem de equipamentos de colheita, uma vez que a regulagem ideal varia conforme as mudanças de umidade nas sementes ao longo do dia. Além disso, é relativamente caro e demanda mão-de-obra especializada (Brasil, 2009).

Testes preliminares com hipoclorito de sódio não foram exitosos para avaliação de danos mecânicos em sementes de grão-de-bico (dados não publicados). O teste de tintura de iodo, por outro lado, tem sido usado como uma alternativa viável e prática para a identificação de danos mecânicos em sementes de milho, uma vez que permite a visualização da presença, localização e intensidade dos danos (Carvalho et al., 2011). Devido à alta concentração de amido nas sementes de grão-de-bico, o teste de iodo pode ser uma alternativa viável para a identificação de danos mecânicos também nessa espécie. Assim, o objetivo do presente trabalho foi de determinar o efeito do tempo de exposição das sementes em solução de iodo e sua concentração na coloração de estruturas de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) danificadas artificialmente e naturalmente. Além de avaliar a correlação da qualidade física e fisiológica com o teste rápido de tintura de iodo.

Material e métodos

Sementes de onze lotes de grão-de-bico da cultivar BRS Aleppo foram colhidas em 2019 e 2020, na Fazenda AgroGarbanzo, localizada em Cristalina - GO. A colheita manual foi realizada a partir da retirada das vagens e debulhadas em laboratório. Após colheita das sementes, estas foram acondicionados em

embalagens de papel Kraft e armazenados a 5 °C e cerca de 10% de umidade (base úmida). Os lotes colhidos em 2019 foram armazenados por um ano e os colhidos em 2020 por quatro meses, previamente às análises.

Efeito da concentração da tintura de iodo e do tempo de imersão das sementes de um lote de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, em solução

Inicialmente testaram-se concentrações de tintura de iodo e tempo de imersão das sementes na solução em um lote de sementes. Para isso, utilizaram-se apenas sementes categorizadas visualmente como intactas (não danificadas) (Figura 1A), descartando-se as sementes quebradas, com tegumento rompido e atacadas por insetos. Parte das sementes foram submetidas a dano induzido mediante corte com lâmina de bisturi na posição oposta à protuberância radicular, gerando dano com formato aproximadamente circular com cerca de 2-3 milímetros de diâmetro (Figuras 1B e 1C).

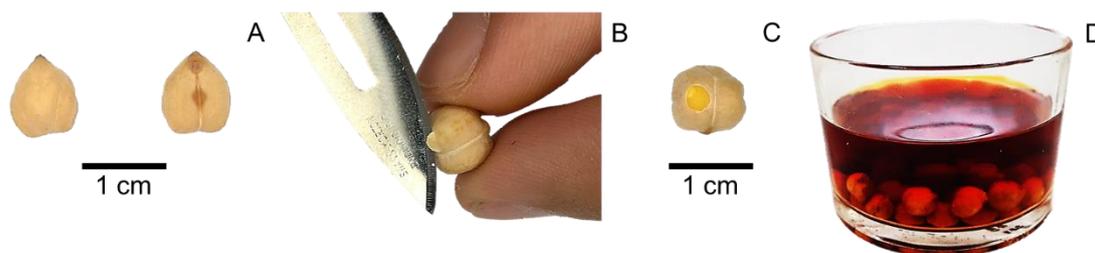


Figura 1. Processo de danificação e coloração de sementes de grão-de-bico: sementes intactas (não danificadas visualmente) (A); danificação induzida artificialmente na posição oposta à protuberância radicular, com o auxílio de lâmina de bisturi (B); semente danificada artificialmente (C); sementes imersas em solução de tintura de iodo (D).

Quatro repetições de 50 sementes intactas e das artificialmente danificadas foram imersas em solução de tintura de iodo (concentração de iodo da tintura igual a 2%) nas concentrações de 5, 10 e 15% em água, em copo transparente, e mantidas em ambiente natural de laboratório durante 2,5; 5,0; 10,0; 15,0 e 20,0 minutos (Figura 1D). Na sequência, as sementes foram lavadas em água corrente e dispostas sobre papel toalha para avaliação. Sementes com pelo menos uma mancha escura (colorida) em decorrência da reação com iodo, foram consideradas danificadas. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes coloridas e não coloridas.

Avaliação da qualidade fisiológica, física e sua relação com o teste rápido de tintura de iodo em lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo

Na segunda etapa, testaram-se os tempos de 10 e de 15 minutos, na concentração de 10% de tintura de iodo, em 10 lotes de sementes de grão-de-bico. Tais lotes foram obtidos em diferentes épocas de colheita, métodos de colheita (manual ou mecanizada) e regulagens da rotação do rotor da máquina colhedoras com trilha axial (Tabela 1).

Tabela 1. Procedimentos de colheita dos lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, usados para a avaliação do nível de danos mecânicos mediante o teste de iodo, na concentração de 10%, durante 10 e 15 minutos.

Lote	Ano de colheita	Semana da colheita em agosto	Método de colheita	Velocidade do rotor (RPM*)
1	2020	1 ^a	Mecanizada	700
2	2020	4 ^a	Mecanizada	700
3	2019	3 ^a	Mecanizada	600
4	2019	3 ^a	Manual	-
5	2019	3 ^a	Mecanizada	700
6	2020	1 ^a	Mecanizada	700
7	2020	1 ^a	Manual	-
8	2020	1 ^a	Mecanizada	600
9	2020	4 ^a	Mecanizada	800
10	2020	1 ^a	Mecanizada	800

*Rotações por minuto.

Os lotes foram avaliados quanto aos danos pela coloração com iodo e também quanto à qualidade fisiológica e física. Além disso, foi determinado o teor de água das sementes.

A determinação do teor de água foi feita pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas, utilizando quatro subamostras de 10 sementes por lote. Os resultados foram expressos em porcentagem de base umidade (Brasil, 2009).

Teste de danos com iodo – realizado com quatro repetições de 50 sementes por lote, na concentração de 10% de tintura de iodo, nos tempos de

exposição de 10 e de 15 minutos. Na sequência, a solução foi drenada e as sementes avaliadas visualmente, sendo os resultados expressos em porcentagem de sementes danificadas (coloridas) e não danificadas (não coloridas).

Teste de germinação - conduzido com quatro repetições de 50 sementes em substrato rolo de papel Germitest umedecido com água destilada, na quantidade de 2 vezes do peso seco do papel, acondicionado em sacos plásticos transparentes. As sementes foram mantidas em câmara de germinação a 25 °C e fotoperíodo de oito horas de luz a cada 24 horas, sendo avaliadas as plântulas normais, as plântulas anormais e as sementes mortas ao oitavo dia após montagem (Brasil, 2009).

Primeira contagem do teste de germinação - realizado conjuntamente com teste de germinação, sendo avaliada a porcentagem de plântulas normais ao quinto dia após montagem (Brasil, 2009).

Comprimento de plântulas - ao final do teste de germinação, as plântulas consideradas normais foram medidas com uma régua graduada em centímetros, determinando-se o comprimento da radícula principal e da parte aérea (cm plântula⁻¹).

Massa seca de plântulas – após mensuração do tamanho e descarte dos cotilédones, a parte aérea e raízes das plântulas foram acondicionados separadamente em sacos de papel tipo Kraft e secadas em estufa a 65 °C, durante 72 horas (Nakagawa, 1999). Em seguida foram pesadas em balança analítica, sendo o resultado expresso em g plântula⁻¹.

Teste de viabilidade e vigor em Tetrázólio - quatro repetições de 50 sementes de cada lote foram pré-acondicionadas em rolos de papel Germitest previamente umedecido com 2 vezes do peso do papel seco com água destilada, acondicionados em sacos plásticos transparentes e mantidos por quatro horas a 41 °C. Em seguida as sementes foram imersas em solução de cloreto de 2,3,5-trifenil tetrazólio, na concentração de 0,1% e acondicionadas a 30 °C, por seis horas no escuro. As sementes foram então lavadas em água corrente, removendo-se o tegumento com auxílio de bisturi, para fins de avaliação. As sementes foram cortadas transversalmente e classificadas de acordo com os níveis de vigor e viabilidade, nas seguintes classes: 1 - viáveis e vigorosas (sem lesões); 2 - viáveis e vigorosas (com lesões superficiais); 3 - viáveis e não

vigorosas (com lesões profundas); 4 - não viáveis (Paraíso et al., 2019). Foram consideradas viáveis as sementes nas classes 1, 2 e 3 e vigorosas as sementes nas classes 1 e 2. Além disso, a partir deste teste, foi determinada a porcentagem de sementes danificadas mecanicamente nas classes 2, 3 e 4, sendo o resultado expresso em porcentagem.

Sementes danificadas (porcentagem em massa) - quatro repetições de 100 gramas de cada lote foram avaliadas visualmente, sendo separadas e pesadas as frações de sementes: íntegras (não danificadas) (Figura 1A), com ruptura de tegumento (Figura 2A), quebradas (danificadas) com tamanho superior a 50% em relação ao tamanho original (Figura 2B) e danificadas por insetos (Figura 2C).



Figura 2. Tipos de danos visíveis em lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo: sementes com ruptura no tegumento (A); sementes quebradas (tamanho superior a 50% em relação ao tamanho original) (B); e sementes atacadas por insetos (C).

Sementes danificadas (porcentagem em número) – quatro repetições de 50 sementes de cada lote foram avaliadas e separadas conforme as frações descritas no teste anterior. Os resultados foram expressos em porcentagem de sementes danificadas por número.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental inteiramente casualizado. A seleção do tempo e da concentração da tintura de iodo adequados foi feita com base na ANOVA, seguida pelo teste de Scott-Knot ($p \leq 0,05$).

Para avaliar a qualidade dos lotes e validar a metodologia, os dados foram submetidos à ANOVA, ao teste de Scott-Knot ($p \leq 0,05$). Para fins de análise, os dados em porcentagem referentes ao número de sementes mortas, atacadas por insetos e com ruptura no tegumento, foram previamente transformados pela fórmula $\sqrt{(x + 0,5)}$, por não apresentarem normalidade.

As análises multivariadas foram realizadas após padronização das variáveis em que cada uma teve média 0 e variância 1. Foi utilizado o método hierárquico com base na distância euclidiana entre os lotes para o conjunto das variáveis, com base nos grupos de Ward. Assim, o conjunto inicial de variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes (ACP1 e ACP2), o que possibilitou localizá-las em um gráfico biplot. A adequação desta análise é verificada pela quantidade de informação total das variáveis originais retidas pelos componentes principais que apresentam autovalores maiores que a unidade. As análises multivariadas foram realizadas no software STATISTICA versão 7.0. Também foi realizada correlação de Pearson com software Past versão 4.0.

Resultados e discussão

Efeito da concentração da tintura de iodo e do tempo de imersão das sementes de um lote de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, em solução

O teor de água do lote de sementes testado foi de 13,2%. A concentração da solução de iodo, o tempo de imersão e a interação concentração x tempo afetaram os resultados do teste de tintura de iodo ($p \leq 0,01$), para sementes danificadas e não danificadas.

O teste de tintura de iodo foi eficiente para colorir as sementes danificadas (Figura 3A). O iodo é um elemento pouco solúvel em água e sua solução aquosa possui coloração castanha (Santos & Afonso, 2013) que, ao entrar em contato com amido, produz uma reação que ocasiona uma mudança na coloração da solução, de modo a ficar azul escuro, como verificado no presente trabalho, nas sementes de grão-de-bico. Este fato ocorre devido à oclusão do iodo nas cadeias lineares da amilose (Denardin & Silva, 2008; Liu et al., 2013; Zhao et al., 2018).

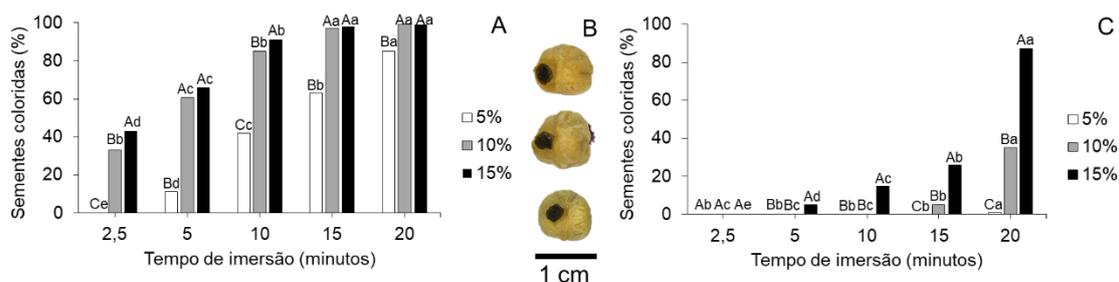


Figura 3. Porcentagem de sementes coloridas de grão-de-bico (A), cultivar BRS Aleppo, após exposição a diferentes tempos e concentrações de soluções de tintura de iodo, em sementes danificadas artificialmente com lâmina de bisturi (B) e em sementes intactas (C).

O tempo de imersão das sementes em solução de tintura de iodo afetou o percentual de sementes coloridas (Figuras 3B e 3C). Independentemente da concentração, o aumento do tempo de imersão de 2,5 para 20,0 minutos aumentou a porcentagem de sementes coloridas tanto danificadas artificialmente como intactas.

No tocante à concentração da solução, aparentemente a concentração de 5% do produto comercial (Tintura de Iodo Fraca 2%) foi inadequada, uma vez que resultou em percentuais de coloração de sementes danificadas inferior a 90% em todos os tempos de imersão (Figuras 3B e 3C). As concentrações de 10 e 15% de solução de tintura de iodo acarretaram a coloração da totalidade das sementes danificadas artificialmente, com pelo menos 15 minutos de exposição (Figura 3B). O teste de tintura de iodo pode ser utilizado para identificar danos mecânicos em sementes de milho e seus resultados podem auxiliar na regulagem de plantadeiras (Parizotto et al., 2022).

No tocante às sementes intactas (não danificadas), na concentração de 5%, praticamente não houve coloração das sementes nos tempos testados (Figura 3C). Na concentração de 10%, nenhuma semente coloriu no tempo de exposição de até 10 minutos e apenas 5% das sementes coloriram na exposição por 15 minutos. Na concentração de 10% por 20 minutos, 35% das sementes intactas coloriram, indicando ser esse tempo excessivo para o teste de iodo nessa concentração.

Assim, considerando como premissa de que o teste de iodo é eficaz quando ocorre coloração máxima em sementes danificadas e mínima em

sementes intactas, os resultados indicam que o teste de tintura de iodo é recomendável para avaliar danos em sementes de grão-de-bico na concentração de 10%, por um período de imersão de 10 a 15 minutos. Essas condições são diferentes das recomendadas por Carvalho et al. (2011) para avaliar danos mecânicos em sementes de milho (solução de 2% de iodo por 5 minutos).

Avaliação da qualidade fisiológica, física e sua relação com o teste rápido de tintura de iodo em lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo

Observou-se uniformidade no teor de água nos dez lotes de sementes avaliados, cuja média foi de 10,0%. De maneira geral, os lotes 1, 7 e 8 apresentaram a maior qualidade fisiológica, enquanto a menor qualidade fisiológica ocorreu nos lotes 9 e 10, de acordo com os resultados dos testes de germinação e de tetrazólio (Tabela 2). Os demais lotes apresentaram comportamento intermediário. De forma geral, observou-se boa correlação entre os resultados de germinação e de viabilidade em tetrazólio para as sementes dos dez lotes de grão-de-bico testados. Comportamento inverso foi constatado por Paraíso et al. (2019), em que, tal diferença entre os testes (viabilidade pelo teste de germinação e tetrazólio) foi ocasionada devido o armazenamento das sementes, com comprometimento das sementes no teste de germinação por fungos do armazeneto; fato este, não observado no presente trabalho.

Tabela 2. Médias de germinação, viabilidade e vigor de sementes de dez lotes de sementes de grão-de-bico usados para aferição de danos mecânicos mediante o teste de iodo. Em que: PCG = primeira contagem do teste de germinação, G = germinação, PA = plântulas anormais, SM = sementes mortas, CRP = comprimento da radícula principal, CPA = comprimento da parte aérea, MSP = massa seca de plântula, Via = viabilidade, Vig = vigor, DM = danos mecânicos.

Lote	Teste de germinação				Desenvolvimento de plântulas			Teste de tetrazólio		
	PCG	G	PA	SM	CRP	CPA	MSP	Via	Vig	DM
	----- % -----				cm plântula ⁻¹	g plântula ⁻¹	----- % -----			

1	80 b	85 a	13 a	2 a	7,9 b	3,1 b	1,4 a	88 a	51 b	59 b
2	66 c	76 c	14 a	11 c	7,3 b	2,7 b	1,6 a	74 b	47 b	70 c
3	76 b	83 b	13 a	4 b	9,1 a	4,4 a	1,5 a	82 a	58 a	66 c
4	70 c	81 b	14 a	6 c	9,2 a	3,9 a	1,6 a	80 a	49 b	68 c
5	32 d	79 b	18 b	4 b	8,3 b	3,2 b	0,9 b	79 a	51 b	63 c
6	64 c	83 b	13 a	4 b	8,0 b	3,7 a	1,4 a	83 a	60 a	52 a
7	89 a	89 a	10 a	1 a	7,7 b	3,2 b	1,4 a	90 a	74 a	50 a
8	86 a	89 a	9 a	3 b	7,1 b	2,9 b	1,3 a	86 a	65 a	49 a
9	64 c	68 d	24 c	8 c	8,9 a	3,2 b	0,7 b	66 b	33 b	68 c
10	68 c	68 d	23 c	9 c	8,0 b	3,8 a	1 b	74 b	44 b	76 c
F	22**	17**	11**	8**	5**	4**	5**	5**	6**	13**
CV (%)	9,8	4,5	19,7	26,7	7,2	15,4	20,9	7,6	17,7	8,1
MG	69,2	80,1	14,9	5	8,2	3,4	1,3	79,9	53	61,7

Os resultados referentes à massa seca de plântulas também apresentaram boa correlação com a germinação e a viabilidade em tetrazólio, porém o comprimento de radícula e de parte aérea não se correlacionaram de forma consistente com a germinação e a viabilidade em tetrazólio (Tabela 2). Assim, pode-se concluir que os testes de germinação, de viabilidade em tetrazólio e de massa seca de plântulas, conforme a metodologia usada no presente trabalho, são eficazes para aferir a qualidade das sementes de grão-de-bico.

Os lotes de melhor qualidade fisiológica foram colhidos no ano de 2020, ou seja, com menor tempo de armazenamento, tanto de forma manual como mecanizada, porém usando velocidade máxima do rotor de 700 RPM no caso da colheita mecanizada (Tabela 1). O armazenamento foi prejudicial e o principal responsável para comprometer a germinação das sementes dessa espécie (Paraíso et al., 2019). E elevadas rotações do cilindro rotor provocam redução da qualidade física (Dias et al., 2021), além de permitir a entrada de microrganismos pelos fisuras provocadas no tegumento (pelos danos mecânicos).

Nascimento et al. (2016) sugerem o emprego de máquinas colhedoras com cilindro axial ou de duplo batedor, para minimizar os danos mecânicos e preservar a qualidade do grão ou da semente. Do mesmo modo, Pacheco et al. (2016) indicam que o cilindro trilhador é um dos principais mecanismos

associados às perdas de qualidade de sementes de soja. Esses autores recomendam que a regulação desse mecanismo deve ser melhor controlada, visto que regulagens incorretas podem aumentar a quantidade de sementes de soja danificadas mecanicamente.

O lote 7, cuja qualidade fisiológica se destacou entre os demais, foi colhido manualmente, indicando que essa modalidade de colheita propicia uma menor taxa de danos. Os danos observados nessa metodologia de colheita, apesar da baixa incidência, podem ter resultado da agitação das vagens no recipiente metálico.

Os lotes avaliados distinguiram no tocante aos danos apresentados tanto por massa de sementes como por número de sementes (Tabela 3).

Tabela 3. Sementes danificadas por massa e por número em dez lotes de sementes de grão-de-bico. Em que: AI = sementes atacadas por insetos; RT = sementes com ruptura do tegumento; Q = sementes quebradas; DP = somatório dos danos por massa de sementes e DN = somatório dos danos por número de sementes.

Lote	Danos por massa (g)				Danos por número de sementes			
	AI	RT	Q	DP	AI ¹	RT ¹	Q	DN
	----- % -----							
1	0,83 d	4,39 d	0,51 b	5,73 c	1,3 b	1,5 b	2,0 b	4,8 a
2	0,58 c	5,16 e	1,65 d	7,38 d	1,0 b	2,0 b	7,0 d	10,0 b
3	0,00 a	5,29 e	0,55 b	5,84 c	0,3 a	7,3 d	5,0 c	12,5 c
4	0,00 a	2,59 b	0,80 b	3,39 b	0,0 a	2,0 b	1,0 a	3,0 a
5	0,00 a	1,68 a	0,97 c	2,66 b	0,0 a	1,0 a	4,5 c	5,5 a
6	0,17 b	2,46 b	0,73 b	3,36 b	0,5 b	1,5 b	3,5 c	5,5 a
7	1,09 e	2,01 a	0,32 a	3,43 b	0,5 b	2,3 b	5,5 c	8,3 b
8	0,00 a	1,56 a	0,00 a	1,56 a	0,0 a	4,0 c	0,0 a	4,0 a
9	0,00 a	3,83 c	6,12 e	9,95 e	0,0 a	3,5 c	21,0 e	24,5 d
10	0,00 a	1,71 a	1,31 d	3,02 b	0,0 a	3,0 a	2,0 b	5,0 a
F	156**	74**	157**	119**	4,9**	9**	129**	47**
CV (%)	24,7	11,1	21,6	10,1	113,7	23,1	20,4	17,5
MG	0,27	3,07	1,3	4,63	0,35	2,8	5,15	8,3

** Significativo ($p \leq 0,01$) pelo teste F. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

¹Dados transformados pela fórmula $\sqrt{(x + 0,5)}$.

O lote 8, colhido mecanicamente em 2020, com velocidade do rotor de 600 RPM, destacou-se com as menores taxas de sementes danificadas. Por outro lado, o lote 9, colhido mecanicamente em 2020, com velocidade do rotor de 800 RPM, apresentou as maiores taxas de sementes danificadas. Esses resultados confirmam a importância da regulagem adequada do rotor do mecanismo de trilha da colhedora na taxa de danificação de sementes de grão-de-bico. Os danos mecânicos em sementes, quando através do eixo embrionário podem afetar a germinação resultando em plântulas anormais (Gomes-Júnior et al., 2019).

De maneira geral, os lotes colhidos sob velocidade do cilindro trilhador de 600 RPM apresentaram as menores taxas de sementes quebradas. Porém, essa velocidade gerou elevadas taxas de ruptura de tegumento, conforme observado no lote 3.

Os lotes colhidos manualmente (4 e 7) apresentaram a menor taxa de sementes coloridas (danificadas) no teste de iodo em ambos tempos de imersão testados (10 e 15 minutos), mostrando que esse método de colheita exerce a menor quantidade de danos mecânicos em relação à colheita mecanizada (Tabela 4). Por outro lado, a maior taxa de danos mecânicos detectada por esse teste ocorreu no lote 9, em ambos os tempos de imersão, em que a velocidade de rotação do rotor foi máxima (800 RPM). Esses resultados reforçam a eficácia do teste de iodo para avaliar danos mecânicos em sementes de grão-de-bico. A colheita mecanizada é uma das principais fontes de danos mecânicos em sementes (Holtz & Reis, 2013).

Tabela 4. Porcentagem de sementes coloridas (SC) e não coloridas (SNC) após imersão em solução de iodo, na concentração de 10%, por 10 e 15 minutos, de dez lotes de sementes de grão-de-bico. Valores médios do teste de danos com iodo em 10 (dez) lotes de sementes de grão-de-bico.

Lotes	Tempo de imersão - 10 minutos		Tempo de imersão - 15 minutos	
	coloridas	não coloridas	coloridas	Não coloridas
1	18 c	82 c	13 c	88 c
2	11 b	89 b	11 b	90 b
3	13 b	87 b	18 d	82 d
4	7 a	93 a	6 a	95 a
5	10 b	90 b	11 b	90 b
6	7 a	93 a	11 b	89 b
7	7 a	93 a	7 a	94 a
8	10 b	90 b	11 b	90 b
9	21 c	79 c	33 e	67 e
10	11 b	89 b	14 c	86 c
F	16**	14**	42**	42**
CV (%)	21,7	2,7	18	2,7
MG (%)	11,3	88,7	13,2	86,8

** Significativo ($p \leq 0,01$) pelo teste F. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Os resultados (Tabela 4) mostram a coloração de estruturas internas das sementes expostas, resultante da interação entre o iodo e o amido (Figura 4). Tais danos ocorreram em razão de ataque por insetos (Figura 4A), ruptura do tegumento (Figura 4B) ou de quebra de sementes (Figura 4C), quando comparadas às sementes intactas (Figura 4D). O teste de tintura de iodo, rotineiramente é utilizado para identificar danos mecânicos externos em sementes, não sendo possível avaliar se as estruturas internas foram afetadas (Cicero & Banzatto-Junior, 2003).



Figura 4. Coloração de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, após imersão em solução de iodo: coloridas devido a danos por insetos (A); coloridas por ruptura do tegumento (B); coloridas por quebra (tamanho superior a 50% em relação ao tamanho original) (C) e intactas não coloridas (D).

Diante da elevada quantidade de variáveis estudadas, a análise multivariada foi realizada para ressaltar a influência da qualidade fisiológica e física na coloração das sementes pelo teste de tintura de iodo. Com o auxílio dessa ferramenta, buscou-se minimizar a influência de fatores pouco representativos que poderiam comprometer a análise da eficácia desse teste rápido. A análise multivariada resultou em uma generalização maior das variáveis mais relevantes e o agrupamento por lotes com características qualitativas semelhantes.

Para a condução da análise multivariada, com base na representação e importância, foram selecionadas nove variáveis representativas no tocante à qualidade geral dos lotes de sementes. Acerca da qualidade fisiológica dos lotes, foram selecionadas: primeira contagem de germinação; germinação; plântulas anormais; sementes mortas; viabilidade e vigor pelo teste de tetrazólio. Quanto à caracterização de danos e qualidade física, foram selecionadas as variáveis danos por massa e por número. O teste de iodo foi representado na análise pela variável Sementes Coloridas durante 10 e 15 minutos (Figura 5).

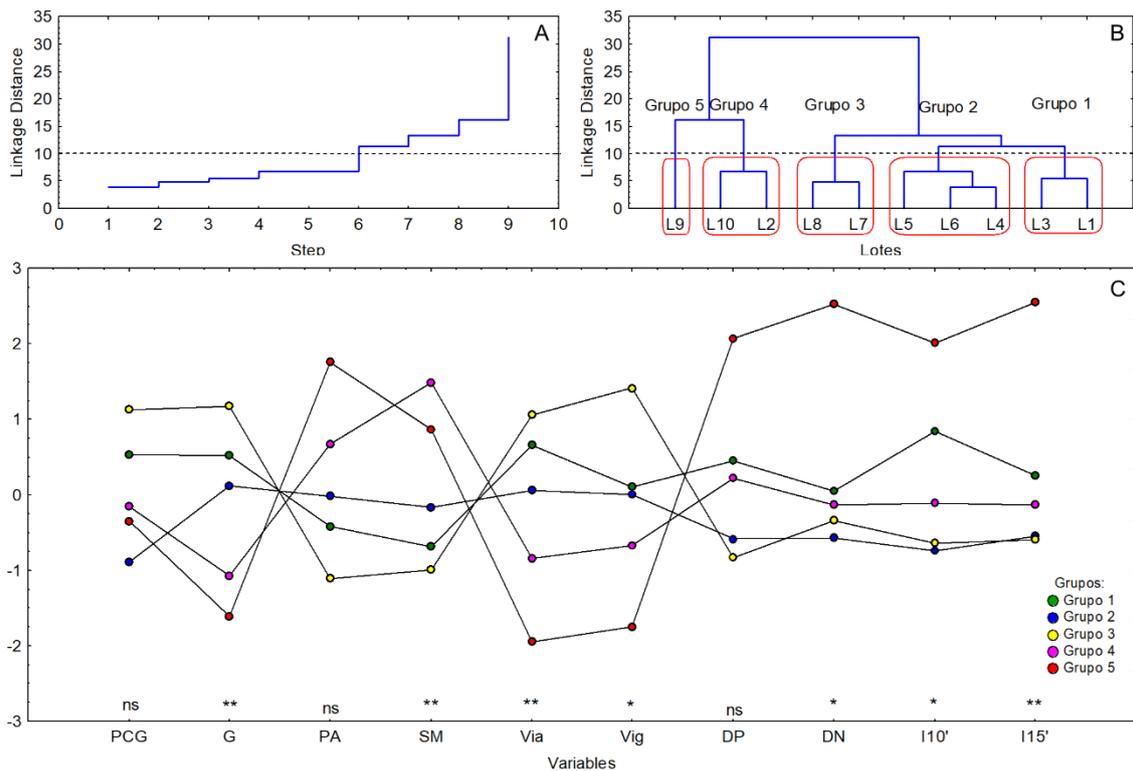


Figura 5. Representação da variação expressiva da Distância Euclidiana entre as variáveis consideradas, que permitiu a separação de grupos (A); dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico pelo método de Ward baseado na Distância Euclidiana (B), em que as letras “L” são referentes aos lotes e suas respectivas denominações; e caracterização dos grupos pelo método não-hierárquico de K-means (C), obtidos a partir da avaliação de 9 parâmetros relacionados à qualidade fisiológica, física e do teste de tintura de iodo em 10 lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, em que: PCG = primeira contagem de germinação; G = germinação; PA = plântulas anormais; SM = sementes mortas; Via = viabilidade, por meio do teste de tetrazólio; Vig = vigor, por meio do teste de tetrazólio; SC = sementes coloridas no teste de tintura de iodo; DN = somatório dos danos analisados por número de sementes danificadas; DP = somatório dos danos analisados por massa de sementes danificadas.

De acordo com Freddi et al. (2008), ao se obter uma variação expressiva nos valores de distância euclidiana, que representa a distância de ligação entre lotes em função das suas características demonstradas pelas variáveis empregadas, é possível determinar o ponto de corte ideal para se obter grupos

de lotes com características parecidas, mas que apresentem diferenças significativas em relação aos lotes alocados nos demais grupos, de forma a alcançar uma uniformidade no agrupamento. A faixa em que os grupos mais se diferenciaram foi entre a distância de 6 e 11 (Figura 5A). Esta faixa é demarcada pela maior linha vertical da figura. Com isso, adotou-se o corte dentro dessa faixa e de forma intermediária, na distância exata de 10 (Figura 5A). Assim, foram diferenciados 5 grupos de lotes de sementes, conforme linha tracejada, na distância Euclidiana (Figura 5B).

Cada grupo abrange lotes com semelhanças relativamente à qualidade fisiológica, física e os resultados obtidos no teste de tintura de iodo (Figura 5B e 5C). De acordo com o dendrograma resultante da análise de agrupamento hierárquico de Ward, baseado na Distância Euclidiana, e diante da caracterização dos grupos pelo método não-hierárquico de K-means, observa-se que somente o lote 1 e 3 foram alocados no grupo 1, o grupo 2 abrangeu os lotes 4, 5 e 6. Estes dois grupos corresponderam aos lotes com qualidade fisiológica e física intermediárias (Figuras 5B e 5C). Todavia, o grupo 2 apresentou o valor mais baixo referente à primeira contagem de germinação e danos por número e índice de dano pelo teste de tintura de iodo durante 10 minutos (Figura 5C). Já o grupo 3, composto pelos lotes 7 e 8 (Figura 5B), foi considerado o de maior qualidade fisiológica e física (Figura 5C).

O grupo 4, composto pelos lotes 10 e 2 (Figura 5B), apresentou baixa qualidade fisiológica, correspondente a elevados valores de plântulas anormais e sementes mortas e intermediárias porcentagens de danos quando avaliados por número, massa, tintura de iodo (10 e 15 minutos) (Figura 5C). Por fim, o grupo 5, correspondente ao lote 9 (Figura 5B), apresentou as menores qualidades fisiológica e física e elevados níveis de danos avaliados pelas variáveis anteriormente citadas (Figura 5C). Alguns autores constataram relação entre aumento da porcentagem de danos mecânicos em sementes de milho e diminuição do vigor dessas sementes (Gu et al., 2019).

Visando analisar as variáveis selecionadas de modo conjunto, a análise de componentes principais foi empregada buscando reduzi-las por meio da correlação. O número de componentes é determinado pela correlação das variáveis com os mesmos e deve ser suficiente para expressar a importância de todas as variáveis. Assim, se uma das variáveis selecionadas demonstrar maior

correlação com um componente do que com outro, o de maior correlação deverá ser empregado para fins de avaliação. Observa-se que a análise de correlação da análise multivariada gerou dois componentes principais para melhor interpretação da variabilidade das variáveis descritas, que representaram uma variância acumulada igual a 82,80%. O componente principal 1 representado por 63,84% e o componente principal 2 por 18,96% de variância total (Tabela 5). Araujo et al. (2021) trabalharam com diferentes lotes de grão-de-bico e obtiveram 90,6% de variabilidade total. Para Josllife e Cadima (2016), quando a soma dos dois componentes principais for superior a 80%, os resultados da PCA são considerados eficazes para explicar a variabilidade total dos dados.

Tabela 5. Correlação das variáveis com cada componente principal e variabilidade dos dados de qualidade fisiológica, física e do teste de tintura de iodo de dez lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo.

	Variável	ACP 1	ACP 2
Qualidade fisiológica	Primeira contagem de germinação	0,41	-0,63
	Germinação	0,91	-0,34
	Plântulas anormais	-0,88	0,29
	Sementes mortas	-0,73	0,42
	Viabilidade (TZ)	0,94	-0,25
	Vigor (TZ)	0,92	-0,20
Qualidade física	Danos por massa	-0,77	-0,49
	Danos por número	-0,76	-0,52
Teste de tintura de iodo	10'	-0,70	-0,56
	15'	-0,83	-0,45
Autovalores		6,38	1,90
Variância total (%)		63,84	18,96
Variância acumulada		82,80	

Tobar-Tosse et al. (2015), utilizando a análise de componentes principais em suas pesquisas acerca de caracterização de genótipos de soja-hortaliça, fizeram uso de dois componentes principais, com variância acumulada de 59%, sendo suficientes para expressarem as variáveis relevantes para a conclusão do trabalho. Hongyu, Sandanielo & Oliveira-Junior (2016), estudando a

aplicabilidade e a interpretação da análise de componentes principais, com utilização do gráfico biplot, também fizeram uso de dois componentes principais, obtendo uma variância acumulada representativa igual a 68,13%, o que possibilitou a afirmação pelos autores de que a análise foi efetiva, sem perda significativa de informação. Com isso, é correto afirmar que a taxa de variância alcançada no presente trabalho foi fortemente significativa e representativa (Tabela 5).

Diante dos resultados observados na análise de correlação, foram identificados os valores mais representativos para cada componente principal. Tais valores foram considerados discriminatórios quando maiores de 0,6, positivos ou negativos. Essa premissa também foi empregada nas pesquisas de Lorentz e Nunes (2013), acerca de relações entre medidas de qualidade de lotes de sementes de arroz.

Assim, somente a variável primeira contagem de germinação apresentou uma correlação, negativa, mais forte com o componente principal 2 (Tabela 5). As demais variáveis apresentaram maior correlação com o componente principal 1, sendo que, germinação, viabilidade e vigor pelo teste de tetrazólio apresentaram correlação positiva e as demais variáveis apresentaram correlação negativa com esse componente (Tabela 5). As correlações observadas em cada uma das variáveis selecionadas foram consideradas discriminatórias, isto devido aos valores que, quando enquadrados com os respectivos componentes principais, alcançaram níveis maiores de 0,6, positivamente ou negativamente (Tabela 5).

Observou-se diferença entre o grupo 5 e os demais grupos (Figura 6), visto que o lote 9 apresenta-se distante das variáveis que agregam qualidade às sementes, demonstrando estar mais próximo dos danos por massa, danos por número, e das variáveis de sementes coloridas a 10 e a 15 minutos de exposição na solução de iodo. Quanto maior a distância entre o autovetor da variável (representação da seta da variável no biplot), menor o desempenho desse lote em relação a variável correspondente (Araújo et al., 2021).

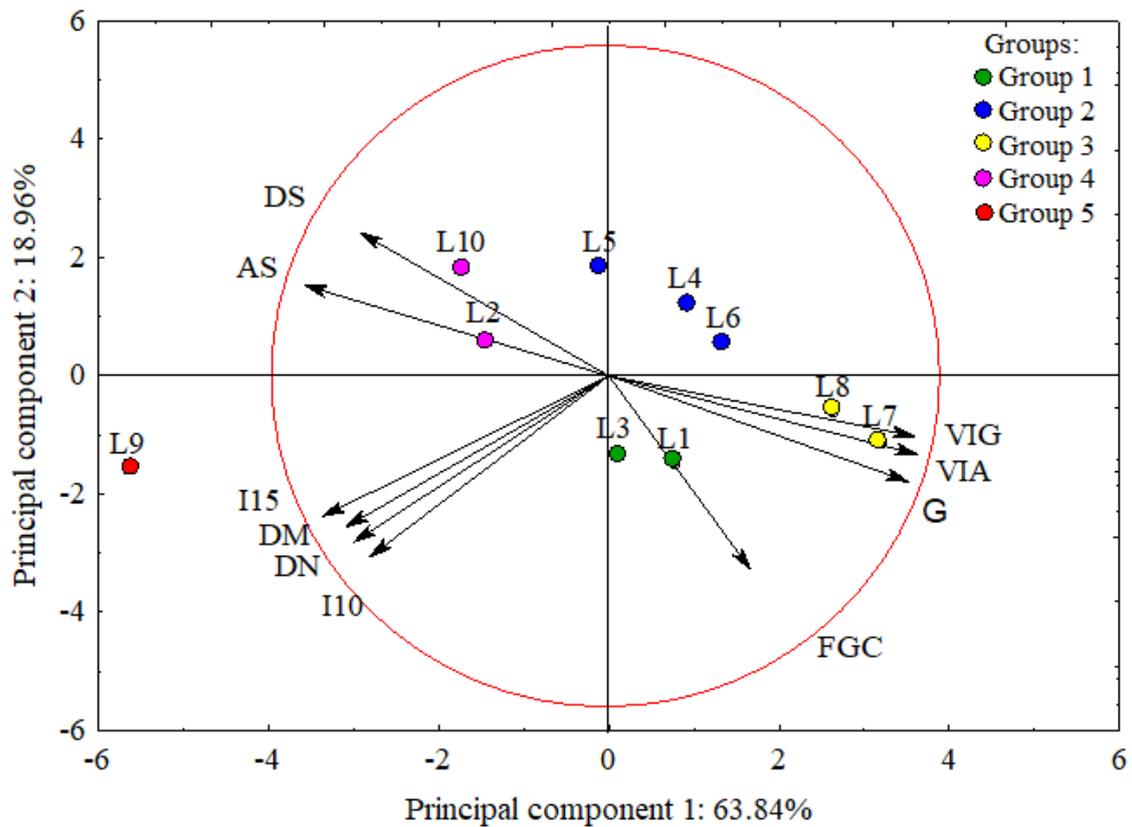


Figura 6. Gráfico biplot com a dispersão dos dois primeiros componentes principais (1 e 2) obtidos a partir da avaliação de 9 caracteres relacionados a qualidade fisiológica e física de 10 lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, em que: PCG = primeira contagem de germinação; G = germinação; PA = plântulas anormais; SM = sementes mortas; Via = viabilidade, por meio do teste de tetrazólio; Vig = vigor, por meio do teste de tetrazólio; SC = sementes coloridas no teste de tintura de iodo; DN = somatório dos danos analisados por número de sementes danificadas; DP = somatório dos danos analisados por massa de sementes danificadas. A letra “L” se refere aos lotes.

O tamanho dos vetores indica sua representatividade frente aos componentes principais. Com isso, destacam-se as variáveis plântulas anormais, vigor (TZ), viabilidade (TZ) e germinação, mais fortemente atreladas ao componente principal 1, além de danos por massa, danos por número e sementes coloridas pelo teste de tintura de iodo (10 e 15 minutos) também mais associadas a esse componente (Figura 6 e Tabela 7).

Os lotes dos grupos 1, 2 e 3 estão dispostos, em geral, de forma medianamente próxima de quase todas as variáveis de qualidade fisiológica,

demonstrando qualidade intermediária (Figura 6). O grupo 4 posiciona-se próximo às variáveis de plântulas anormais e sementes mortas, entretanto se posiciona do lado oposto das variáveis germinação, vigor e viabilidade pelo teste de tetrazólio. Este fato era esperado, vez que sementes não germinadas ou viáveis, eram mortas ou produziram plântulas anormais.

Pela proximidade dos vetores, verifica-se baixa qualidade física e fisiológica do lote do grupo 5, devido aos vetores correspondentes estarem em outro quadrante e distantes desse grupo. Além disso, pode-se constatar proximidade desses vetores com os vetores plântulas anormais e sementes mortas e também proximidade do vetor de índice de danos pelo teste de tintura de iodo durante 15 minutos com os lotes do grupo 4.

Foram determinados os coeficientes de correlação de Pearson entre as nove variáveis destacadas e os índices de danos pelo teste de tintura de iodo durante 10 e 15 minutos (Figura 7). As elipses coloridas representam de forma gráfica os mesmos resultados numéricos, de forma que quanto mais escura a tonalidade da cor azul e maior a elipse, maior é o coeficiente de correlação positiva entre as variáveis. Por outro lado, quanto maior a elipse e mais intenso o vermelho, maior é a correlação negativa.

	PCG	G	PA	SM	Via	Vig	DP	DN	DTI (10')	DTI (15')
DTI (10')	-0,02 ^{ns}	-0,33*	0,39*	0,12 ^{ns}	-0,36*	-0,48**	0,67**	0,61**	-	0,90**
DTI (15')	-0,11 ^{ns}	-0,51**	0,55**	0,26 ^{ns}	-0,52**	-0,47**	0,71**	0,85**	0,90**	-

Figura 7. Coeficientes de correlação de Pearson (r) entre variáveis da qualidade fisiológica e física de 10 lotes de sementes de grão-de-bico, cultivar BRS Aleppo, em que: PCG = primeira contagem de germinação; G = germinação; PA = plântulas anormais; SM = sementes mortas; Via = viabilidade, por meio do teste de tetrazólio; Vig = vigor, por meio do teste de tetrazólio; SC = sementes coloridas no teste de tintura de iodo; DN = somatório dos danos analisados por número de sementes danificadas; DP = somatório dos danos analisados por massa de sementes danificadas.

** Significativo ($p \leq 0,01$); * significativo ($p \leq 0,05$); NS não significativo.

Coefficientes de correlação de Pearson acima de 0,6 ou abaixo de -0,6 foram considerados como discriminatórios. Critério empregado por Lorentz e Nunes (2013).

A correlação entre o teste de tintura de iodo, nos tempos de 10 e de 15 minutos de imersão, foi positiva com a ocorrência de plântulas anormais e foi positiva e discriminatória com os danos por massa e por número (Figura 7). Entretanto, a maior correlação entre o teste de iodo e a qualidade física das sementes ocorreu no tempo de 15 minutos. Por outro lado, a correlação entre a coloração no teste de iodo foi negativa com a germinação e a viabilidade e o vigor em tetrazólio das sementes.

Os resultados do presente trabalho mostram correlação entre o teste de iodo e a qualidade física e fisiológica das sementes de grão-de-bico, entretanto essa correlação é maior com a qualidade física. Esta qualidade tem particular importância para as tecnologias de colheita, secagem e armazenamento, pois o seu conhecimento relaciona-se a minimização de perdas quantitativas, danos mecânicos e diminuição da qualidade fisiológica (Rybiński et al., 2015; Rybiński et al., 2019).

É importante ressaltar que a qualidade fisiológica das sementes é afetada não apenas por danos mecânicos, mas também por outros fatores como danos latentes (amassamento) e deterioração. Considerando que a finalidade principal do teste de iodo é a identificação rápida de danos mecânicos em sementes, recomenda-se o uso desse teste, na concentração de 10% de tintura de iodo comercial, durante 15 minutos, para aferição da taxa de danificação mecânica em sementes de grão-de-bico. Esse teste pode ser usado em diversas situações, incluindo a regulagem de equipamentos de colheita e de beneficiamento, o recebimento de sementes em unidades de beneficiamento, bem como na comercialização em geral.

Conclusões

Recomenda-se a realização do teste de iodo, na concentração de 10% (do produto comercial com concentração de iodo igual a 2%), durante 15 minutos, para aferição do nível de danos em sementes de grão-de-bico.

Há correlação entre a coloração das sementes mediante solução de tintura de iodo e a qualidade física e fisiológica das sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.).

Referências

- Albaneze, R., Villela, F. A., Possenti, J. C., Guollo, K., & Riedo, I. C. Mechanical damage caused by the use of grain carts for transport during soybean seed harvest. (2018). *Journal Seed Science*, 40(4), 422-427. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v40n4174101>
- Araújo, J. O., Dias, D. C. F. S., Miranda, R. M. & Nascimento, W. M. (2022). Adjustment of the electrical conductivity test to evaluate the seed vigor of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Journal of Seed Science*, 44(1), e202244003. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v44258666>
- Araújo, J. O., Dias, D. C. F. S., Nascimento, W. M., Martins, A. O. & Limão, M. A. R. (2021). Accelerated aging test and antioxidant enzyme activity to assess chickpea seed vigor. *Journal of Seed Science*, 43(1), e202143038. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v43253934>
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. (2009). Brasília, DF: MAPA/ACS.
- Carvalho, D. C., Albuquerque, M. C. F., Caneppele, M. A. B., Brito, J. & Costa, J. (2011). Avaliação da resistência mecânica de grãos de milho via teste de impacto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(7), 724-730. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000700011>
- Cicero, S. M. & Banjato-Junior, H. L. (2003). Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. *Revista Brasileira de Sementes*, 25(1), 29-36. <https://doi.org/10.1590/S010131222003000100006>
- Delfan, F., Shanbazi, F. & Esvand, H. R. (2023). Impact damage to chickpea seeds during free fall. *International Agrphysics*, 37(1), 41-49. <https://doi.org/10.31545/intagr/156049>
- Denardin, C. C. & Silva, L. P. (2008). Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. *Ciência Rural*, 1(1), 945-954. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782009005000003>
- Dias, L. B. X., Queiroz, P. A. M., Castro, T. C., Freitas, M. A. M., Leão-Araújo, E. F. & Nascimento, W. M. (2021). Physiological quality of mechanically harvested

chickpea seeds. *Engenharia na Agricultura*, 29(1), 28-35.
<https://doi.org/10.13083/reveng.v29i1.10907>

Freddi, O. S., Ferraudo, A. S. & Centurion, J. F. Análise multivariada na compactação de um latossolo vermelho cultivado com milho. (2008). *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32(3), 953-961. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000300005>

Gomes-Junior, F. G., Cicero, S. M., Vaz, C. M. P. & Lasso, P. R.O. (2019). X-ray microtomography in comparison to radiographic analysis of mechanically damaged maize seeds and its effect on seed germination. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, 2019 <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.42608>

Gu, R., Huang, R., Jia, G., Yuan, Z., Ren, L., Li, L. & Wang, J. (2019). Effect of mechanical threshing on damage and vigor of maize seed threshed at different moisture contents. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(7), 1571–1578.
[https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62026-X](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62026-X)

Holtz, V. & Reis, E. F. (2013). Perdas na colheita mecanizada de soja: uma análise quantitativa e qualitativa. *Revista Ceres*, 60(3), 347-353.
<https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000300007>

Hongyu, K., Sandanielo, V. L. M. & Oliveira-Junior, G. J. (2016). Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. *E&S - Engineering and Science*, 5(1), 83-90. <https://doi.org/10.18607/ES20165053>

Jolliffe, I. & Cadima, J. (2016). Principal component analysis: a review and recent developments. *Philosophical Transactions The Royal Society*, 374(1), 1-16.
<https://doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>

Liu, D., Parker, M. L., Wellner, N., Kerby, A. R., Cross, K., Morris, V. J. & Cheng, F. (2013). Structural variability between starch granules in wild type and in a highamylose mutant maize kernels. *Carbohydr Polym*, 97(2), 458–468.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.05.013>

Lorentz, L. H. & Nunes, U. R. (2013). Relações entre medidas de qualidade de lotes de sementes de arroz. *Revista Ciência Agronômica*, 44(4), 798-804.
<https://doi.org/10.1590/S1806-66902013000400017>

Merga, B. & Haji, J. (2019) Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food and Agriculture*, 5(1), 1-12.
<https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1615718>

- Nascimento, W. M., Silva, P. P., Artiaga, O. P. & Suinaga, F. A. (2016). *Hortaliças leguminosas*. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças.
- Pacheco, F. P., Nóbrega, L. H. P., Lima, G. P., Santorum, M., Boller, V. & Formighieri, L. (2015). Physiological quality of soybean seeds under mechanical injuries caused by combines. *Revista Caatinga*, 28(04), 190-201. <https://doi.org/10.1590/1983-21252015v28n421rc>
- Pandey, S. & Chakraborty, D. (2023). Salicylic acid increases tolerance of *Vigna mungo* cv. T9 to short-term drought stress. *Acta Physiol Plant*, 45(25), 1-11. <https://doi.org/10.1007/s11738-022-03492-6>
- Pang, J., Turner, N. C., Khan, T., Du, Y. L., Xiong, J. L., Colmer, T. D., Devilla, R., Stefanova, K., & Siddique, K. H. M. (2017). Response of chickpea (*Cicer arietinum* L.) to terminal drought: leaf stomatal conductance, pod abscisic acid concentration, and seed set. *Journal of Experimental Botany*, 68(8), 1973-1985. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw153>
- Paraíso, H. A., Brandão-Junior, D. S., Avelar, R. I. S., Costa, C. A., Gomes, L. S. P. & Nascimento, W. M. (2019). Adjustments in the tetrazolium test methodology for assessing the physiological quality of chickpea seeds. *Journal Seed Science*, 41(1), 7-12. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v41n1187777>
- Parizotto, N. F., Marques-Filho, A. C., Oliveira, M. M. V., Souza, F. L. P. & Silva, P. R. A. (2022). Can dosing mechanisms affect the physical quality of corn seeds at different seeding speeds? *Revista de Agricultura Neotropical*, 9(3), e6823. <https://doi.org/10.32404/rean.v9i3.6823>.
- Rybiński, W., Banda, M., Bocianowski, J., Borner, A., Starzycki, M., & Szot, B. (2015). Estimation of mechanical properties of seeds of common vetch accessions (*Vicia sativa* L.). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 62(1), 361–375. <https://doi.org/10.1007/s10722-014-0157-7>
- Rybiński, W., Banda, M., Bocianowski, J., Starzycka-Korbias, E., Starzycki, M., & Nowosad, K. (2019). Estimation of the physicochemical variation of chickpea seeds (*Cicer arietinum* L.). *International Agrophysics*, 33(1), 67-80. <https://doi.org/10.31545/intagr/103889>
- Santos, V. M. & Afonso, J. C. (2013). Elemento químico – Iodo. *Química Nova escola*, 35(4), 297-298.
- Tobar-Tosse, D. E., Castoldi, R., Candido, W. S., Ferraudo, A. S., Charlo, H. C. O. & Braz, L. T. (2015). Caracterização de genótipos de soja-hortaliça por análise

de componentes principais. *Ciência Rural*, 45(7), 1214-1219.

<https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140597>

Zhao, L., Pan, T., Guo, D. & Wei, C. (2018). A simple and rapid method for preparing the whole section of starchy seed to investigate the morphology and distribution of starch in different regions of seed. *Plant methods*, 14(16), 1-11.

<https://doi.org/10.1186/s13007-018-0283-x>.

CAPÍTULO II

Qualidade de sementes de grão-de-bico nas etapas do beneficiamento

Qualidade de sementes de grão-de-bico nas etapas do beneficiamento

Resumo: O grão-de-bico, *Cicer arietinum* L., é a terceira leguminosa mais consumido globalmente e é reconhecida por seu alto valor nutricional. Suas sementes são notavelmente suscetíveis a danos mecânicos. No contexto da produção agrícola, o processo de beneficiamento desempenha um papel crucial e requer cuidados na calibração das máquinas envolvidas. O objetivo deste trabalho foi investigar os efeitos do beneficiamento na qualidade física e fisiológica das sementes de grão-de-bico. Foram coletadas amostras em 16 pontos na Unidade Básica de Beneficiamento: moega, máquina de ventilação e peneiras de pré-limpeza e limpeza, mesa densimétrica e máquina classificadora. Em seguida, as qualidades físicas e fisiológicas das sementes foram avaliadas no Laboratório de Tecnologia de Semente da Universidade de Brasília. Observou-se que a qualidade fisiológica do lote de sementes de grão-de-bico foi significativamente melhorada, principalmente durante os processos de separação por peso específico e diâmetro na mesa densimétrica e na máquina classificadora. Houve uma associação direta entre o peso específico das sementes e sua qualidade fisiológica. No entanto, é importante destacar que este modelo de beneficiamento requer ajustes devido à alta incidência de sementes de outras espécies na máquina classificadora. As peneiras mais adequadas para garantir a qualidade das sementes de grão-de-bico foram identificadas como sendo as de 8,0 e 8,5 mm. Sementes de tamanho inferior exibiram uma qualidade fisiológica inferior, ressaltando a importância da seleção adequada das sementes durante o processo de beneficiamento.

Palavras-chave: análise multivariada, *Cicer arietinum* L., danos mecânicos, teste de tetrazólio, Unidade Básica de Beneficiamento

Quality of chickpea seeds at different stages of processing

Abstract: Chickpea, *Cicer arietinum* L., is the third most consumed legume globally and is recognized for its high nutritional value. Its seeds are notably susceptible to mechanical damage. In the context of agricultural production, the processing plays a crucial role and requires careful calibration of the involved machinery. The aim of this study was to investigate the effects of processing on

the physical and physiological quality of chickpea seeds. Samples were collected at 16 points in the Basic Processing Unit: hopper, ventilation machine, pre-cleaning and cleaning sieves, densimetric table, and sorting machine. Subsequently, the physical and physiological qualities of the seeds were evaluated at the Seed Technology Laboratory of the University of Brasília. It was observed that the physiological quality of the chickpea seed lot was significantly improved, mainly during the processes of separation by specific weight and diameter in the densimetric table and sorting machine. There was a direct association between the specific weight of the seeds and their physiological quality. However, it is important to highlight that this processing model requires adjustments due to the high incidence of seeds from other species in the sorting machine. The most suitable sieves to ensure the quality of chickpea seeds were identified as 8.0 and 8.5 mm. Smaller seeds exhibited inferior physiological quality, emphasizing the importance of proper seed selection during the processing.

Keywords: multivariate analysis, *Cicer arietinum* L., mechanical damage, tetrazolium test, Basic Processing Unit

Introdução

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), Fabaceae, ocupa o segundo terceiro lugar entre as leguminosas mais consumidas globalmente, sendo superado apenas pela soja (FAOSTAT, 2024). Representada por seu elevado valor nutritivo, sendo uma fonte de fibras, vitaminas, minerais (FERREIRA et al., 2006), carboidratos, ácidos graxos (ARTIAGA et al., 2015), que contribuem para o controle do colesterol (NASCIMENTO et al., 1998), é rica em proteínas, o que a torna uma escolha excelente em dietas vegetarianas devido ao seu alto teor proteico (ROORKIWAL et al., 2016).

O grão-de-bico demonstra uma notável capacidade de adaptação a uma variedade de climas (NASCIMENTO, et al., 2016), graças à sua elevada rusticidade e tolerância ao déficit hídrico (BRAGA et al., 1997). Essas características promoveram sua disseminação por diversos continentes,

resultando em uma produção global de aproximadamente 15 milhões de toneladas, com foco principal na Ásia (NASCIMENTO et al., 2019).

Apesar de ser a maior produtora e consumidora de grão-de-bico do mundo, a Índia ainda necessita importar essa leguminosa (ICRISAT, 2019). No Brasil, o consumo do grão-de-bico permanece limitado em comparação com outras leguminosas, como o feijão (FERREIRA et al., 2006). A produção nacional não é suficiente para atender à demanda interna, o que leva o país a importar grão-de-bico de países como Argentina e México, resultando em preços elevados para os consumidores (EMBRAPA, 2017).

O cultivo do grão-de-bico no Cerrado tem demonstrado ser promissor, apresentando boa adaptação às condições edafoclimáticas características desse bioma (NASCIMENTO et al., 2017; AVELAR et al., 2018), com produtividade superior à média mundial, que é de 1,3 toneladas por hectare (FAO, 2019).

Para otimizar o potencial produtivo das sementes de grão-de-bico, é essencial que elas possuam alta qualidade genética, física, fisiológica e sanitária (ETCHEVERRIA, 2016). Para alcançar esse objetivo, é necessário direcionar atenção para uma série de fatores durante o processo de produção e beneficiamento. Esses fatores incluem recursos ambientais, práticas de manejo e avanços tecnológicos (BEZERRA et al., 2014).

Os recursos tecnológicos têm desempenhado um papel crucial em todas as fases da produção de grão-de-bico. Desde os tratamentos culturais até o beneficiamento e a finalização dos lotes, ano após ano, novas tecnologias têm sido implementadas nos sistemas de produção de sementes para melhorar a eficiência e aumentar a capacidade de produzir sementes de maior qualidade.

O beneficiamento é uma etapa fundamental na produção de sementes que tem evoluído significativamente ao longo do tempo. Seu propósito é homogeneizar e aprimorar a qualidade física e fisiológica do lote, refinando seus atributos por meio de uma série de operações sequenciais realizadas por máquinas específicas (MELO et al., 2016). Apesar dos avanços em equipamentos cada vez mais precisos, que causam menos danos e preservam a qualidade das sementes provenientes do campo de produção, ainda é necessário avaliar os efeitos do beneficiamento na qualidade final das sementes. Devido à relevância e escassa literatura referente ao beneficiamento de

sementes dessa cultura, esse trabalho teve o objetivo de avaliar os efeitos do beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de grão-de-bico.

Material e métodos

Amostragem

A coleta das sementes foi realizada em cada uma das etapas do processo de beneficiamento da Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS), da Fazenda AgroGarbanzo, localizada em Cristalina-GO (Figura 1).

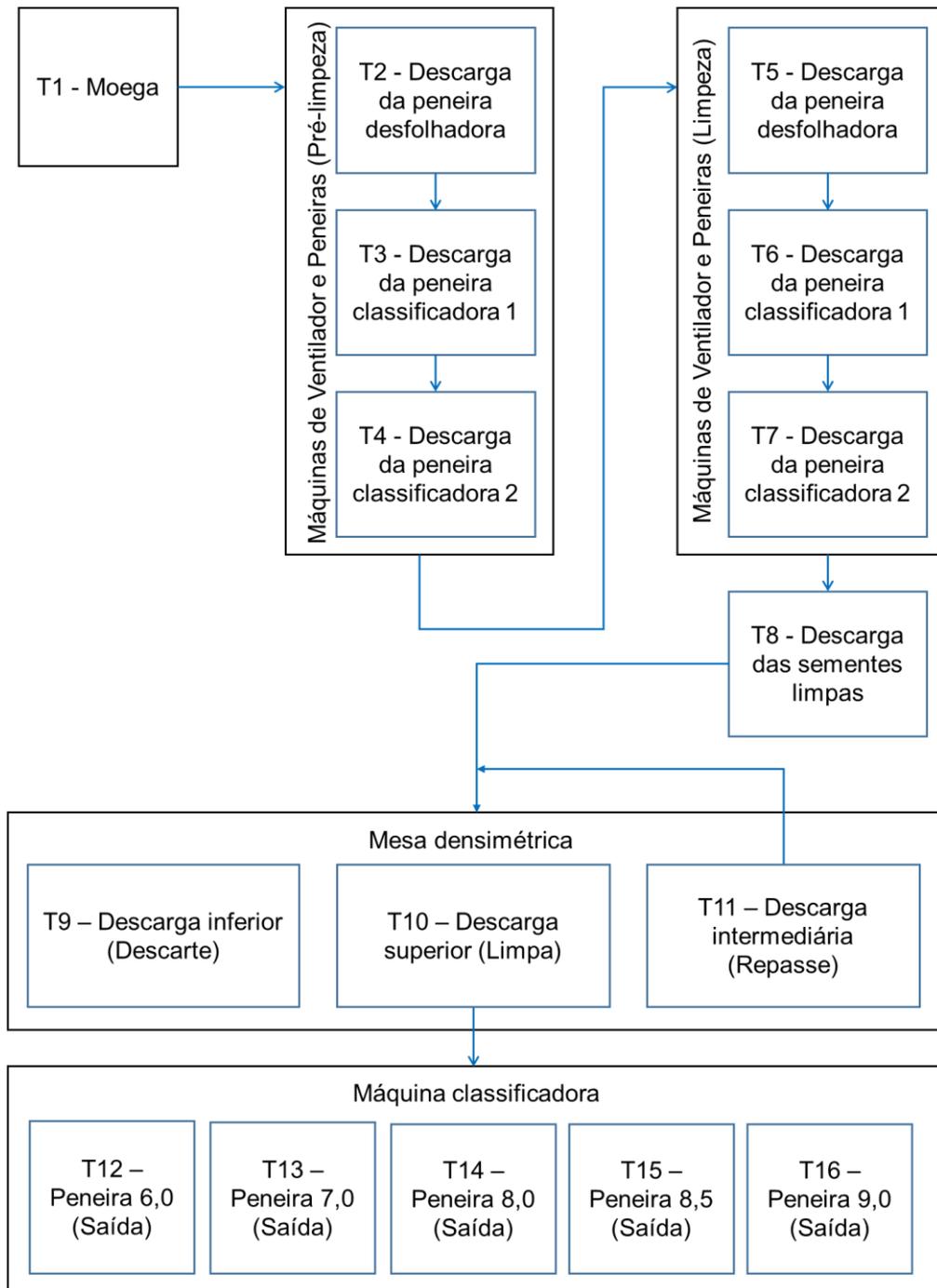


Figura 1. Fluxograma do beneficiamento de sementes com indicação dos pontos de obtenção das amostras para compor os tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14, T15 e T16) no estudo da qualidade de sementes de grão-de-bico.

Após a estabilização do funcionamento das máquinas, cerca de duas horas após o início do processo, utilizou-se um recipiente plástico com capacidade para 200 g de sementes para obtenção das sementes de grão-de-

bico. Em cada etapa do beneficiamento foram obtidas quatro amostras compostas de 1 kg formadas por 10 coletas simples de 100 g cada, com intervalos de 5 minutos entre as coletas. Esse procedimento foi realizado em todas as etapas do processo de beneficiamento. Os pontos de amostragem foram: moega (T1), máquina de ventilador e peneiras de pré-limpeza em três pontos (T2, T3 e T4); máquina de ventilador e peneiras de limpeza em três pontos (T5, T6 e T7) e na saída da máquina de ventilador e peneiras, compondo a fração de sementes limpas (T8); mesa densimétrica em três pontos – descarga inferior (T9), descarga superior (T10) e descarga intermediária (T11); e classificadora em cinco pontos, sendo cinco peneiras – 6,0 mm (T12), 7,0 mm (T13), 8,0 mm (T14), 8,5 mm (T15) e 9,0 mm (T16), conforme figura 1.

As sementes utilizadas foram da variedade Jamu 96, da safra agrícola de 2019 oriundas de campo de produção de sementes localizado no município de Cristalina – Goiás e colhidas mecanicamente. As sementes foram acondicionadas em sacos de papel Kraft com capacidade para 2 kg e encaminhadas ao laboratório. Em seguida foram armazenadas em freezer a 5 °C, livre de exposição à luz e à umidade. As determinações e testes das sementes de grão-de-bico foram conduzidas no Laboratório de Análise de Sementes da Universidade de Brasília – UnB, Brasília – DF.

Determinação do teor de água - Determinado pelo método da estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas. Foram utilizadas quatro subamostras de 20 sementes cada, pesadas em balança analítica (0,001 g) e os dados foram expressos em porcentagem em base úmida, com uma casa decimal (BRASIL, 2009).

Determinação da pureza física - Em quatro subamostras de 1.000 g, realizou-se a separação dos componentes de cada subamostra por catação manual com o auxílio de uma pinça. Os resultados foram expressos em porcentagem de: sementes puras (SP), outras sementes (OS), bandinhas e partes menores das sementes da cultura (BP) e material inerte (MI) como somatório de impurezas, bandinhas e partes menores das sementes da cultura (BRASIL, 2009).

Determinação da massa de mil sementes - Foram feitas oito subamostras de 100 sementes cada repetição, de cada etapa do beneficiamento, as quais foram pesadas individualmente em balança analítica. Os resultados foram expressos em grama (BRASIL, 2009).

Teste de germinação em papel - Foi feito com quatro subamostras de 50 sementes, semeadas no substrato rolo de papel com 2,0 vezes o peso do papel seco. Para a manutenção da umidade, os rolos foram inseridos em sacos plástico transparente, foram fechados (GASPAR et al., 2007) e mantidos em câmara de germinação sob temperatura 25 °C e fotoperíodo de 8 horas (BRASIL, 2009).

A primeira contagem de germinação (PCG) foi realizada no 5° dia após instalação do experimento, mensurando somente as plântulas normais. A contagem das plântulas normais, anormais e sementes mortas para avaliar a germinação (G) ocorreu no 8° dia (Figura 7), conforme critérios estabelecidos na RAS (BRASIL, 2009). O resultado foi expresso em porcentagem. No 8° dia também foi feita a medição do comprimento da raiz principal (CRA) e do comprimento da parte aérea (CPA), com resultados expressos em mm plântula⁻¹.

Teste de germinação em areia - Conduzido com quatro repetições de 25 sementes cada, foi utilizado o substrato areia média umedecida com 50% da capacidade de vaso, em caixas plásticas transparentes com tampa (11,0 x 11,0 x 3,5 cm). Após semeio, as caixas foram mantidas sob temperatura de 25 °C (BRASIL, 2009). A primeira contagem de emergência de plântulas (PCE) foi realizada no 5° dia após a instalação do teste; e a contagem de emergência de plântulas em areia (EPA) foi realizada no 8° dia, após a instalação do teste. Foram contabilizadas as plântulas normais, conforme regras estabelecidas na RAS e o resultado expresso em porcentagem (Figura 8).

Teste do tetrazólio - O teste foi realizado a partir de quatro subamostras de 50 sementes cada, colocadas em pré-condicionamento para embeber em folhas de papel germitest umedecido com quantidade de água igual a 2,0 vezes o peso do papel seco e permaneceram durante 18 horas na câmara de germinação a temperatura de 30 °C, posteriormente, as sementes foram submetidas a solução de tetrazólio na concentração de 0,1% por 6 horas em câmara de germinação no escuro a temperatura de 30 °C.

Após este período, a solução foi drenada. Realizou-se a remoção do tegumento e com auxílio do bisturi as sementes foram seccionadas longitudinalmente através do embrião e feita a análise interna e externa, quantificando os níveis de vigor e viabilidade e identificando as causas da perda

de qualidade fisiológica das sementes, sejam elas por dano mecânico, percevejo e/ou umidade.

As sementes foram submetidas a seguinte classificação proposta por Paraíso et al. (2019), conforme a Figura 9 Classe 1: sementes viáveis e vigorosas, com ausência de lesões; Classe 2: sementes viáveis e vigorosas, com lesões superficiais distantes das partes vitais; Classe 3: sementes viáveis e não vigorosas com lesões no eixo embrionário que não afetaram o cilindro vascular; Classe 4: sementes não viáveis e não vigorosas, com danos em partes vitais, comprometendo o desenvolvimento normal da plântula e/ou sementes mortas, com tecidos embrionários sem respiração, embrionário vivo com cotilédones morto e embriões necrosados ou ausentes. O resultado foi expresso em porcentagem de viabilidade (classes 1 a 4), vigor e danos mecânicos (sementes inviáveis – classe 4; danos mecânicos – classe 2-4) pelo teste de tetrazólio.

Análise estatística - Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F em delineamento inteiramente casualizado. As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade. Os resultados da primeira contagem de germinação foram transformados em $\arcseno\sqrt{x} + 1/100$.

Resultados e discussão

De acordo com a análise estatística do teste de pureza física, observou-se uma diferença estatisticamente significativa entre as variáveis de sementes puras, outras sementes, bandinhas, partes menores das sementes da cultura e material inerte, como demonstrado na Tabela 1.

Com base nos resultados obtidos na determinação do teor de água, não houve grandes variações nos resultados dos pontos de coleta das amostras (Tabela 1). Na análise de pureza física, foram avaliadas as quantidades de sementes puras em relação à amostra inicial, expressas em porcentagem. O que não corresponde a sementes puras foi classificado em dois grupos: materiais inertes ou outras sementes. Dentro do grupo de materiais inertes, destaca-se um subgrupo correspondente a bandinhas e partes menores das sementes da cultura, cuja medição teve como objetivo avaliar os efeitos de quebra que o processo de beneficiamento pode remover ou causar.

Tabela 1. Médias dos teores de água das sementes (TA) e análise de pureza física nas frações sementes puras (SP), outras sementes (OS), bandinhas e partes menores das sementes da cultura (BP), material inerte (MI; somatório dos materiais inertes, incluindo bandinhas e parte menores das sementes da cultura) e peso de mil sementes (MMS) em função das etapas do beneficiamento de sementes de grão-de-bico.

Equipamentos	Saída	Descarte ¹	TA	SP	OS	BP	MI	MMS
			----- % -----					
Moega	T1		7,1	90,7 c	2,90 b	5,51 e	6,38 g	372,03 d
MVPP	T2 ²	X	-	11,9 g	0,00 d	0,00 g	88,15 c	-
	T3	X	7,2	38,3 e	0,55 d	60,21 c	61,14 e	184,43 h
	T4 ²	X	-	0,0 h	4,06 b	83,18 a	95,94 b	-
MVPL	T5 ²	X	-	11,5 g	0,10 d	0,04 g	88,38 c	-
	T6	X	7,1	14,0 f	17,79 a	67,59 b	68,19 d	134,65 i
	T7 ²	X	-	0,0 h	2,53 c	0,00 g	97,48 a	-
	T8		7,2	98,1 b	0,06 d	1,80 f	1,90 h	362,33 e
DENS	T9	X	7,3	75,2 d	0,86 c	19,51 d	23,95 f	277,28 g
	T10		7,2	99,6 a	0,01 d	0,42 g	0,42 i	389,23 c
	T11		7,5	97,2 b	0,01 d	2,72 f	2,82 h	345,25 f
CLAS	T12		7,3	97,6 b	0,03 d	2,30 f	2,35 h	281,58 g
	T13		7,2	99,1 a	0,04 d	0,89 g	0,93 i	347,53 f
	T14		7,3	99,3 a	0,00 d	0,69 g	0,69 i	349,10 f
	T15		7,2	99,6 a	0,00 d	0,44 g	0,44 i	449,45 b
	T16		7,4	97,5 b	0,00 d	1,25 g	2,49 h	657,30 a
F			-	7569,4**	51,25**	3891,34**	8053,40**	1283,21**
CV (%)			-	1,52	3,01	5,82	2,69	2,12
MG			-	64,34	1,8	15,41	33,85	345,84

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

¹Etapas de beneficiamento que resultam em material de descarte pela empresa.

²Com exceção da análise de pureza física, todas as demais avaliações de qualidade não foram realizadas para estes tratamentos devido à ausência de sementes.

MVPP: Máquinas de Ventilador e Peneiras (Pré-limpeza); MVPL: Máquina de Ventilador e Peneiras (Limpeza); DENS: Mesa Densimétrica; CLAS: Máquina classificadora.

Em relação ao teste de pureza física, observa-se que, entre as amostras que não foram descartadas, a porcentagem de sementes puras variou entre 90,7% e 99,6%, correspondendo à moega (T1) e à peneira de 8,5 mm (T15), respectivamente (Tabela 1).

Analisando as amostras descartadas, dois tratamentos se destacam: a descarga da peneira classificadora 2 (T7 - MVPL), que não continha nenhuma semente pura, refletindo uma regulagem adequada da máquina de ventilador e das peneiras de limpeza; e a descarga inferior (T9), que, entre as amostras

descartadas, continha a maior quantidade de sementes puras, sendo estatisticamente significativa até mesmo em comparação com as amostras válidas que continuaram no processo de beneficiamento.

Ao observar apenas as amostras resultantes da operação da máquina classificadora, apesar de não haver diferença estatística, as peneiras de 6,0 mm (T12) e 7,0 mm (T13) apresentaram predominantemente sementes de outras espécies, principalmente sementes de soja e sorgo, explicado pelo tamanho característico dessas sementes, conforme observado em um estudo de Pádua et al. (2010), que indica que as sementes de soja geralmente têm tamanhos entre 4,0 mm e 7,0 mm, enquanto as sementes de sorgo têm sempre menos de 6,0 mm, sendo classificadas junto com as sementes de grão-de-bico de tamanho inferior a 6,0 mm caso não tenham sido removidas em etapas anteriores.

Quanto ao subgrupo de materiais inertes, bandinhas e partes menores das sementes da cultura, observa-se que foram predominantemente descartadas nas etapas das máquinas de ventilador e peneiras (MVPP e MVPL), nas saídas localizadas na parte inferior, devido à facilidade com que passam pela massa de grãos e pelas peneiras inferiores. O mesmo ocorre na máquina classificadora, onde a peneira de 6,0 mm (T12) apresentou bandinhas e partes menores das sementes da cultura estatisticamente superiores às demais peneiras.

Das amostras consideradas válidas para avançar no beneficiamento, exceto pela moega (T1), que representa as características exatas das sementes provenientes do campo para a Unidade de Beneficiamento de Sementes (UBS), as demais apresentaram uma porcentagem de material inerte inferior a 2,82%, valor encontrado na descarga intermediária da mesa densimétrica (T11). Em relação ao material inerte, as amostras das peneiras localizadas nos extremos da máquina classificadora também tiveram maior incidência, sendo elas as peneiras de 6,0 mm (T12) e 9,0 mm (T16). Isso se deve ao padrão das impurezas, compostas por torrões, restos vegetais, insetos, entre outros.

Na peneira de 6,0 mm, todo material com tamanho inferior a 6,0 mm também é selecionado junto com a semente, explicando a alta porcentagem de impurezas em comparação com as demais. Nas peneiras de 7,0 mm, 8,0 mm e 8,5 mm, a variação de tamanho corresponde a 1,0 mm, 0,5 mm e 0,5 mm, respectivamente, ou seja, são tamanhos específicos selecionados. Já na peneira

de 9,0 mm, ao contrário da peneira de 6,0 mm, o material inerte de tamanho superior que não foi separado nas fases anteriores do beneficiamento foi selecionado junto com as sementes, explicando também sua elevada porcentagem.

Quanto aos resultados de massa de mil sementes em relação às diferentes etapas do processo de beneficiamento, verifica-se o valor intermediário observado no T1, correspondente à amostra coletada na moega, que foi de 372,03 g, pode ser atribuído à heterogeneidade da amostra inicial, ainda não submetida às etapas de separação por peso específico e classificação quanto ao tamanho. Essa heterogeneidade implica na presença de sementes com variados tamanhos e pesos.

Antes da classificação por tamanho e peso específico, como previsto, as amostras de descarte exibiram valores baixos ou nulos devido à sua escassa quantidade, como evidenciado nos tratamentos de T2 a T7. Notavelmente, destacam-se os tratamentos T3 e T6, com 184,43 g e 134,65 g, respectivamente. Após os processos de pré-limpeza e limpeza, o tratamento T8 representou as sementes limpas, que estão prontas para avançar para a classificação na mesa densimétrica.

Na mesa densimétrica, a fração superior (T10), que segue diretamente para a próxima etapa, exibiu uma porcentagem superior às demais frações, totalizando 38,47%. As sementes descartadas (T9) devido ao peso específico reduzido representaram 27,41% do total, enquanto as repassadas (T11), caracterizadas por um peso específico intermediário e que foram direcionadas novamente à mesa, corresponderam a 34,12%. Dessa maneira, ao eliminar as sementes de menor peso específico, é possível obter lotes com melhor qualidade fisiológica, pois existe uma correlação estreita entre peso específico e qualidade fisiológica (ALMEIDA et al., 2016; ALEXANDRE; SILVA, 2001).

Após a classificação por tamanho, é evidente a diferença de peso entre as peneiras. As sementes apresentaram uma diferença de 207,85 g entre as peneiras de 8,5 mm e 9,0 mm, e de 101,92 g entre as peneiras de 8,0 mm e 8,5 mm, demonstrando a capacidade da máquina classificadora de melhorar a qualidade física de um lote de sementes.

De acordo com a Tabela 2, as variáveis de germinação, primeira contagem de germinação, comprimentos da raiz principal e da parte aérea, emergência de

plântulas em areia e primeira contagem de emergência de plântulas em areia apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação às etapas do beneficiamento.

Tabela 2. Médias de germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), comprimento da raiz principal (CRA), comprimento da parte aérea (CPA), emergência de plântulas em areia (EPA) e primeira contagem de emergência de plântulas (PCE) em função das etapas do beneficiamento de sementes de grão-de-bico.

Equipamentos	Saída	Descarte ¹	G	PCG ³	CRA	CPA	EPA	PCE
			----- % -----	----- mm plântula ⁻¹ -----	----- % -----			
Moega	T1		63 b	24 d	16,5 e	9,3 d	84 a	72 a
	T2 ²	X	-	-	-	-	-	-
MVPP	T3	X	44 d	12 e	19,0 e	8,3 d	19 d	14 d
	T4 ²	X	-	-	-	-	-	-
	T5 ²	X	-	-	-	-	-	-
MVPL	T6	X	32 e	2 f	20,8 e	9,0 d	10 e	6 e
	T7 ²	X	-	-	-	-	-	-
	T8		53 c	32 b	25,3 d	11,0 c	41 c	36 c
	T9	X	42 d	13 e	33,0 c	11,3 c	24 d	18 d
DENS	T10		66 b	28 c	42,0 b	16,8 a	45 c	43 c
	T11		54 c	22 d	40,3 b	13,5 b	46 c	40 c
	T12		67 b	28 c	40,8 b	12,8 b	25 d	18 d
	T13		65 b	27 c	45,0 a	14,8 a	40 c	34 c
CLAS	T14		78 a	32 b	41,8 b	12,5 b	41 c	36 c
	T15		64 b	37 a	47,0 a	12,3 b	48 c	42 c
	T16		83 a	37 a	47,0 a	12,0 b	65 b	56 b
F			45,16**	71,77**	31,66**	8,46 **	70,20**	35,92**
CV (%)			7,46	6,6	11,68	14,05	11,88	17,95
MG			59,08	24,08	34,85	11,93	40,67	34,58

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

¹Etapas de beneficiamento que resultam em material de descarte pela empresa.

²Com exceção da análise de pureza física, todas as demais avaliações de qualidade não foram realizadas para estes tratamentos devido à ausência de sementes.

³Dados originais transformados em $\arcseno\sqrt{x+1/100}$.

MVPP: Máquinas de Ventilador e Peneiras (Pré-limpeza); MVPL: Máquina de Ventilador e Peneiras (Limpeza); DENS: Mesa Densimétrica; CLAS: Máquina classificadora.

Com relação aos resultados do teste de germinação em papel, observou-se que o desempenho das amostras após o processo de classificação pela máquina foi estatisticamente semelhante, demonstrando boa performance em todas elas. Tanto a amostra da moega (T1) quanto a da descarga superior (T10)

apresentaram resultados similares, tanto dentro quanto fora da máquina classificadora.

A amostra da moega (T1) é crucial para garantir uma representatividade adequada da realidade do campo de produção. Além disso, como apenas sementes puras são utilizadas no teste de germinação, por meio de uma seleção manual durante a montagem, os resultados são estatisticamente similares às amostras obtidas após a classificação pela máquina, conforme indicado na Tabela 2. Seguindo a mesma linha de raciocínio, a descarga superior (T10) corresponde às amostras finais antes da classificação por tamanho, ou seja, contém as sementes das peneiras de 6,0 a 9,0 (T12 a T16), que já foram limpas pelas máquinas de ventilador e peneiras (MVPP e MVPL) e selecionadas quanto ao peso específico.

Quanto à variável primeira contagem de germinação (PCG), ao serem padronizadas, observa-se que as sementes de maior diâmetro apresentaram os melhores resultados. Embora Carvalho e Nakagawa (2012) afirmem que o tamanho das sementes não influencia na germinação, mas sim no vigor, é notável que sementes de maior diâmetro germinam e formam plântulas mais vigorosas.

A padronização por tamanho também resultou em um melhor desempenho das amostras em geral, quando comparadas à moega (T1), descarga das sementes limpas (T8) e descarga superior (T10). Ao analisar os tratamentos T12 a T16, observa-se uma simetria estatística significativa: as peneiras de 8,5 mm e 9,0 mm exibiram alta qualidade, a de 8,0 mm apresentou qualidade média e as de 6,0 mm e 7,0 mm demonstraram baixa qualidade, especialmente em relação à primeira contagem de germinação.

No que diz respeito ao comprimento da raiz principal e da parte aérea, com exceção da amostra da descarga inferior (T9), as amostras provenientes da mesa densimétrica e da máquina classificadora alcançaram resultados superiores. Destaca-se a peneira de 7,0 mm (T13), que obteve classificação superior para ambas as variáveis, apesar de ter resultados intermediários nas variáveis de germinação.

Na emergência de plântulas em areia e na primeira contagem de emergência de plântulas, a amostra da moega (T1) se destacou com desempenho superior em ambas as variáveis, seguida pela peneira de 9,0 mm

(T16). Considerando os demais tratamentos, com exceção da peneira de 6,0 mm (T12) com desempenho inferior, as demais amostras não pertencentes ao grupo de descarte apresentaram igualdade estatística, com desempenho intermediário.

Analisando os dados de forma conjunta, a peneira de 6,0 mm (T12) foi estatisticamente a de pior desempenho em comparação com as outras peneiras. A peneira de 7,0 mm (T13) ficou abaixo das peneiras de 8,0 mm (T14), 8,5 mm (T15) e 9,0 mm (T16) apenas na primeira contagem de germinação. As peneiras de 8,0 mm, 8,5 mm e 9,0 mm apresentaram desempenho estatisticamente superior. Portanto, de acordo com os testes de germinação em papel e em areia, as sementes provenientes da peneira de 9,0 mm (T16) poderiam ser selecionadas para a produção de sementes de grão-de-bico.

Na Tabela 3, observam-se diferenças significativas entre as etapas do beneficiamento nas variáveis de viabilidade, vigor, sementes sem danos, danos mecânicos classe 4 e danos mecânicos classes 2-4.

Na Tabela 3, foram apresentados os resultados do teste de tetrazólio realizado em diferentes fases do processo de beneficiamento. Observa-se que as amostras que avançaram diretamente para a próxima etapa do processo - moega (T1), descarga das sementes limpas (T8) e descarga superior (T10) - apresentaram valores de viabilidade estatisticamente iguais. No entanto, esses valores aumentaram após a padronização pela máquina classificadora, com destaque para a peneira de 9,0 mm (T16), que obteve um resultado superior.

Quanto à viabilidade, embora a descarga intermediária (T11) da mesa densimétrica tenha apresentado um resultado estatisticamente inferior, foi numericamente próxima à descarga superior (T10), destacando a importância do repasse das sementes coletadas no centro da mesa densimétrica. Este achado está em linha com os resultados encontrados por Lorensen et al. (2017), que concluíram, ao estudar o beneficiamento de sementes de soja, que cerca de 10% da qualidade física e fisiológica do lote está no repasse, podendo ser aproveitado até 80%.

Em relação ao vigor, a peneira de 9,0 mm apresentou um resultado superior, enquanto a descarga inferior da mesa densimétrica (T9) demonstrou inferioridade, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Médias de viabilidade (Viab), vigor, sementes sem danos (SSD), danos mecânicos na classe 4 (DM (4)), danos mecânicos nas classes 2-4 (DM (2-4)), avaliados pelo teste de tetrazólio, em função das etapas do beneficiamento de sementes de grão-de-bico.

Equipamentos	Saída	Descarte ¹	Viab.	Vigor	SSD	DM (4) ³	DM (2-4) ³
			----- % -----				
Moega	T1		66 c	39 c	12 b	16 a	44 b
	T2 ²	X	-	-	-	-	-
MVPP	T3	X	66 c	37 c	20 a	17 a	39 b
	T4 ²	X	-	-	-	-	-
	T5 ²	X	-	-	-	-	-
MVPL	T6	X	64 c	35 c	11 b	17 a	46 a
	T7 ²	X	-	-	-	-	-
	T8		65 c	31 d	7 c	18 a	47 a
	T9	X	59 d	22 e	3 d	20 a	48 a
DENS	T10		64 c	29 d	5 d	16 a	44 b
	T11		62 d	31 d	7 c	19 a	48 a
	T12		65 c	28 d	5 d	15 b	44 b
	T13		73 b	42 b	11 b	14 b	43 b
CLAS	T14		75 b	36 c	11 b	12 b	42 b
	T15		78 b	46 b	11 b	11 b	46 a
	T16		84 a	64 a	8 c	8 c	44 b
F			23,10*	47,65*	18,80*	7,62**	4,00**
CV (%)			4,49	8,66	22,58	15,84	5,81
MG			68,13	36,46	9,06	15,21	44,29

** : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$)

¹Etapas de beneficiamento que resultam em material de descarte pela empresa.

²Com exceção da análise de pureza física, todas as demais avaliações de qualidade não foram realizadas para estes tratamentos devido à ausência de sementes.

³A classe 4 refere-se as sementes inviáveis, enquanto “classes 2-4” refere-se ao somatório dos danos mecânicos totais das classes 2, 3 e 4.

MVPP: Máquinas de Ventilador e Peneiras (Pré-limpeza); MVPL: Máquina de Ventilador e Peneiras (Limpeza); DENS: Mesa Densimétrica; CLAS: Máquina classificadora.

As sementes sem danos apresentaram uma redução estatisticamente significativa ao longo das diferentes etapas de beneficiamento, quando comparadas às amostras que não foram descartadas antes da máquina classificadora (T1, T8 e T10) (Tabela 3). Essa tendência sugere a possibilidade de danos causados pelo próprio processo de beneficiamento, pois numericamente nenhuma amostra, exceto a descarga da peneira classificadora 1 (T3), que é descartada, apresentou um resultado superior ao da moega (T1).

Quanto às sementes inviáveis devido a danos mecânicos (Classe 4), observa-se uma redução estatisticamente significativa ao longo do processo de beneficiamento, chegando à última peneira, de 9,0 mm (T16), com apenas 8% de sementes inviáveis.

Em relação aos danos mecânicos totais (Classes 2-4), os resultados estatisticamente superiores foram observados na descarga da peneira classificadora 1 (T6), descarga das sementes limpas (T8), descarga inferior (T9), descarga intermediária (T11) e peneira de 8,5 mm (T15), com médias variando entre 46 e 48%.

De forma geral, as amostras T14, T15 e T16, correspondentes às peneiras de 8,0 mm, 8,5 mm e 9,0 mm, respectivamente, se destacaram, demonstrando um desempenho superior ao avaliar o conjunto das variáveis.

Foram estudadas diversas variáveis, dessa forma, para melhor extração dos resultados, foi realizada uma análise multivariada, nisso constata-se uma variância total acumulada de 87,14% e de 69,69% no componente principal 1 e de 17,45% no componente principal 2 (Figura 2).

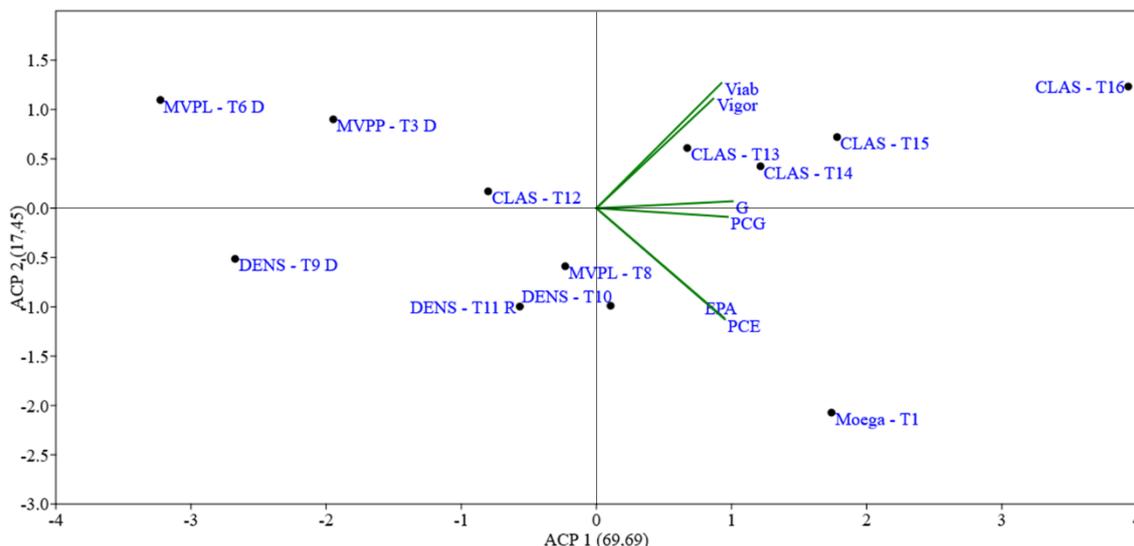


Figura 2. Gráfico biplot com a dispersão dos dois primeiros componentes principais (1 e 2) obtidos a partir da avaliação de seis caracteres relacionados a qualidade fisiológica de 12 amostras de sementes obtidas no beneficiamento de sementes de grão-de-bico, variedade Jamu 96, em que: germinação (G), primeira contagem de germinação (PCG), emergência de plântulas em areia (EPA), primeira contagem de emergência de plântulas em areia (PCE), vigor em tetrazólio (Vigor) e viabilidade em tetrazólio (Viab). MVPP: Máquinas de Ventilador e Peneiras (Pré-limpeza); MVPL: Máquina de Ventilador e Peneiras (Limpeza); DENS: Mesa Densimétrica; CLAS: Máquina classificadora.

De acordo com a qualidade das amostras estudadas, verifica-se pela sua distribuição que aquelas amostras oriundas da máquina de classificação e a amostra da moega, apresentaram qualidade superior em relação as demais amostras. As sementes da moega também apresentaram boa qualidade, visto que é o local em que todas as sementes se encontram. A amostra oriunda da classificadora de 6,0 mm (T12), é composta por sementes menores, e algumas são mal formada, por essa razão, são de qualidade inferior, como verificado pela distância do ponto dessa amostra com os autovetores de qualidade do lado oposto. Além disso, vale ressaltar que as amostras de descarte (T3, T6 e T9) foram as amostras de pior qualidade fisiológica (considerando os pontos de coleta que apresentaram sementes). Com isso, pode-se afirmar que o beneficiamento funcionou para seleção de sementes que melhor qualidade fisiológica.

Conforme exposto na figura 3, observa-se que há uma correlação positiva entre o tamanho das sementes e sua qualidade fisiológica, evidenciada pela coloração mais intensa no mapa, das sementes retidas na mesa densimétrica e pelos padrões semelhantes de germinação e viabilidade. As sementes retidas na mesa densimétrica de 6 mm demonstraram menor germinação e vigor pelos resultados dos testes de primeira contagem de germinação, emergência de plântulas em areia e vigor pelo teste de tetrazólio.

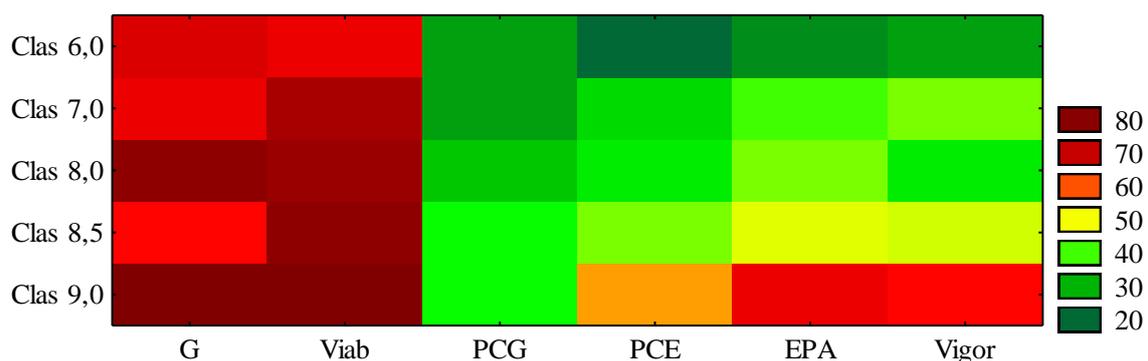


Figura 3. Mapa de calor das variáveis de qualidade fisiológica (germinação – G, viabilidade em tetrazólio – Viab, primeira contagem de germinação – PCG, primeira contagem de emergência – PCE, emergência de plântulas em areia – EPA, vigor em tetrazólio – Vigor) das sementes na saída da máquina classificadora (Clas) nos tamanhos de 6; 7; 8; 8,5; e 9 mm.

Conclusões

A qualidade fisiológica do lote de sementes de grão-de-bico é melhorada principalmente na mesa densimétrica e máquina classificadora, ao separar as sementes por peso específico e por diâmetro.

Há relação direta entre o peso específico e a qualidade fisiológica das sementes de grão-de-bico.

Esse modelo de beneficiamento necessita de ajustes devido à alta ocorrência de sementes de outras espécies na máquina classificadora.

As peneiras mais adequadas em função da qualidade de sementes de grão-de-bico são 8,0 e 8,5 mm, conforme adotado pela Fazenda AgroGarbanzo.

Sementes menores apresentam qualidade fisiológica inferior.

Referências

ALEXANDRE, A. D.; SILVA, W. R. Mesa gravitacional e qualidade fisiológica e sanitária de sementes de ervilhaca-comum (*Vicia sativa* L.). **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.1, p.167-174, 2001.

ALMEIDA, T.L.; CAPILHEIRA, A.F.; ARAÚJO, J.C.; SCHEUNEMANN, L.C.; PANOZZO, L.E. Qualidade de sementes de soja beneficiadas em mesa de gravidade. **Enciclopédia Biosfera**, v.13, n.23, p.1097, 2016.

ARTIAGA, O.P.; SPEHAR, C.R.; BOITEUX, L.S.; NASCIMENTO, W.M. Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.1, p.102-109, 2015.

AVELAR, R.I.S.; COSTA, C.A.; BRANDÃO JUNIOR, D.S.; PARAÍSO, H.A.; NASCIMENTO, W.M. Production and quality of chickpea seeds in different sowing and harvest periods. **Journal of Seed Science**, v.40, n.2, p.268-249, 2018.

BEZERRA, A.A.C.; NEVES, A.C.; NETO, F.A.; JUNIOR, J.V.S. Morfofisiologia e produção de feijã-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, v.27, n.4, p.135–141, 2014.

BRAGA, N.R.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R.F. Comportamento de cultivares de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) na microrregião de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v.44, n.255, p.577-591, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. MAPA/ACS, 2009. 399 p.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, da Indústria e Comércio Exterior-MDIC/COMEX. **Exportação e importação geral**. 2019. Disponível em: <<http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>> Acesso em: 16 abr. 2021.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. FUNEP, 2012. EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pesquisa brasileira desenvolve grão-de-bico voltado ao mercado asiático. 2017.

ETCHEVERRIA, B.B. **Qualidade de sementes de soja durante as etapas do beneficiamento**. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, 2016.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations, Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de grão-de-bico**, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations. Área colhida, rendimento e produção nos principais países produtores de grão-de-bico**. 2019. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

FARIAS, R; FIANT, S.E.; AUGUSTO, G.; MERIGGIOLA, P.N.; RIVARA, L.A.C.; ALDALUR, A.L.; ALONSO, C.A.; SPINAZZÉ, C.D.; PEREZ, M.C.; TROCCOLI, J.L.R. **La cadena de valor del garbanzo en Córdoba**. Bolsa de Cereales de Córdoba. Ed. 1, 2018.

FERREIRA, A.C.P.; BRAZACA, S.G.C.; ARTHUR, V. Alterações químicas e nutricionais do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) cru irradiado e submetido à cocção. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.26, n.1, p.80-88, 2006.

FERREIRA, R.L.; SÁ, M.E. Contribuição de etapas do beneficiamento na qualidade fisiológica de sementes de dois híbridos de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.4, p.99-110, 2010.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A. Plantas de alto desempenho e a produtividade da soja. **SEEDNews**, v.16, n.6, p.8-11, 2012.

FRANÇA NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Embrapa Soja, 2016. 30p.

GASPAR, C.M.O; MARTINS, C.C.; NAKAGAWA, J.; TOMAZ, C.A. Manutenção da umidade do substrato durante o teste de germinação de *Brachiaria brizantha*. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.3, p.52-60, 2007.

GAUR, P.M.; JUKANTI, A.K.; VARSHNEY, R.K. Impact of genomic technologies on chickpea breeding strategies. **Agronomy**, v.2, n.1, p.199-221, 2012.

HESSEL, C.L.E.; VILLELA, F.A.; AUMONDE, T.Z.; PEDÓ, T. Mesa densimétrica e qualidade fisiológica de sementes de brachiária. **Informativo ABRATES**, v.22, n.3, p.73-76, 2012.

HOSKEM, B.C.S. **Época de plantio de grão-de-bico em montes claros, minas gerais: produtividade e qualidade de sementes**. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2014.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS - ICRISAT. **Chickpea**. 2017. Disponível em: <<http://www.slideshare.net/icrisatsmco/study-reveals-pulses-as-important-sourceof-protein-in-india>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS - ICRISAT. **Riding High on Chikpea's Growth**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2XgZ7WC>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; NENNING, A.A.; COSTA, N.P. da. **O controle de qualidade agregando valor à semente de soja**. Embrapa Soja, 2008.

LEWIS, G.; SCHRINE, B.; MACKINDER, B.; LOCK, M. **Legumes of the world**. Royal Botanic Gardens, Kew. 2005.

LOPES, M.M.; PRADO, M.O.D.; SADER, R.; BARBOSA, R.M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.230-238, 2011.

LORENSET, A.; RADKE, A.K.; POSSENTI, J.C.; VILLELA, F.A. Qualidade das sementes de soja das frações e do repasse beneficiadas na mesa de gravidade. **Revista Colloquium Agrariae**, v.13, n.3, p.132-137, 2017.

MANARA, W.; RIBEIRO, N. D. Grão-de-bico. **Revista Ciência Rural** [online], v.22, n.3, p.359-365, 1992.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2. ed., ABRATES, 2015. 660p.

MELO, L.F.; MARTINS, C.C.; SILVA, G.Z., BONETI, J.E.B.; VIEIRA, R.D. Beneficiamento na qualidade física e fisiológica de sementes de capim-mombaça. **Revista Ciência Agronômica**, v.47, n.4, p.325-330, 2016.

MOHAMMADI, G.; JAVANSHIR, A.; KHOOIE, F.R.; MOHAMMADI, S.A.; SALMASI, S.Z. Critical period of weed interference in chickpea. **Weed Research**, v.45, n.1, p.57-63, 2005.

NASCIMENTO, W.M.; ARTIAGA, O.P.; BOITEUX, L.S.; SUINAGA, F.A.; REIS, A.; PINHEIRO, J.B., SPEHAR, C.R. **BRS Aleppo: grão de bico**. Maior tolerância a fungos de solo. Embrapa Hortaliças, 2014. Disponível em: <<https://bit.ly/2H2oRR1>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

NASCIMENTO, W.M.; PESSOA, H.B.S.V.; GIORDANO, L.B. **Cultivo do grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**. Embrapa Hortaliças, 1998. 11 p.

NASCIMENTO, W.M.; SILVA, P.P. **Grão-de-bico: nova aposta do agronegócio brasileiro**. SEEDNews, edição XXIII, 2019. Disponível em: <<https://seednews.com.br/artigos/2969-grao-de-bico-nova-aposta-do-agronegocio-brasileiro-edicao-maio-2019>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

NASCIMENTO, W.M.; SILVA, P.P.; ARTIAGA, O.P.; SUINAGA, F.A. **Hortaliças leguminosas**. Edição 1. Embrapa Hortaliças, 2016.

NASCIMENTO, W.M.; SUINAGA, F.A.; BOITEUX, L.S.; PINHEIRO, J.B., ARTIAGA, O.P. **BRS Cristalino: grão-de-bico**. Nova cultivar de grão-de-bico de dupla aptidão. Embrapa Hortaliças, 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2EfS33J>>. Acesso em: 16 abr. 2023.

PÁDUA, G.P.; ZITO, R.K.; ARANTES, N.E.; FRANCA NETO, J. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3, p.9-16, 2010.

PANDE, S.K.H.M.S.; KISHORE, G.K. Ascochyta blight of chickpea: Biology, pathogenicity, and disease management. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.56, [s.n.], p.317-332, 2005.

PARAÍSO, H.A.; BRANDÃO-JUNIOR, D.S.; AVELAR, R.I.S.; COSTA, C.A.; GOMES, L.S.P.; NASCIMENTO, W.M. Ajustes na metodologia do teste de tetrazólio para avaliar a qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico. **Journal Seed Science**, v.41, n.1, p.7-12, 2019.

PEREIRA, C. E.; ALBURQUERQUE, K. S.; OLIVEIRA, J. A. Qualidade física e fisiológica de sementes de arroz ao longo da linha de beneficiamento. **Semina: Ciências Agrárias**, v.33, n.1, p.2995-3002, 2012.

POPINIGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977.

ROORKIWAL, M.; RATHORE, A.; DAS, R.R.; SINGH, M.K.; JAIN, A.; SRINIVASAN, S.; GAUR, P.M.; CHELLAPILLA, B.; TRIPATHI, S.; LI, S.; HICKEY, J.M.; LORENZ, A.; SUTTON, T.; CROSSA, J.; JANNINK, J.; VARSHNEY, R.K. Genome-enabled prediction models for yield related traits in chickpea. **Frontiers in plant science**, v.7, [s.n.], p.1666-1670, 2016.

SANTIAGO, C.M.; BRESEGHELLO, H.C.P.; FERREIRA, C.M. **Coleção 500 perguntas e 500 respostas – Arroz**. 2 ed. Rev. ampl. Embrapa, 2013.

SHAH, S. M. S.; ULLAN, F.; MUNIR, I. Biochemical characterization for determination of genetic distances among different indigenous chickpea (*Cicer arietinum* L.) varieties of North-West Pakistan. **Brazilian Journal of Biology**, v.81, n.4, p.977-988, 2021.

SINGH, F.; DIWAKAR, B. Chickpea Botany and Production Practices. ICRISAT. 1995. 64p.

SINGH, K.B. Chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Field Crop Research**, v.53, n.1, p.161-170, 1997.

ULUKAN, H.; BAYRAKTAR, N.; KOÇAK, N. Agronomic importance of first development of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under semi-arid conditions: I. effect of powder humic acid. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.15, [s.n.], p.203-207, 2012.

VAN DERMAESEN, L. J. G. **Origin, history and taxonomy of chickpea** In: SAXENA, M.C., SINGH, K.B. The chickpea. Oxon: CAB International U.K., 1987, cap.2, p.11-34.

VIEIRA, R.F.; RESENDE, M.A.V.; CASTRO, M.C.S. Comportamento de cultivares de grão-de-bico na Zona da Mata e Norte de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v.17, n.2, p.166-170, Brasília, 1999.

CAPÍTULO III

Colheita mecanizada e seus impactos nas perdas em campo e na qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo desi²

² O artigo será submetido para o Journal of Agricultural Science and Technology

Colheita mecanizada e seus impactos nas perdas em campo e na qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo desi

RESUMO: A colheita é fase crítica do processo produtivo, pois os danos mecânicos podem diminuir a qualidade física e fisiológica de sementes. O grão-de-bico é a terceira leguminosa mais consumida mundialmente e suas sementes, devido sua morfologia, são sensíveis aos danos mecânicos. Com isso, o objetivo de deste trabalho foi avaliar a qualidade de sementes e as perdas em campo de grão-de-bico do tipo desi na colheita mecânica, etapa crítica do processo de produção de sementes. Em campo, a colheita foi realizada nas rotações 200, 300 e 400 RPM e nas aberturas 1, 2 e 3, em blocos casualizados nos anos de 2020 e 2021. Em laboratório foram conduzidos os testes e determinações de qualidade física, fisiológica e bioquímica. A rotação do cilindro rotor afeta significativamente a qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo Desi, com rotações mais altas (400 RPM) resultando em danos mecânicos mais severos. A abertura entre o cilindro e côncavo desempenha um papel crítico na perda de sementes durante a colheita, com aberturas maiores levando a perdas mais substanciais. Sementes colhidas em 2021 demonstraram ser mais suscetíveis a danos mecânicos em comparação com as de 2020, destacando a importância do controle de danos durante a colheita. A análise de clorofila e carotenoides não revelou influência significativa da rotação do cilindro rotor, assim, essas variáveis não são afetadas por esse ajuste. A rotação de 300 RPM foi a que trouxe menos impactos na qualidade final das sementes de grão de bico tipo desi.

Palavras-chave: análise multivariada, *Cicer arietinum* L., germinação, perdas em campo, rotação do cilindro rotor, vigor

Mechanized harvesting and its impacts on field losses and seed quality of desi chickpeas

ABSTRACT: Harvesting is a critical phase of the production process, as mechanical damage can reduce the physical and physiological quality of seeds. Chickpeas are the third most consumed legume worldwide, and their seeds, due to their morphology, are sensitive to mechanical damage. Therefore, the aim of

this study was to evaluate seed quality and field losses of desi chickpeas during mechanical harvesting, a critical stage in seed production. In the field, harvesting was conducted at rotations of 200, 300, and 400 RPM and at openings 1, 2, and 3, in randomized blocks in the years 2020 and 2021. Laboratory tests and determinations of physical, physiological, and biochemical quality were conducted. The rotation of the rotor cylinder significantly affects the quality of desi chickpea seeds, with higher rotations (400 RPM) resulting in more severe mechanical damage. The gap between the cylinder and concave plays a critical role in seed loss during harvesting, with larger openings leading to more substantial losses. Seeds harvested in 2021 were found to be more susceptible to mechanical damage compared to those in 2020, highlighting the importance of damage control during harvesting. Analysis of chlorophyll and carotenoids did not reveal a significant influence of rotor cylinder rotation, indicating that these variables are not affected by this adjustment. The 300 RPM rotation had the least impact on the final quality of desi chickpea seeds.

Keywords: multivariate analysis, *Cicer arietinum* L., germination, field losses, rotor cylinder rotation, vigor

Introdução

Os danos mecânicos em sementes ocorrem principalmente durante a colheita mecânica, tornando essa etapa crítica e de elevada importância no processo produtivo de sementes. Esses danos reduzem a germinação, vigor, qualidade sanitária (Neve et al., 2016; Pacheco et al., 2015), rendimento da cultura (Nadimi et al., 2024) e valor de mercado (2023). Em um estudo realizado com sementes de grão-de-bico, observou-se que regulagens inadequadas na máquina reduziram cerca de sete pontos percentuais na taxa de germinação, comparado com aquelas sementes colhidas com a regulagem adequada (Dias et al., 2021).

Na colheita de sementes, o mecanismo de trilha bem ajustado, diminui perdas de sementes em campo, bem como reduz os danos mecânicos e proporciona uma correta separação dos materiais (Pacheco et al., 2015; Doddamani; Betageri, 2021; Shahbazi; Valizade; Dowlatshah, 2017). Os danos mecânicos que ocorrem na colheita podem ser imediatos ou latentes, que vão

desde apenas ruptura do tegumento até amassamento ou fratura da semente (Neve et al., 2016); e ocorrem como resultado da interação mecânica (contato) entre a semente e o maquinário (Shahbazi; Valizade; Dowlatshah, 2017).

O dano mecânico às sementes causado pelas forças de impacto é afetado por fatores como: cultivar (resistência aos danos mecânicos) (Flor et al., 2004; Kuźniar et al., 2016), velocidade e energia do impacto (Shahbazi et al., 2015), teor de água da semente (Shahbazi; Valizade; Dowlatshah, 2017), morfologia da semente e suas estruturas, e regulação da colhedeira. Quanto a regulagens, a velocidade de rotação do cilindro rotor, abertura entre cilindro e côncavo, taxa de alimentação e tipo de trilha (axial ou radial) são os principais fatores que afetam o nível de danos (Chen et al., 2020), uma vez que a trilha é a principal fonte de danos mecânicos (Chowdhury e Buchele, 1978).

Na colheita, o mecanismo de trilha e suas regulagens podem afetar a intensidade dos impactos que as máquinas provocam nas sementes (Pacheco et al., 2015), dessa forma, torna-se necessário que a colhedora seja regulada corretamente.

Em um estudo realizado com a cultura grão-de-bico, determinou-se os efeitos da velocidade do impacto e do teor de água dos grãos na porcentagem de danos físicos às sementes, os autores constataram que estes fatores são importantes, além de que, deve-se selecionar o horário de colher, ajustar a trilha e outros mecanismos da colhedeira, para limitar a velocidade de impacto das peças da máquina para 10 m/s, minimizando assim, as perdas de rendimento por grãos quebrados (Shahbazi, 2011).

Esta velocidade de impacto está relacionada a velocidade de rotação do cilindro rotor, esta por sua vez, é um parâmetro significativo que influencia no nível de danos (Chen et al., 2020). Em rotações elevadas, o grão/sememente é submetido a forças impulsivas maiores, calado pelo impacto com o cilindro, côncavo e outros grãos (Vas e Harrison, 1969). Comparado com a velocidade de rotação do cilindro rotor, a abertura entre cilindro e côncavo provoca efeito menos significativo nos danos das sementes (Chen et al., 2020). Entretanto, a diminuição dessa abertura resulta em aumento nos danos mecânicos (Špokas et al., 2008).

O grau de danos na trilha pode ser afetado pelas seguintes propriedades das sementes: tamanho, formato, teor de água e composição química da

semente - uma vez que essas propriedades afetam a interação da semente com o cilindro de debulha (Gu et al., 2019; Capeleti et al., 2005; Rybiński et al., 2013).

Tem-se verificado a necessidade de melhorar a regulagens/calibragem da máquina de colher, para maior eficiência de limpeza e redução de perdas de danos as sementes de grão-de-bico (Singh et al., 2019). Com isso, pesquisas devem ser desenvolvidas com a finalidade de mecanizar eficientemente a colheita do grão-de-bico (Singh et al., 2019). O desafio principal para os produtores dessa cultura é melhorar o seu rendimento, por meio da minimização de perdas pré-colheita e de colheita, principalmente perdas de qualidade das sementes (Cassells; Caddick, 2010).

Em sementes de grão-de-bico, a plúmula ou caule embrionário é desenvolvido na semente em repouso e fica entre seus dois cotilédones. No entanto, a radícula ou raiz embrionária está praticamente exposta, sem proteção, exceto aquela fornecida pelo tegumento, estando assim, vulnerável a quebras, especialmente com baixos teores de água.

O grão-de-bico é uma das leguminosas mais consumidas mundialmente (Makkouk, 2020). No ano de 2022 foi a terceira leguminosa com maior área plantada (14.810.916 ha) e mais produzida (18.095.248 t), ficando atrás apenas do feijão e da soja (FAOSTAT, 2024), com produtividade mundial de 1,2 t ha⁻¹. No Brasil, ainda não foram divulgados dados concretos de produção ou área plantada. Entretanto, prevê-se que o consumo per capita desse grão aumentará nos próximos anos devido seu elevado valor nutricional, além de ser fonte barata de proteína (Venkidasamy et al., 2019). Existem dois tipos de grão-de-bico – kabuli e desi. As sementes do tipo desi (abordado neste trabalho), são menores, angulares, escuras e cultivada principalmente na Ásia e África (Rachwa- Rosiak et al., 2015). No Brasil, ainda não existem campos comerciais de produção de sementes desse tipo, no entanto, a Embrapa lançou em mercado a primeira cultivar do tipo desi em 2022 (cultivar BRS Hari) e em 2023 foi lançada pela Agropecuária Garbazo a segunda cultivar brasileira tipo desi (GB Cappuccino).

A produção de sementes de qualidade é um pré-requisito importante para a produção agrícola (Doddamani; Betageri, 2021). Diante do exposto, espera-se que elevadas rotações do cilindro rotor prejudiquem a qualidade das sementes e aumentem a quantidade de perdas em campo; menores aberturas entre cilindro e côncavo proporcionam acréscimo na quantidade de sementes

danificadas. Regulagens da máquina com menores rotações do cilindro rotor e maiores aberturas entre cilindro e côncavo resultam em maiores porcentagens de vagens não trilhadas e perdas em campo. Os danos mecânicos prejudicam a germinação, proporcionando um aumento na porcentagem de plântulas anormais e sementes mortas. Dessa forma, estudos da avaliação da qualidade física, fisiológica e perdas em campo auxiliam na recomendação das regulações adequadas da colheita. De acordo com as hipóteses apresentadas, o objetivo de deste trabalho foi avaliar a qualidade de sementes e as perdas em campo de grão-de-bico do tipo desi na colheita mecânica, etapa crítica do processo de produção de sementes.

Material e métodos

O experimento foi conduzido em um campo comercial de produção de sementes de grão-de-bico do tipo Desi, no município de Cristalina, Goiás, em dois anos agrícolas: 2020 e 2021 (Figura 1). Para isso, foi utilizado uma colhedora de fluxo axial (John Deere® 9770 STS), equipada com plataforma de 12,5 metros de comprimento, ajuste automático do molinete, ventilador em 1000 RPM, duas peneiras com aberturas variando entre 17 a 20 mm, e um saca palha.

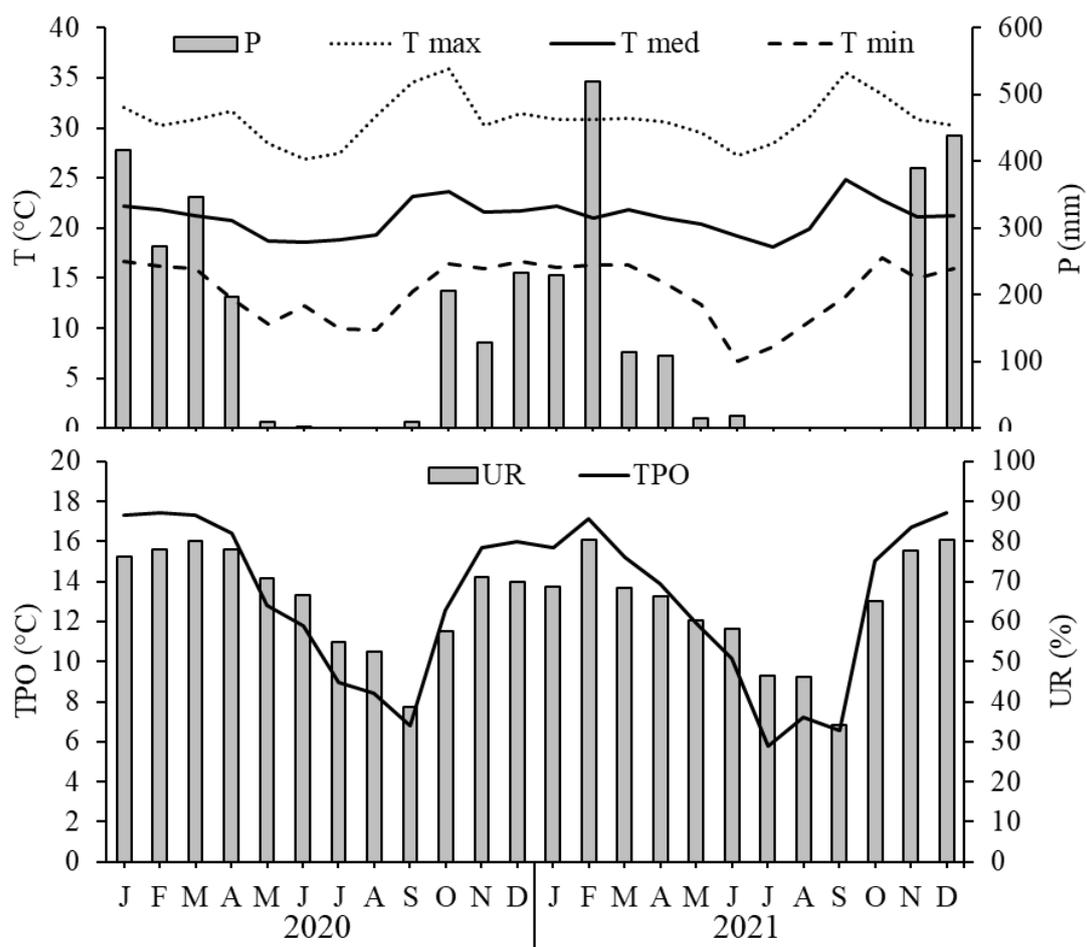


Figura 1. Temperaturas (T) máximas (max), médias (med) e mínimas (min), precipitação pluviométrica (P), temperatura do ponto de orvalho (TPO) e umidade relativa do ar (UR), de Cristalina – GO em 2020 e 2021. Fonte: Inmet (2020-2021, <https://bdmep.inmet.gov.br/>)

No campo, antes de iniciar a colheita determinou o teor de água por um determinador de umidade de grãos do modelo AL-102 ECO, utilizando a configuração de feijão-preto. Em seguida, as sementes foram colhidas em áreas de maturação homogênea, por amostragem aleatória. Não se observou perdas de sementes em campo por deiscência das vagens.

Para estabilizar o mecanismo de trilha, colheu-se as bordaduras a uma velocidade de 4 km h⁻¹ (Figura 2). Em seguida, procedeu-se com a colheita, variando as regulagens de rotações do cilindro rotor (200, 300 e 400 RPM) e as aberturas entre cilindro e côncavo (1, 2 e 3). Cada unidade de abertura corresponde a 12 mm, portanto, as aberturas utilizadas foram de 12, 24 e 36 mm, respectivamente.



Figura 2. Colhedora de fluxo axial (John Deere® 9770 STS) no campo de produção de sementes de grão-de-bico (A) e mecanismo de trilha dessa colhedora (B).

Inicialmente a colheita do bloco 1 foi conduzida com a rotação do cilindro rotor a 200 RPM, dividida em três parcelas correspondentes às aberturas 1, 2 e, por fim, 3. No mesmo bloco, entretanto, com a rotação aumentada para 300 RPM, a colheita foi realizada nas aberturas 1, seguida da 2 e, posteriormente, da abertura 3. Finalmente, com a rotação em 400 RPM, as últimas três parcelas desse bloco foram colhidas nas aberturas já mencionadas: 1, 2 e 3. Esta sequência foi repetida para os blocos 2, 3 e 4.

Cada parcela foi representada por uma área de 375 m², com cerca de 8.250 plantas, correspondentes a faixas de 16 metros de comprimento. As amostras foram obtidas na saída do cano de descarga no granelheiro da colhedora, situado próximo à cabine de controle.

Após a colheita, foram colhidas as perdas em campo e em seguida, as amostras de perdas e das sementes foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e encaminhadas ao Laboratório de Tecnologia de Sementes (LaTS) da Universidade de Brasília (UnB), onde foram armazenadas em um refrigerador a 5 °C e 50 a 60% de umidade relativa para realização dos testes e determinações.

Avaliação das perdas em campo

Perdas em campo – foi utilizado uma armação madeira com dimensões de 1,0 x 1,0 m (1 m²), disposta sobre o solo onde a máquina passou em cada regulação testada e então foram colhidas duas repetições, nessa área, as

sementes íntegras + danificadas e as vagens íntegras, as quais foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e pesados em balança analítica (0,01 g). O resultado foi expresso em kg ha^{-1} de sementes íntegras, quebradas, sementes de vagens íntegras e perdas totais.

Avaliação da qualidade fisiológica

Determinação do teor de água em laboratório antes da condução do teste de condutividade elétrica – utilizou-se o método da estufa à $105 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ por 24 horas, com quatro subamostras de 25 sementes e os resultados serão expressos em porcentagem em base úmida (Brasil, 2009).

Teste de germinação – foram utilizadas subamostras de 50 sementes por amostra, semeadas em rolos de papel, umedecidos com água destilada a 2 vezes o peso do papel seco. Os rolos foram mantidos em germinador a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ e a contagem de plântulas normais foi realizada ao oitavo dia.

Comprimento de plântulas – Foram utilizadas 4 repetições, com 10 sementes distribuídas ao longo de uma linha previamente traçada no terço superior do papel germitest, no sentido longitudinal. Os papéis foram anteriormente umedecidos a duas vezes o peso do papel seco com água destilada. As sementes foram posicionadas com o eixo hipocótilo-radícula para baixo. Após confecção e acondicionamento desses em sacos plásticos transparentes, foram mantidos na verticalmente em câmara de germinação a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ durante oito dias. Ao final deste período, com uma régua graduada em centímetro mediu-se setes plântulas aleatórias de cada rolo (Nakagawa, 1999). Os resultados foram expressos em cm plântula^{-1} .

Massa seca de plântulas – as plântulas provenientes do teste de comprimento de plântula, após remoção dos cotilédones, foram acondicionadas em saco de papel kraft e secas em estufa de circulação de ar a $65 \text{ }^\circ\text{C}$ por 72 horas. Após este período, as amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de três casas decimais (0,001 g), (Nakagawa, 1999). Os resultados foram expressos em mg plântula^{-1} .

Condutividade elétrica – foram utilizadas 25 sementes, por amostra, pesadas em balança de precisão (0,01 g) e colocadas em copos plásticos com 50 mL de água destilada e deionizada, mantidos em germinadores a temperatura de $30 \text{ }^\circ\text{C}$ e nos tempos de 1; 2; 3; 4; 5 e 6 horas de embebição, foi realizada a

medição da condutividade elétrica da solução com um condutímetro e o resultado expresso em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$ de sementes (Castilho et al., 2019). Como padrão na avaliação *ano × rotação do cilindro rotor × abertura entre cilindro côncavo* foi utilizado os resultados da condutividade elétrica avaliada com quatro horas de embebição.

Teste de tetrazólio – quatro subamostras de 50 sementes foram submetidas à pré-embebição em água em envelopes de papel toalha umedecidos com 2 vezes o peso do papel seco e mantidos a temperatura de 30 °C por 18 horas. Após este período, as sementes foram imersas em uma solução de tetrazólio a 0,1% e mantidas em câmara e no escuro a 41 °C por 6 horas. Após esse período, as sementes foram lavadas em água destilada, o tegumento foi removido e o embrião seccionado longitudinalmente. Realizou-se a avaliação interna e externa, quantificando os níveis de vigor e viabilidade (Paraíso et al., 2019).

As sementes foram classificadas como segue: Classe 1 - sementes viáveis e vigorosas, com ausência de lesões; Classe 2 - sementes viáveis e vigorosas, com lesões superficiais distantes das partes vitais; Classe 3 - sementes viáveis com lesões externas e internas menores que 50% do seu tecido de reserva, e não vigorosas com lesões no eixo embrionário que não afetaram o cilindro vascular; Classe 4 - sementes não viáveis e não vigorosas, com danos em partes vitais, comprometendo o desenvolvimento normal da plântula e/ou sementes mortas, com tecidos embrionários sem respiração, embrionário vivo com cotilédones morto e embriões necrosados ou ausentes.

Em cada classe, foram identificadas as causas da perda de qualidade fisiológica, quer seja por danos mecânicos, percevejo, umidade e/ou sementes esverdeadas (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em viabilidade (somatório das classes 1, 2 e 3) e vigor (somatório das classes 1 e 2). Ainda pelo teste de tetrazólio, com base nos dados de danos mecânicos foram expressas: porcentagem de sementes vigorosas com danos mecânicos (somatório das classes 2 e 3); porcentagem de sementes com danos mecânicos (somatório das classes 2, 3 e 4); porcentagem de sementes mortas por prováveis danos mecânicos (classes 4).

Avaliação da qualidade física

Índice de danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio – foram adicionados 25 mL de água sanitária com 5,25%, em 975 mL de água potável. Quatro subamostras de 50 sementes foram submersas na solução durante 10 minutos. Após imersão, a solução foi drenada e as sementes dispostas sobre papel toalha. Realizou-se a contagem do número de sementes que absorveram a solução, e, com base nisso, calculou-se a porcentagem de sementes danificadas, conforme metodologia descrita para soja (Krzyzanowski et al., 2004).

Pureza física – foi utilizada uma amostra de 1 kg, pesada em uma balança analítica (0,01g). Em seguida, procedeu-se a separação dos componentes com auxílio de peneiras e catação manual, que inclui sementes puras e materiais inertes (como solo, partes de plantas, sementes quebradas com tamanho inferior a 50% do seu tamanho ou sementes sem tegumento). Os resultados foram expressos em porcentagens e em massa (Brasil, 2009). Com esta mesma amostra, determinaram-se as porcentagens de sementes pequenas, vagens íntegras e sementes quebradas.

Sementes pequenas – realizou-se separação com peneira de 5,66 mm e me balança analítica foram pesadas aquelas sementes que passaram pela malha da peneira, assim sendo consideradas sementes pequenas. Os resultados foram expressos em porcentagens (Brasil, 2009).

Vagens íntegras com sementes – em 1 kg de amostra, foram catadas manualmente as vagens íntegras com sementes, em seguida foram pesadas e o resultado foi expresso em porcentagem.

Sementes quebradas ($\leq 50\%$) – utilizou-se 1 kg de sementes bruta e visualmente foram separadas as partes de sementes quebradas, com pelo menos uma dessas características: fragmento de semente inferior a 50% do tamanho original da semente; não conter o eixo hipocótilo-radícula + plúmula; e/ou não apresentar mais da metade do tegumento aderido. Após separação, o material foi pesado e o resultado foi $g\ kg^{-1}$.

Análise de clorofila e carotenoides

Foram utilizadas sementes das três rotações, porém apenas da abertura 2. No substrato areia lavada, em ambiente telado e protegido, foram semeadas 10 repetições com cinco sementes cada uma e diariamente foram irrigadas.

No 15° dia após a semeadura, coletou-se um disco de 6 mm de raio, de um folíolo da parte média de três plantas por repetição. Os três discos foram inseridos em um tubo de ensaio contendo 6 mL de metanol e permaneceram no escuro à 25 °C por 12 horas. Após esse período, alíquotas de 3 mL da suspensão foram adicionadas a cubetas de vidro para leituras no espectrofotômetro (modelo UV/VIS Lambda 25 Perkin Elmer) nos comprimentos de onda de 470, 652 e 665 nm. As quantificações de clorofila a (CCa), clorofila b (CCb), clorofila total (CT) e carotenoides foram determinadas de acordo com as equações abaixo, em que A é a absorbância no comprimento de onda utilizado (Arnon, 1949; Lichtenthaler, 1987). Os resultados obtidos foram expressos em mg mL⁻¹.

$$(a) \text{ CCa} = 15,65 (A_{665\text{nm}}) - 7,34 (A_{652\text{nm}})$$

$$(b) \text{ CCb} = 27,05 (A_{652\text{nm}}) - 11,21 (A_{665\text{nm}})$$

$$(c) \text{ CT} = \text{CCa} + \text{CCb}$$

$$(d) \text{ Carotenoides} = (1000 (A_{470 \text{ nm}}) - 1,63 \text{ CCa} - 104,96 \text{ CCb}) / 221$$

Análise estatística

Conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com quatro blocos. O arranjo experimental foi fatorial duplo (3 rotações do cilindro rotor e 3 aberturas entre cilindro e côncavo). Após a identificação de baixa influência das aberturas, os resultados foram submetidos a uma análise conjunta (3 rotações do cilindro rotor e 2 anos de colheita).

Foram realizadas análises multivariadas com padronização das variáveis em que cada uma foi transformada para ter média 0 e variância 1. Foi utilizado o método hierárquico, baseado na distância euclidiana entre os fatores para o conjunto das variáveis, com base nos grupos de Ward (HAIR et al., 2005). Assim, o conjunto inicial de variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes (ACP1 e ACP2), o que permitiu sua representação em um gráfico biplot. As análises multivariadas foram realizadas no software STATISTICA versão 7.0.

Por meio do software Agroestat, realizou-se análise de variância pelo teste F e quando os dados apresentaram normalidade, aplicou-se o teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$). Além disso, foi realizada análise de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$) no software Past versão 4.02. Devido heterogeneidade dos dados de perdas em campo, foram apresentadas apenas as médias de suas variáveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na morfologia das sementes de grão-de-bico, verificou-se sua suscetibilidade a danos mecânicos, sendo a colheita uma das etapas do processo produtivo na qual ocorrem as maiores quantidades de danos em sementes. Neste estudo, analisou-se as perdas qualitativas e quantitativas das sementes colhidas durante dois anos de produção (2020 e 2021) ao utilizar ajustes que minimizam a ocorrência desses danos mecânicos.

Perdas em campo

As perdas de sementes de grão-de-bico após a colheita mecânica variaram de acordo com a rotação do cilindro rotor, abertura entre cilindro e concavo e ano de colheita (Figura 3AB). Nos dois anos ocorreram perdas em campo principalmente de vagens e sementes íntegras; entretanto verificou-se baixa perda de sementes quebradas (Figura 3CD). Em 2021, as perdas na colheita foram aproximadamente 159% maiores do que em 2020, totalizando 315 kg ha⁻¹ de perdas totais, em comparação com os 122 kg ha⁻¹ de perdas totais registradas em 2020. Assim, no ano de 2021, as perdas foram maiores do que no ano de 2020.

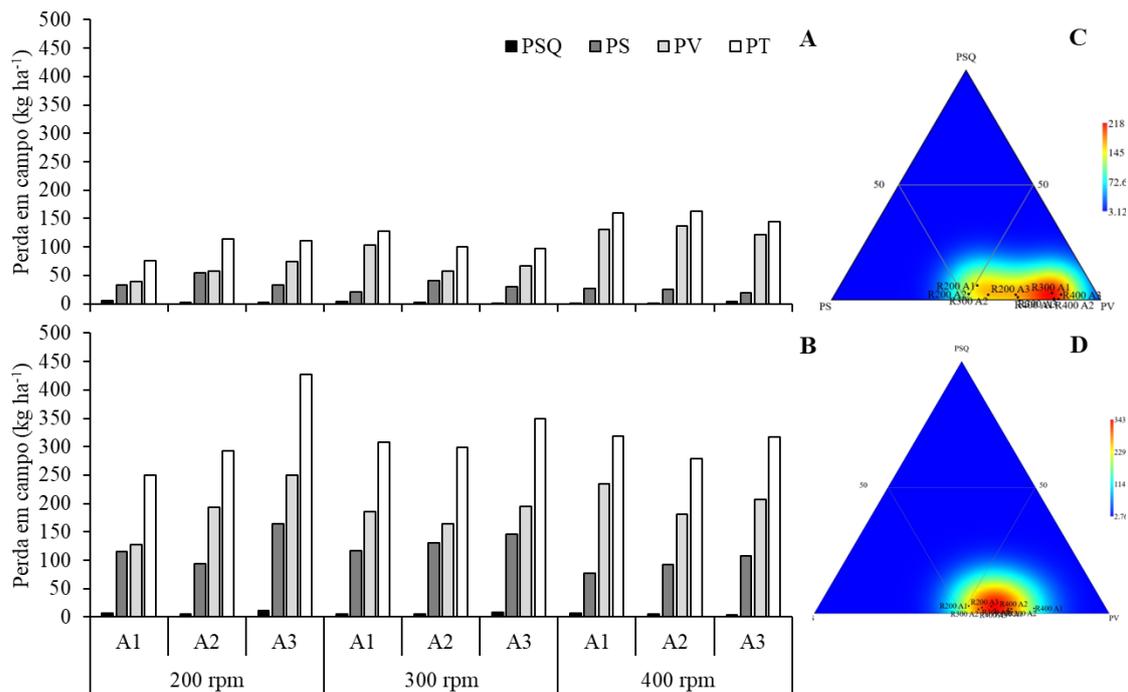


Figura 3. Médias das perdas em campo de sementes quebradas (PSQ), sementes íntegras (PS), sementes oriundas de vagens íntegras (PV) e perdas totais de sementes de grão-de-bico após colheita mecânica, nas rotações do cilindro rotor e aberturas entre cilindro e côncavo (A1, A2 e A3), em dois anos de colheita (2020 - A; 2021 - B); diagramas ternários dos valores médios de perdas em campo (2020 - C; 2021 - D).

Numericamente, na colheita de 2020, com o aumento da rotação do cilindro rotor, ocorreu um acréscimo nas perdas em campo (Figura 3). No entanto, nas rotações de 200 e 300 RPM, no ano de 2021, verificou-se maiores perdas em campo na maior abertura (3). Neste mesmo ano, com o aumento das aberturas, ocorreu um aumento de perdas. De modo geral, menores quantidades de perdas ocorreram de sementes quebradas, seguidas de perdas de semente visivelmente íntegras, vagens com sementes e, obviamente, com maiores valores de perdas totais (somatório das perdas).

Dessa forma, as perdas foram maiores com a rotação do cilindro rotor de 400 RPM em comparação com as rotações de 200 e 300 RPM. As perdas também foram maiores com a abertura 3 entre cilindro e côncavo em comparação com as demais aberturas.

O diagrama ternário permitiu observar a distribuição das amostras de perdas em campo de sementes quebradas, sementes íntegras e sementes de vagens íntegras (Figura 3CD), possibilitando verificar o valor de cada componente (variável) na composição dos alvos. Nos dois anos, as regulagens estudadas

concentraram-se mais próximas as perdas de sementes íntegras e sementes de vagens íntegras, indicando que ocorreram mais perdas de vagens e sementes íntegras. Em 2020, a rotação de 200 RPM nas aberturas 1 e 2 estão na região central ou próximas a essa região, indicando serem regulagens que proporcionaram menores perdas em campo. Entretanto, as rotações de 300 RPM na abertura 1 e 400 RPM em todas as aberturas provocaram maiores sementes de vagens íntegras, devido proximidade de cada alvo (fator) com esta componente avaliada. No ano seguinte, as perdas dos três componentes foram semelhantes devido proximidade das regulagens com a região central.

Teor de água e massa de mil sementes

O massa de mil sementes apresentou diferença significativa ($p < 0,05$). Portanto, no ano de 2021, ocorreu a produção de sementes com maior peso específico. Quanto ao teor de água, em 2020 e 2021, as sementes foram colhidas com teor de água de 9,1% e 8,0%, respectivamente. No laboratório, após armazenamento e estabilização do teor de água, antes da condução do teste de condutividade elétrica, as sementes apresentaram cerca de 10,2% em ambos os anos (Figura 4).

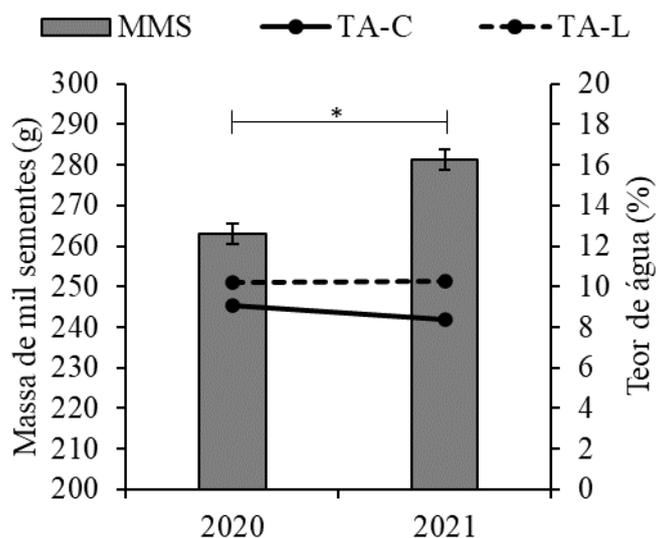


Figura 4. Teor de água das sementes após colheita, em campo (TA-C), em laboratório, antes da condução do teste de condutividade elétrica (TA-L) e massa de mil sementes (MMS) de grão-de-bico colhidas em dois anos (2020 e 2021). *significativo a 5% de probabilidade pelo teste T, compara a massa de mil sementes.

Ano × rotação do cilindro rotor × abertura entre cilindro e côncavo

As sementes colhidas em 2020 demonstraram ser mais sensíveis, visto que foram mais suscetíveis às regulagens aplicadas (Tabela 1). Nos dois anos avaliados, destaca-se maior efeito da rotação do cilindro rotor na qualidade física das sementes; sendo que somente para as sementes colhidas em 2020, se observou uma diferença significativa desse fator na qualidade fisiológica, com exceção da condutividade elétrica em 2021 ($p < 0,01$). Contudo, nota-se um efeito baixo ou nulo das diferentes aberturas entre cilindro e côncavo sobre a qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo Desi nos dois anos.

Tabela 1. Comparações de médias entre rotações do cilindro rotor (R), abertura entre cilindro e côncavo (A) e interação R×A, nas variáveis: germinação (G); comprimento de plântulas (CP); massa seca de plântulas (MSP); condutividade elétrica (CE); pelo teste de tetrazólio: vigor (VIG), viabilidade (VIA), danos mecânicos nas classes II, III e IV (DM23, DM234 e DM4); porcentagem de sementes danificadas avaliadas pelo teste de hipoclorito de sódio (HP); porção sementes puras do teste de pureza física (SP); sementes pequenas (PQ); vagens com sementes (VS) e sementes quebradas (SQ), de grão-de-bico após colheita mecânica. Nível de confiança usado: 0,95.

Variáveis	Colheita de 2020			Colheita de 2021		
	R	A	RxA	R	A	RxA
	<i>p-values</i>					
G	<u>0,0002**</u>	0,756 ^{ns}	0,673 ^{ns}	0,095 ^{ns}	0,098 ^{ns}	0,172 ^{ns}
CP	0,544 ^{ns}	0,383 ^{ns}	<u>0,033*</u>	0,755 ^{ns}	0,947 ^{ns}	0,758 ^{ns}
MSP	0,211 ^{ns}	<u>0,041*</u>	0,208 ^{ns}	0,707 ^{ns}	0,185 ^{ns}	0,298 ^{ns}
CE	<u>0,007**</u>	0,832 ^{ns}	0,572 ^{ns}	<u>0,0002**</u>	0,090 ^{ns}	0,129 ^{ns}
VIG	<u>0,006**</u>	0,365 ^{ns}	0,376 ^{ns}	0,169 ^{ns}	0,289 ^{ns}	0,244 ^{ns}
VIA	<u>0,008**</u>	0,051 ^{ns}	<u>0,029*</u>	0,863 ^{ns}	0,988 ^{ns}	0,940 ^{ns}
DM23	0,145 ^{ns}	0,344 ^{ns}	0,085 ^{ns}	0,474 ^{ns}	0,184 ^{ns}	0,258 ^{ns}
DM234	<u>0,012*</u>	0,692 ^{ns}	0,205 ^{ns}	0,259 ^{ns}	<u>0,042*</u>	<u>0,018*</u>
DM4	<u>0,013*</u>	0,055 ^{ns}	0,058 ^{ns}	0,857 ^{ns}	0,835 ^{ns}	0,713 ^{ns}
HS	<u>0,0001**</u>	0,794 ^{ns}	0,621 ^{ns}	<u>0,0001**</u>	0,317 ^{ns}	0,667 ^{ns}
SP	0,489 ^{ns}	0,105 ^{ns}	0,104 ^{ns}	<u>0,0008**</u>	0,690 ^{ns}	0,941 ^{ns}
PQ	<u>0,0001**</u>	0,933 ^{ns}	0,125 ^{ns}	<u>0,0006**</u>	0,073 ^{ns}	0,106 ^{ns}
VS	<u>0,0001**</u>	<u>0,024*</u>	0,052 ^{ns}	<u>0,0001**</u>	0,338 ^{ns}	0,306 ^{ns}
SQ	<u>0,006**</u>	0,087 ^{ns}	<u>0,002**</u>	<u>0,041*</u>	<u>0,038*</u>	0,395 ^{ns}

*significativo a 5%; ** significativo a 1%; ^{ns} não significativo pelo Teste F.

Na análise da interação entre as variáveis, observa-se diferença significativa apenas nas características de comprimento de plântula ($p < 0,05$), viabilidade pelo teste de tetrazólio ($p < 0,05$) e sementes quebradas ($p < 0,01$). Em contrapartida, para o ano de 2021, a única variável com diferença significativa

foi a porcentagem total de sementes com danos mecânicos, pelo teste de tetrazólio (DM234) ($p < 0,05$).

A rotação do cilindro rotor e da abertura entre cilindro e côncavo afetaram qualidade física e fisiológica das sementes de grão-de-bico do tipo desi, uma vez que com essa rotação ou o espaço da abertura provocou danos mecânicos nessas sementes.

Com o aumento do tempo de embebição, houve um aumento da condutividade elétrica, independente da rotação e da abertura entre cilindro e côncavo, como demonstrado pelo coeficiente de determinação igual a 98 e 99% nos fatores (Figura 5). As sementes da colheita de 2020 liberaram mais exsudatos na água do que aquelas colhidas em 2021. Pode-se afirmar que, no primeiro ano, na abertura de 1, as sementes colhidas com 400 RPM sofreram mais danos em comparação com as demais rotações. Nas aberturas 2 e 3, as rotações 300 e 400 RPM causaram mais danos do que a rotação de 200 RPM.

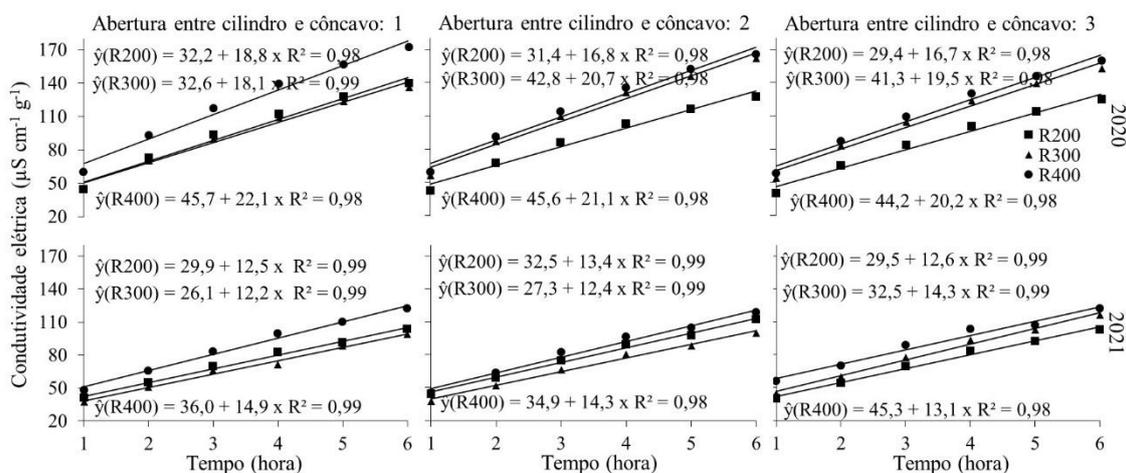


Figura 5. Condutividade elétrica avaliada por seis horas com intervalos de 60 minutos, de sementes de grão-de-bico colhidas em 2020 e 2021, e em distintas rotações (R) do cilindro rotor (200, 300 e 400 RPM), nas aberturas entre cilindro e côncavo 1, 2 e 3.

O efeito das regulagens da colhedeira nas respostas das variáveis de qualidade física e fisiológica das sementes de grão-de-bico podem ser verificados na figura 6, em que os componentes principais e agrupamento são apresentados. Como os dois primeiros componentes apresentaram a maior porcentagem de variância, foram usados para criar o biplot baseado na ACP.

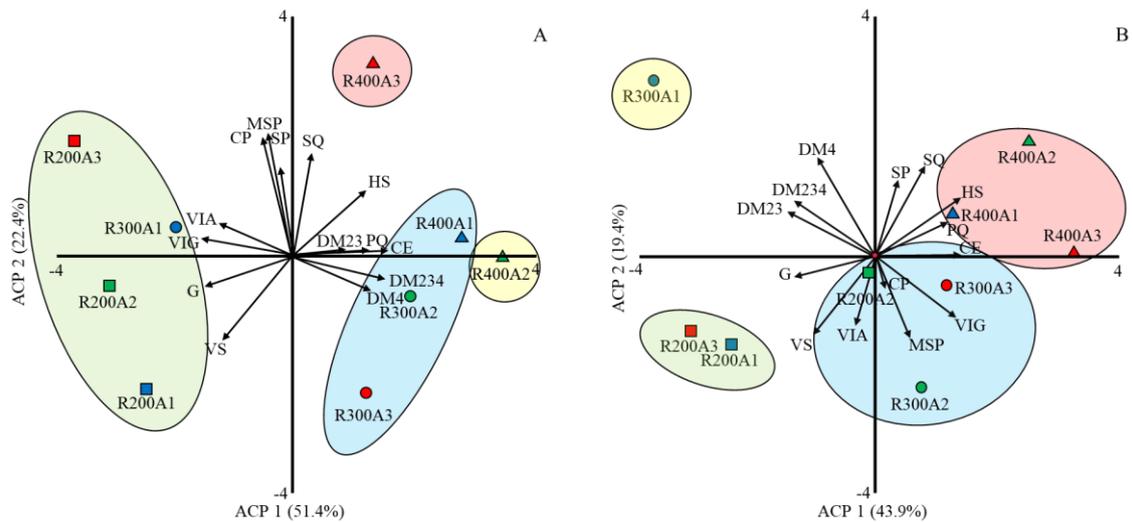


Figura 6. *Biplot* com dois componentes principais (ACP 1 e ACP 2), complementado por análise de cluster com associação das rotações do cilindro rotor (R200, R300 e R400 RPM) e aberturas entre cilindro e côncavo (A1, A2 e A3), e vetores com dados que qualidade de sementes: germinação (G); comprimento de plântulas (CP); massa seca de plântulas (MSP); condutividade elétrica (CE); pelo teste de tetrazólio: vigor (VIG), viabilidade (VIA), danos mecânicos nas classes II, III e IV (DM23, DM234 e DM4); porcentagem de sementes danificadas avaliadas pelo teste de hipoclorito de sódio (HP); porção sementes puras do teste de pureza física (SP); sementes pequenas (PQ); vagens íntegras com sementes (VS) e sementes quebradas (SQ), de grão-de-bico após colheita mecânica, nos anos de 2020 (A) e 2021 (B).

Os componentes principais 1 e 2, nas análises dos dois anos, explicaram mais de 60% de variância total (ACP 1 – 73,8%; ACP 2 – 63,3) em grupos fortemente diferenciados. Pode-se afirmar que as sementes foram prejudicadas física e fisiologicamente em maiores rotações do cilindro rotor, principalmente quando associadas a maiores aberturas entre cilindro e côncavo.

Dessa forma, conforme o biplot, as regulagens da colhedeira foram agrupadas em quatro grupos nos dois anos (I – IV). As sementes do primeiro ano foram classificadas da seguinte forma: o cluster I incluiu R200A1, R200A2, R200A3 e R300A1; o cluster II foi composto por R300A2, R300A3 e R400A1; o cluster III consistiu em R400A2; o cluster IV por R400A3. O grupo 1 está próximo aos autovetores de qualidade fisiológica (G, VIG, VIA, CP, MSP e SP) e oposto aos autovetores das variáveis de danos mecânicos (HS, DM23, DM234, DM4 e SQ). Os grupos 2 e 3 localizaram-se próximos aos autovetores desses danos mecânicos e opostos aos autovetores de qualidade fisiológica. O grupo 4 posicionou-se próximo aos autovetores de sementes quebradas e danos

mecânicos por hipoclorito de sódio; e razoavelmente próximo as variáveis de comprimento e massa seca de plântulas.

Os resultados da qualidade das sementes colhidas em 2021 seguiram padrões semelhantes aos do ano anterior. As rotações se agruparam da seguinte forma: o cluster I incluiu R200A1 e R200A3; o cluster II foi composto por R200A2, R300A2 e R300A3; o cluster III consistiu em R300A1; o cluster IV por R400A1, R400A2 e R400A3. A rotação de 200 RPM demonstrou ser menos propensa a causar danos mecânicos, uma vez que os autovetores correspondentes a esses danos se posicionaram em direção oposta a essa rotação nas 3 aberturas. Além disso, essa rotação resultou em uma maior preservação das vagens não debulhadas.

A rotação de 300 RPM associada a abertura 1 originou sementes com qualidade intermediária, devido à proximidade das variáveis de danos mecânicos pelo teste de tetrazólio para essa regulagem específica. Por fim, a rotação de 400 RPM, independente da abertura, proporcionou, com maior eficácia, a limpeza da amostra; em contrapartida, maior quantidade de sementes quebradas, devido à proximidade dessas regulagens com as variáveis de sementes quebradas, condutividade elétrica e danos mecânicos pelo teste do hipoclorito de sódio.

Ano × rotação do cilindro rotor

Ao analisar a influência da rotação do cilindro rotor, constatam-se diferenças significativas nas variáveis comprimento de plântula ($p < 0,05$), danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio ($p < 0,05$) e vagens com sementes ($p < 0,05$). O ano de colheita influenciou as seguintes variáveis: comprimento de plântula ($p < 0,01$), condutividade elétrica ($p < 0,05$), danos mecânicos (DM23 e DM234) ($p < 0,05$), danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio ($p < 0,05$) e sementes quebradas ($p < 0,01$). Na interação, apenas vigor pelo teste de tetrazólio ($p < 0,05$), porção de sementes puras ($p < 0,05$) e sementes pequenas ($p < 0,05$) apresentam diferenças significativas (Tabela 2).

Tabela 2. Comparações de médias entre rotações do cilindro rotor (R), anos de colheita (A) e interação R×A, nas variáveis: germinação (G); comprimento de

plântulas (CP); massa seca de plântulas (MSP); condutividade elétrica (CE); pelo teste de tetrazólio: vigor (VIG), viabilidade (VIA), danos mecânicos nas classes II, III e IV (DM23, DM234 e DM4); porcentagem de sementes danificadas avaliadas pelo teste de hipoclorito de sódio (HP); porção sementes puras do teste de pureza física (SP); sementes pequenas (PQ); vagens íntegras com sementes (VS) e sementes quebradas (SQ), de grão-de-bico após colheita mecânica. Nível de confiança usado: 0,95.

Variáveis	p-values		
	R	A	R x A
G	0,123 ^{ns}	0,747 ^{ns}	0,158 ^{ns}
CP	<u>0,017*</u>	<u>0,0005**</u>	0,990 ^{ns}
MSP	0,964 ^{ns}	0,080 ^{ns}	0,372 ^{ns}
CE	0,170 ^{ns}	<u>0,033*</u>	0,127 ^{ns}
VIG	0,929 ^{ns}	0,899 ^{ns}	<u>0,018*</u>
VIA	0,430 ^{ns}	0,141 ^{ns}	0,149 ^{ns}
DM23	0,924 ^{ns}	<u>0,014*</u>	0,193 ^{ns}
DM234	0,856 ^{ns}	<u>0,048*</u>	0,086 ^{ns}
DM4	0,614 ^{ns}	0,561 ^{ns}	0,303 ^{ns}
HS	<u>0,016*</u>	<u>0,012*</u>	0,751 ^{ns}
SP	0,741 ^{ns}	0,325 ^{ns}	<u>0,037*</u>
PQ	0,257 ^{ns}	0,274 ^{ns}	<u>0,026*</u>
VS	<u>0,022*</u>	0,119 ^{ns}	0,535 ^{ns}
SQ	0,079 ^{ns}	<u>0,009**</u>	0,602 ^{ns}

*significativo a 5%; ** significativo a 1%; ^{ns} não significativo pelo Teste F.

De acordo com a tabela 3, as porcentagens de vigor pelo teste de tetrazólio foram influenciadas pelas rotações conforme ano de colheita. Em 2020 foram produzidas sementes com menor qualidade, quando foram colhidas na rotação de 400 RPM.

Tabela 3. Valores médios de vigor em tetrazólio, sementes puras e sementes pequenas de grão-de-bico em função do ano de colheita e rotação do cilindro rotor.

Ano de colheita	Rotação do cilindro rotor		
	200	300	400
Vigor em tetrazólio (%)			

2020	73 aA	66 aA	57 bB
2021	63 aA	64 aA	73 aA
Sementes puras (%)			
2020	80 aA	79 bA	80 aA
2021	79 aB	84 aA	83 aA
Sementes pequenas (%)			
2020	1,6 aB	4,2 aA	3,9 aA
2021	1,4 aB	1,5 bB	3,6 aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Ao analisar o efeito da interação entre rotação e o ano de colheita, constatam-se diferenças estatísticas mínimas na variável porção sementes puras (Tabela 3). No ano de 2021, as rotações influenciaram essa variável, em que a rotação de 200 RPM resultou em apenas 79% de sementes puras por 1 kg da amostra colhida, em contraste com as demais rotações (300 e 400 RPM), que apresentaram 84 e 83%, respectivamente. Entre os anos, na rotação de 300 RPM, em 2021 houve uma colheita de sementes com maior pureza física, atingindo 84%.

Em consonância com a variável mencionada anteriormente, verifica-se que, nesta última rotação citada, em 2021, ocorreu uma colheita de menor porcentagem de sementes consideradas pequenas (1,5%), em comparação com a colheita do ano anterior nesta rotação (4,2%). Por outro lado, no primeiro ano, na rotação de 200 RPM, foram colhidas amostras com menores porcentagens de sementes pequenas; em 2021, este padrão ocorreu nas rotações de 200 e 300 RPM.

A rotação do cilindro rotor de 400 RPM ocasionou colheita de sementes com menor vigor, uma vez que produziram plântulas menores (22,5 cm plântula⁻¹). Além disso, essa rotação resultou em uma maior porcentagem de sementes danificadas (20%). Outra variável influenciada por essa fonte de variação individual foi porcentagem de vagens com sementes em 1 kg, e menor rotação (200 RPM) acarretou uma maior porcentagem dessas vagens (12%) (Tabela 4); neste caso, gerando maiores prejuízos aos produtores, visto que, em 1 tonelada corresponderiam a 120 kg de vagens sem debulhar.

Tabela 4. Valores médios de comprimento de plântula, hipoclorito de sódio e vagens com sementes, na colheita mecanizada de grão-de-bico em função da rotação do cilindro rotor.

Testes	Rotação do cilindro rotor (RPM)		
	200	300	400
Comprimento de plântula (cm plântula ⁻¹)	23,6 A	23,4 A	22,5 B
Hipoclorito de sódio (%)	10 B	12 B	20 A
Vagens com sementes (%)	12 A	8 B	5 B

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

Na colheita de 2021, a qualidade das sementes foi superior quando comparada à qualidade daquelas colhidas no ano anterior, uma vez que as sementes produziram plântulas maiores em comprimento (Tabela 4). Em contrapartida, as sementes apresentaram ser mais sensíveis a danos mecânicos quando avaliadas por meio do teste de tetrazólio, hipoclorito de sódio e massa total de sementes quebradas em 1 kg. Em 2021, 80% das sementes apresentaram algum tipo de dano mecânico. Quanto à condutividade elétrica, as sementes colhidas em 2020 liberaram mais exsudatos na solução ($120,7 \mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$).

Tabela 4. Valores médios de comprimento de plântula, condutividade elétrica, dano mecânicos (classes II e III; classes II, III e IV) em tetrazólio, hipoclorito de sódio e sementes quebradas, na colheita mecanizada de grão-de-bico em função da do ano de colheita.

Testes	Ano de colheita	
	2020	2021
Comprimento total de plântula (cm plântula ⁻¹)	21,7 B	24,8 A
Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$)	120,7 A	88,8 B
Danos mecânicos (classes II e III)	34 B	69 A
Danos mecânicos (classes II, III e IV)	50 B	80 A
Hipoclorito de sódio (%)	10 B	18 A
Sementes quebradas (g kg^{-1})	4,5 B	12,1 A

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$).

No ano de 2020, verifica-se uma correlação significativa negativa entre germinação e as variáveis: condutividade elétrica, danos mecânicos por hipoclorito de sódio e sementes pequenas. Também foi observada uma correlação significativa positiva entre a condutividade elétrica e os danos mecânicos por hipoclorito de sódio (Figura 7A). Neste mesmo ano, a rotação do cilindro rotor apresentou uma correlação positiva significativa com a condutividade elétrica, danos mecânicos por tetrazólio e hipoclorito de sódio; e uma correlação negativa significativa com a germinação, vigor, viabilidade por tetrazólio e a porcentagem de vagens com sementes (Figura 7A). No ano de 2021, as correlações entre algumas variáveis, embora menores, foram semelhantes às observadas na análise com sementes colhidas no ano anterior (Figura 7B).

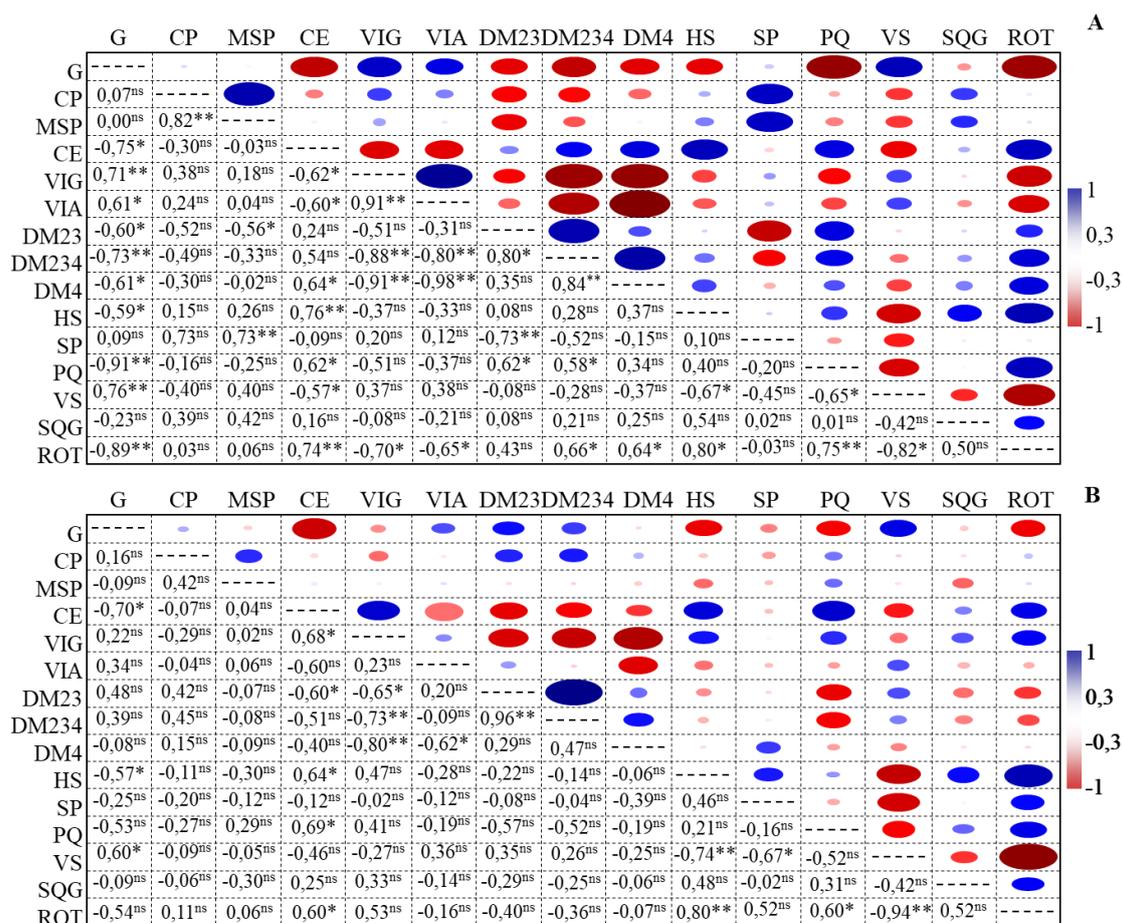


Figura 7. Análise de correlação de Pearson para germinação (G); comprimento de plântulas (CP); massa seca de plântulas (MSP); condutividade elétrica (CE);

pelo teste de tetrazólio: vigor (VIG), viabilidade (VIA), danos mecânicos nas classes II, III e IV (DM23, DM234 e DM4); porcentagem de sementes danificadas avaliadas pelo teste de hipoclorito de sódio (HP); porção sementes puras do teste de pureza física (SP); sementes pequenas (PQ); vagens com sementes (VS) e sementes quebradas (SQ), de grão-de-bico após colheita mecânica, em diferentes rotações do cilindro rotor (ROT), nos anos de 2020 (A) e 2021 (B).

Esta PCA foi utilizada para identificar o efeito das rotações do cilindro rotor nas variáveis de qualidade física e fisiológica das sementes. Os resultados da análise multivariada apenas das rotações, revelaram que apenas os dois componentes principais com autovalores maiores do que 1, representando 98% e 99% de variância total (Figura 8), nas sementes de 2020 e 2021, respectivamente. E como os dois primeiros componentes apresentaram maior porcentagem de variância, o PCA-biplot foi construído apenas com o PC1 e PC2. A PCA resultou em uma separação clara entre as rotações.

Em 2020, ao avaliar a qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo desi através da análise multivariada das rotações e variáveis de qualidade, constatou-se que a rotação de 200 RPM está associada aos autovetores de vagens com sementes e da germinação (Figura 8A). por outro lado, a rotação de 300 RPM mostrou associação com autovetores de viabilidade e massa seca de plântulas. A rotação de 400 RPM se relacionou com o autovetor de condutividade elétrica, sementes quebradas, danos mecânicos pelo teste de hipoclorito de sódio e vigor pelo teste de tetrazólio.

No ano de 2021, a rotação de 200 RPM associou-se aos autovetores de germinação, vagens com sementes, vigor e viabilidade pelo teste de tetrazólio (Figura 8B). A rotação de 400 RPM correlacionou com os autovetores de danos mecânicos por hipoclorito de sódio, sementes quebradas e condutividade elétrica. As sementes oriundas da rotação de 300 RPM permaneceu com qualidade intermediária.

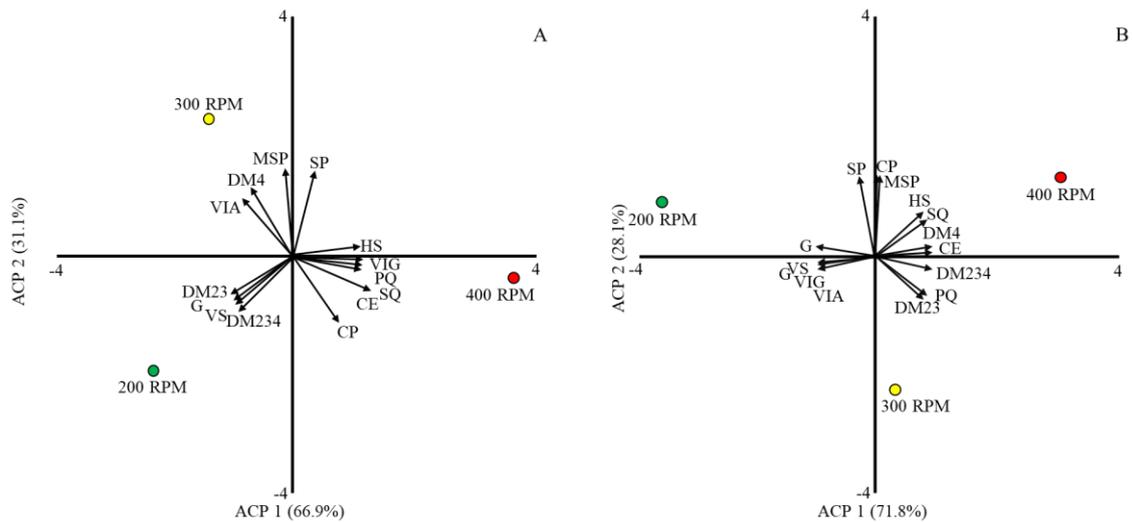


Figura 8. Biplot com dois componentes principais (ACP 1 e ACP 2), complementado por análise de cluster das rotações do cilindro rotor (R200, R300 e R400 RPM), e vetores com dados que qualidade de sementes: germinação (G); comprimento de plântulas (CP); massa seca de plântulas (MSP); condutividade elétrica (CE); pelo teste de tetrazólio: vigor (VIG), viabilidade (VIA), danos mecânicos nas classes II, III e IV (DM23, DM234 e DM4); porcentagem de sementes danificadas avaliadas pelo teste de hipoclorito de sódio (HP); porção sementes puras do teste de pureza física (SP); sementes pequenas (PQ); vagens com sementes (VS) e sementes quebradas (SQ), de grão-de-bico após colheita mecânica, nos anos de 2020 (A) e 2021 (B).

Efeito dos danos mecânicos na qualidade física e fisiológica das sementes

Um dos principais meios para determinação de danos mecânicos nas sementes de grão-de-bico do tipo desi que foi utilizado neste trabalho foi por meio do teste do hipoclorito de sódio, com isso, verificou-se que ocorreu acréscimo da condutividade elétrica das sementes com o aumento das porcentagens de sementes danificadas identificadas pelo teste de hipoclorito de sódio (Figura 9AC) e de plântulas anormais (Figura 9MR). Entretanto, com a diminuição dos danos mecânicos por hipoclorito de sódio, verificou-se acréscimo na germinação (Figura 9EG) e vigor pelos testes de tetrazólio (Figura 9I). As principais anormalidades de plântulas do presente trabalho foram: falta de parte aérea ou falta de raízes (Figura 9R).

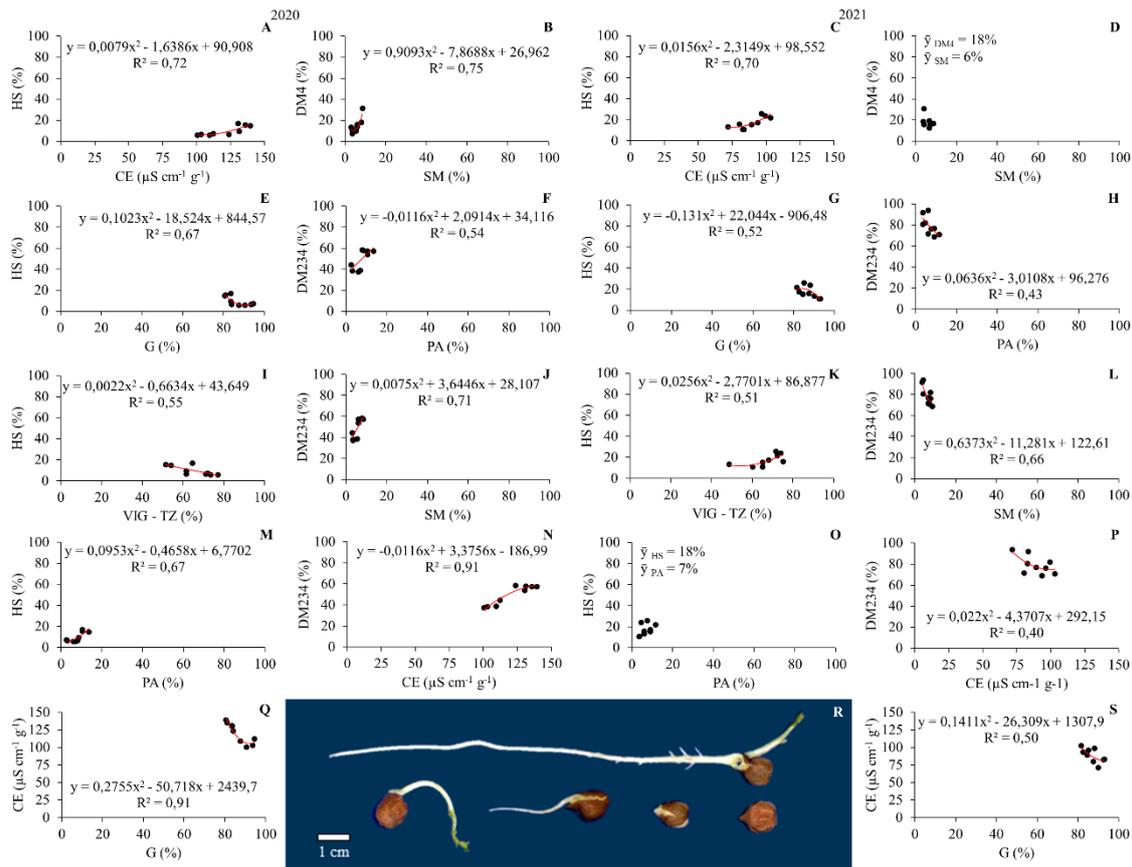


Figura 9. Análise de regressão entre as variáveis de qualidade fisiológica (germinação (G), condutividade elétrica (CE), pelo teste de tetrazólio - vigor (VIG), danos mecânicos nas classes II, III e IV (DM234 e DM4)) e física (porcentagem de sementes danificadas avaliadas pelo teste de hipoclorito de sódio (HP)), como efeito dos danos mecânicos.

Como constatado, torna-se necessário que a condutividade elétrica diminua, para que a germinação das sementes aumente (Figura 9QS). De acordo com o teste de tetrazólio, verificou-se aumento da porcentagem de sementes mortas, quando se elevou a porcentagem de sementes da classe IV, pelo tetrazólio (Figura 9B). Aquelas sementes que no teste de tetrazólio apresentaram algum dano mecânico, quando colhidas em 2020, verificou-se aumento da porcentagem de plântulas anormais (Figura 9F), sementes mortas (Figura 9J) e condutividade elétrica (Figura 9N); e aquelas colhidas em 2021, com o decréscimo dos danos, maior foram as porcentagens de plântulas anormais (Figura 9H), sementes mortas (Figura 9L) e condutividade elétrica (Figura 9P).

Análise de clorofila e carotenoide

Na análise das concentrações de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenóides, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos. Portanto, pode-se afirmar que as rotações do cilindro rotor não exerceram influência sobre essas variáveis (Figura 10). Porém recomenda-se a realização de mais estudo para averiguar a influência dos danos mecânicos sobre estas variáveis.

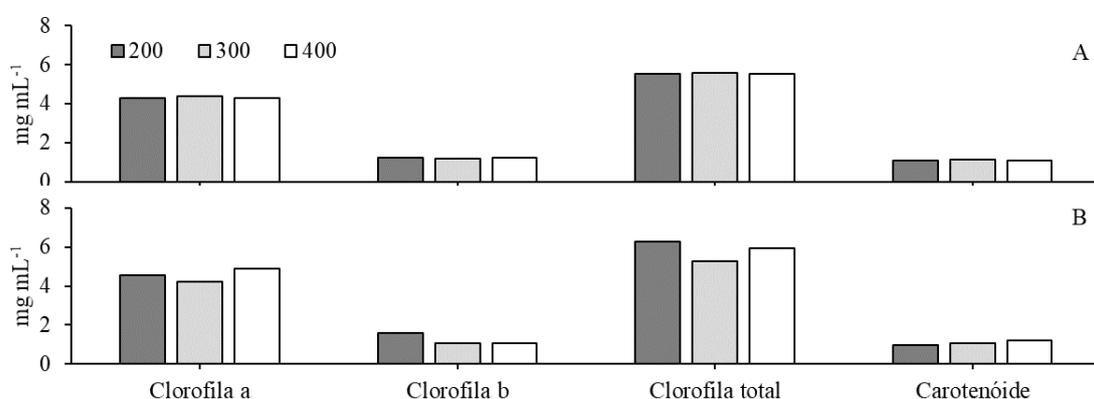


Figura 10. Média dos teores de clorofila *a*, *b* e total e carotenóides em folhas de plântulas oriundas de sementes de grão-de-bico após colheita mecânica, nas rotações do cilindro rotor 200, 300 e 400 RPM nos anos de colheita 2020 (A) e 2021 (B).

CONCLUSÕES

A rotação do cilindro rotor afeta significativamente a qualidade das sementes de grão-de-bico do tipo Desi, com rotações mais altas (400 RPM) resultando em danos mecânicos mais severos.

A abertura entre o cilindro e côncavo desempenha um papel crítico na perda de sementes durante a colheita, com aberturas maiores levando a perdas mais substanciais.

Sementes colhidas em 2021 demonstraram ser mais suscetíveis a danos mecânicos em comparação com as de 2020, destacando a importância do controle de danos durante a colheita.

A análise de clorofila e carotenoides não revelou influência significativa da rotação do cilindro rotor, assim, essas variáveis não são afetadas por esse ajuste.

A rotação de 300 RPM foi a que trouxe menos impactos na qualidade final das sementes de grão de bico tipo desi.

Referências

CAPELETI, I.; BONINI, E.A.; FERRARESE, M.L.L.; TEIXEIRA A.C.N.; KRZYZANOWSKI F.C.; FERRARESE-FILHO O. Lignin content and peroxidase activity in soybean seed coat susceptible and resistant to mechanical damage. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.27, n.1, p.103-108, 2005.

CASSELLS, J.; CADDICK, L. **Harvesting and storage of desi type chickpea, Stored Grain Laboratory, CSIRO Entomology, Australia, Caniberra**. 2010.

CHEN, C.Z.; WASSGREN, R.P.; KINGSLY, A. A review of grain kernel damage: mechanisms, modeling, and testing procedures. **Transactions of the ASABE**, v.63, n.2, p.455-475, 2020.

CHOWDHURY, M.H.; BUCHELE, W.F. The nature of corn kernel damage inflicted in the shelling crescent of grain combines. **Trans ASAE**, v.21, n.4, p.610-614, 1978.

DODDAMANI, S.S.; BETAGERI, S.N. Influence of stages of harvesting and threshing methods on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **The Pharma Innovation Journal**, v.10, n.6, p. 687-696, 2021.

FAOSTAT.. Food and Agriculture Organization. **Statistical database of the United Nation Food and Agriculture Organization (FAO) statistical division**. 2019. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

FLOR, E.P.O.; CICERO, S.M.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.68-76, 2004.

GU, R.L.; HUANG, R.; JIA, G.; YANG, Z.; REN, L.; LI, L.; WANG, J. Effect of mechanical threshing on damage and vigor of maize seed threshed at different

moisture content. **Journal of Integrative Agriculture**, v.18, n.7, p.1571–1578, 2019.

KUZNIAR, P.; SZPUNAR-KROK, E.; FUNDURA, P.; BUCZEK, J.; BOBRECKA-JAMRO, D. Physical and chemical properties of soybean seeds determine their susceptibility to mechanical damage. **Zemdirbyste-Agriculture**, v.103, n.2, p.183-192, 2016.

NADIMI, M.; DIVYANTH, L.G.; CHAUDHRY, M.M.A.; SINGH, T.; LOEWEN, G.; PALIWAL, J. Avaliação de danos mecânicos e germinabilidade em sementes de linhaça usando imagens hiperespectrais. **Alimentos**, v.13, n.1, p.68-76, 2024.

NADIMI, M.; HAWLEY, E.; LIU, J.; HILDEBRAND, K.; SOPIWNYK, E.; PALIWAL, J. Melhorando a rastreabilidade da qualidade do trigo ao longo da cadeia de abastecimento. **Revista Alimentos Seguros**, v.22, n.1, 2495–2522, 2023.

NEVE, J.M.G.; OLIVEIRA, J.A.; SILVA, H.P.; REIS, R.G.E.; ZUCHI, J.; VIEIRA, A.R. Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.11, p.1025-1030, 2016.

PACHECO, F.P.; NOBREGA, L.H.P.; LIMA, G.P.; SANTORUM, M.; BOLLER, W.; FORMIGHIERI, L. Physiological quality of soybean seeds under mechanical injuries caused by combines. **Revista Caatinga**, v.28, n.4, p.190-201, 2015.

RACHWA-ROSIK, D.; NEBESNY, E.; BUDRYN, G. Chickpeas—Composition, nutritional value, health benefits, application to bread and snacks: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.55, n.1, p.1137–1145, 2015.

RYBIŃSKI, W.; STARZYCKI, M.; RUSINEK, R.; BOCIANOWSKI, J.; SZOTB. Variation of legume seed's chemical composition and resistance to mechanical damage. **Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin**, v.268, n.1, p.193-209, 2013.

SEEMA, S.; DODDAMANI, S.; BETAGERI, S.N. Influence of stages of harvesting and threshing methods on soybean [*Glycine max* (L.) Merrill]. **The Pharma Innovation Journal**, v.10, n.6, p.687-696, 2021.

SHAHBAZI, F. Impact Damage to Chickpea Seeds as Affected by Moisture Content and Impact Velocity. **Application Engenharia Agricolae**, v.27, n.1, p.771-775, 2011.

SHAHBAZI, SHARAFI, MOOMEVANDI, DANESHVAR. Influence of foliar iron fertilization rate on the breakage susceptibility of wheat seeds. **Journal of Plant Nutrition**, v.38, n.1, p.2204–2216, 2015.

SHAHBAZI, VALIZADE, DOWLATSHAH. Mechanical damage to green and red lentil seeds. **Food Science Nutricion**, v.5, n.1, p.943-947, 2017.

SINGH, P.M.U.; GAUR, S.K.; CHATURVEDI, K.; HAZRA, K.; SINGH, G. Changing Plant Architecture and Density can Increase Chickpea Productivity and Facilitate for Mechanical Harvesting. **International Journal of Plant Production**, v.13, n.1, p.193-202, 2019.

ŠPOKAS, L.; STEPONAVIČIUS, D.; PETKEVIČIUS, S. Impact of technological parameters of threshing apparatus on grain damage. **Agronomy Research**, v.6, n.1, p.367-376, 2008.

VAS, F.M.; HARRISON, H.P. The effect of selected mechanical threshing parameters on kernel damage and threshability of wheat. **Canadian Agric. Eng.**, v.69, n.11, p.83-91, 1969.

VENKIDASAMY, B.; SELVARAJ, D.; NILE, A.S.; RAMALINGAM, S.; KAI, G.; NILE, S.H. Indian pulses: A review on nutritional, functional and biochemical properties with future perspectives. **Trends in Food Science and Technology**, v.88, n.1, p.228-242, 2019.

CAPÍTULO IV

Danificação mecânica pelo mecanismo do pêndulo na qualidade física e fisiológica de sementes de cultivares de grão-de-bico em diferentes teores de água e regiões de impacto³

³ O artigo será submetido para revista International Agrophysics

Danificação mecânica pelo mecanismo do pêndulo na qualidade física e fisiológica de sementes de cultivares de grão-de-bico em diferentes teores de água e regiões de impacto

Resumo: O grão-de-bico é uma cultura com potencial para o Cerrado brasileiro. O teste do pêndulo consiste na queda livre de um pêndulo sobre sementes, provocando danos mecânicos. O estudo investigou os efeitos da danificação mecânica por meio do teste do pêndulo na qualidade física e fisiológica de sementes de três cultivares de grão-de-bico (BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa) em diferentes teores de água e regiões de impacto. Foram realizadas análises de índice de danos mecânicos, germinação, vigor de plântulas, comprimento e massa seca de plântulas, teste de tetrazólio e condutividade elétrica. Os danos mecânicos prejudicam a qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico. As sementes de grão-de-bico da cultivar BRS Kalifa é mais resistente e aquelas da cultivar BRS Aleppo é mais sensível aos danos mecânicos. O método do pêndulo é eficiente para identificar cultivar sensível aos danos mecânicos. Danos mecânicos no eixo embrionário é altamente prejudicial para qualidade das sementes de grão-de-bico. Sementes com menores teores de água (9%) são mais sensíveis a danos mecânicos por impactos. Sementes com teores de água de 13 e 15% são mais resistentes aos danos mecânicos.

Palavras-chave: análise multivariada, *Cicer arietinum* L., danos mecânicos, germinação, vigor

Introdução

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma planta de origem asiática, adaptada a climas frios, que foi disseminada para a Índia e algumas regiões da Europa (Pande et al., 2007). É amplamente consumido como a segunda leguminosa mais comum globalmente, destacando-se como uma fonte significativa de minerais como potássio, magnésio, ferro, fósforo, cobalto e manganês, juntamente com fibras, proteínas, vitaminas e carboidratos (Ulukan et al., 2012).

O Brasil, tem sido um país importador de grão-de-bico e embora a produção nacional tenha apresentado um aumento nos últimos anos, observa-se uma tendência crescente de importação (Nascimento, 2022). Conforme apontado pela Embrapa (2017), pesquisas estão sendo conduzidas com o objetivo de alcançar a autossuficiência nacional e, eventualmente, permitir a exportação deste produto. O cultivo de grão-de-bico no Cerrado tem demonstrado potencial promissor, demonstrando respostas positivas às condições edafoclimáticas do bioma (Nascimento et al., 2017; Avelar et al., 2018).

As sementes do grão-de-bico possuem uma protuberância decorrente do crescimento do eixo embrionário (Nascimento et al., 2016), uma parte crucial e suscetível a danos mecânicos. Esses danos podem comprometer a qualidade fisiológica das sementes, resultando em uma diminuição do potencial de germinação ou contribuindo para um vigor reduzido e um desempenho inferior das sementes no campo. Isso pode levar a um estabelecimento deficiente das plântulas durante a fase inicial de cultivo, resultando em perdas subsequentes de produtividade e qualidade.

Em sementes de soja, constataram que a consequência do impacto mecânico sobre a semente de soja, varia de acordo com a posição de ocorrência do dano (Flor et al., 2004). O teste do pêndulo pode ser usado para provocar danos mecânicos em sementes (Carbonell, 1991; Carbonell et al., 1993; Carbonell; Kryzanowski, 1995).

O teste do pêndulo consiste na queda livre e controlada de um pêndulo de aço sobre sementes dispostas individualmente em alvéolos de um disco de aço. Este método aplica uma força de impacto conhecida, às sementes, permitindo a seleção de cultivares mais resistentes no contexto do melhoramento genético, e oferece insights sobre a sensibilidade e os efeitos dos danos mecânicos nas sementes. Os danos mecânicos induzidos pelo teste do pêndulo podem ser avaliados por meio de testes de germinação, classificações visuais e testes de tetrazólio.

As partes vitais das sementes de grão-de-bico são sensíveis a impactos durante o processo produtivos. Com isso, devido a relevância do assunto, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito dos danos mecânicos causados através do teste do pêndulo na qualidade física e fisiológica de sementes de

grão-de-bico, bem como identificar a resistência das sementes de cultivares aos danos mecânicos em distintos teores de água.

Material e métodos

Foram estudados três lotes de sementes colhidos manualmente na safrinha em 2022 (Tabela 1). A colheita das vagens foi realizada quando as plantas estavam completamente secas e quando as sementes estavam com cerca de 13% de teor de água. Em campo o teor de água foi mensurado com um determinador de umidade de grãos portátil. As vagens foram debulhadas e as sementes acondicionadas em sacos de papel Kraft e armazenados em ambiente resfriado até realização das análises conduzidas no Laboratório de Tecnologia de Sementes (LaTS) da Universidade de Brasília.

Tabela 1. Características dos lotes de sementes de grão-de-bico do tipo kabuli, colhidos na safra de 2022 em Brasília-DF.

Lote	Tipo	Cultivar	Safra	Local de colheita	Cidade-UF
1	Kabuli	Aleppo	2022	Fazenda Sucupira	Brasília-DF
2	Kabuli	Kalifa	2022	Fazenda Sucupira	Brasília-DF
3	Kabuli	Cristalino	2022	Fazenda Sucupira	Brasília-DF

Peso de mil sementes (PMS) – antes das sementes serem submetidos ao teste do pêndulo, determinou-se o peso de mil sementes. Foram utilizadas oito subamostras de 100 sementes pesadas em balança analítica. Os resultados foram expressos em grama (Brasil, 2009).

Teste do pêndulo - para avaliar a resistência da semente ao dano mecânico será utilizado o teste do pêndulo proposto por Carbonnel et al., (1993) em que, consiste na queda livre de um pêndulo metálico sobre sementes que estarão dispostas individualmente em alvéolos de um disco metálico, onde foi aplicada uma energia cinética que provocou danos. A energia cinética dos impactos foram calculada conforme fórmula (Burris, 1979):

$$PE = KE = w \times g \times h$$

Em que:

PE = energia potencial (joule);

KE = energia cinética (joule);
 w = massa do pêndulo (0,25 kg);
 g = aceleração da gravidade (98 ms^{-2});
 h = altura de queda livre do pêndulo (m).

Nos lotes de sementes de BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa foram colhidos em campo quando atingiram o teor de água de 16%. Após colheita das vagens, estas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e imediatamente encaminhadas ao laboratório.

Em laboratório, as vagens foram debulhadas e acondicionadas e dessecador com sílica gel e submetidas a estufa de circulação de ar até atingirem os seguintes teores de água: 9, 11, 13 e 15%.

As sementes de cada cultivar em cada teor de água foram submetidas à danificação mecânica com o pêndulo na altura de 13 cm (0,319 J). Os danos com pêndulo foram causados nas seguintes regiões: ponta (a), dorso (b) e cotilédone (c) (Figura 1).

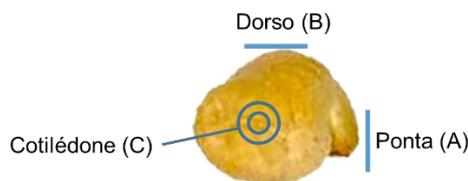


Figura 1. Semente de grão-de-bico com marcações nas regiões em que foram danificadas.

Após danificação artificial, as sementes foram avaliadas pelos testes de índice de danos mecânicos, germinação, primeira contagem de germinação, classificação do vigor de plântulas, comprimento de plântulas, massa seca de plântulas, teste de tetrazólio e condutividade elétrica.

Índice de danos mecânicos – após danificação artificial das sementes, essas foram classificadas de acordo com nível de dano mecânico (Tabela 2).

Tabela 1. Resumo dos critérios utilizados para avaliação e classificação visual de sementes de grão-de-bico danificadas pelo teste do pêndulo

Classe	Características	Semente
1	Semente sem danos (semente íntegra visualmente)	
2	Semente com tegumento danificado	
3	Semente quebrada com tamanho > 50% de seu tamanho	
4	Semente com tegumento danificado e cotilédones quebrados	
5	Semente com ponta amassada.	

Fotos: Fernandes, G.V.S. (2022)

Teste de germinação - conduzido com quatro subamostras com 25 sementes semeadas em rolo de papel germitest umedecido com água destilada, em quantidade equivalente a 2,0 vezes o peso seco do papel. Após montagem, os rolos foram acondicionados em sacos plásticos transparentes e mantidos em câmara de germinação na temperatura de 25 °C e fotoperíodo de oito horas. A contagem de plântulas normais, anormais e sementes mortas foi realizada ao 8º dia, após instalação do experimento, conforme critérios estabelecidos na RAS (Brasil, 2009).

Primeira contagem de germinação – realizado conjuntamente com o teste de germinação, com contagem das plântulas normais ao quinto dia após instalação do teste (Brasil, 2009). O resultado será expresso em porcentagem.

Classificação do vigor de plântulas - realizada conjuntamente com o teste de germinação, na contagem final, as plântulas foram avaliadas como normais ou anormais. Os resultados foram expressos em termos de porcentagem média de plântulas normais.

Comprimento de plântulas – as plântulas do teste de germinação, ao 8º dia, com uma régua graduada foram mensurados os comprimentos do ápice da raiz principal até a última inserção foliar. Os resultados foram expressos em cm plântula⁻¹.

Massa seca de plântulas – foi avaliado após serem medidas no teste de comprimento. Os cotilédones foram removidos e as plântulas foram acondicionadas em sacos de papel Kraft e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65 °C durante 48 horas, com resultados expressos em g plântula⁻¹.

Teste de tetrazólio - realizado com quatro subamostras de 25 sementes de cada cultivar, que foram pré-condicionadas em envelopes de papel Germitest, previamente umedecido com água destilada a duas vezes do seu peso seco, embalados em saco plástico e mantidos por quatro horas em câmara a 41 °C. Posteriormente, as sementes foram submetidas a uma solução de 2,3,5-trifenil tetrazólio na concentração de 0,1%, na temperatura de 30 °C em câmara de germinação com duração de seis horas no escuro (Paraíso et al., 2019).

Em seguida o tegumento foi removido e com auxílio de uma lâmina, os cotilédones foram separados transversalmente e classificados nos seguintes níveis de vigor e viabilidade (Paraíso et al., 2019): Classe I (viável e semente vigorosa); classe II (viável e semente vigorosa com lesões superficiais); classe III (viável e semente não vigorosa); e classe IV (semente não viável).

Teste de condutividade elétrica - quatro repetições de 25 sementes foram previamente pesadas e colocadas para embeber em 50 mL de água destilada e mantidas a 30 °C por 24 horas. Após este período, a condutividade elétrica da solução foi medida, e os resultados expressos em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{g}^{-1}$ (Dias; Marcos-Filho, 1996)

Delineamento experimental – foi utilizado delineamento experimental de inteiramente ao acaso com esquema fatorial duplo (3x4) em que, serão 3 cultivares (BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa) e 4 teores de água (9, 11, 13 e 15%). Estes fatores foram avaliados em cada região de impacto na semente (cotilédone, dorso e ponta).

Os dados foram analisados quanto à normalidade e homoscedasticidade e quando verificado normalidade foram submetidos à ANOVA e ao teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade e análise de regressão. Foi realizada análise multivariada de agrupamento e componentes principais para verificar relação de níveis de danos mecânicos e qualidade das sementes de grão-de-bico.

Resultados e discussão

Com base nos resultados da figura 2, observa-se que a cultivar BRS Kalifa demonstrou maior vigor, evidenciado pelos maiores valores de massa seca de plântulas, massa seca de raízes massa seca de parte aérea, bem como apresentou baixa condutividade elétrica. Por outro lado, a cultivar BRS Aleppo destacou-se pela alta condutividade elétrica e comprimento da parte aérea. Já as sementes da cultivar BRS Cristalino exibiram maior massa de mil sementes. O cultivo de grão-de-bico surge como uma excelente alternativa para o período de seca no bioma do Cerrado (Artiaga et al., 2015).

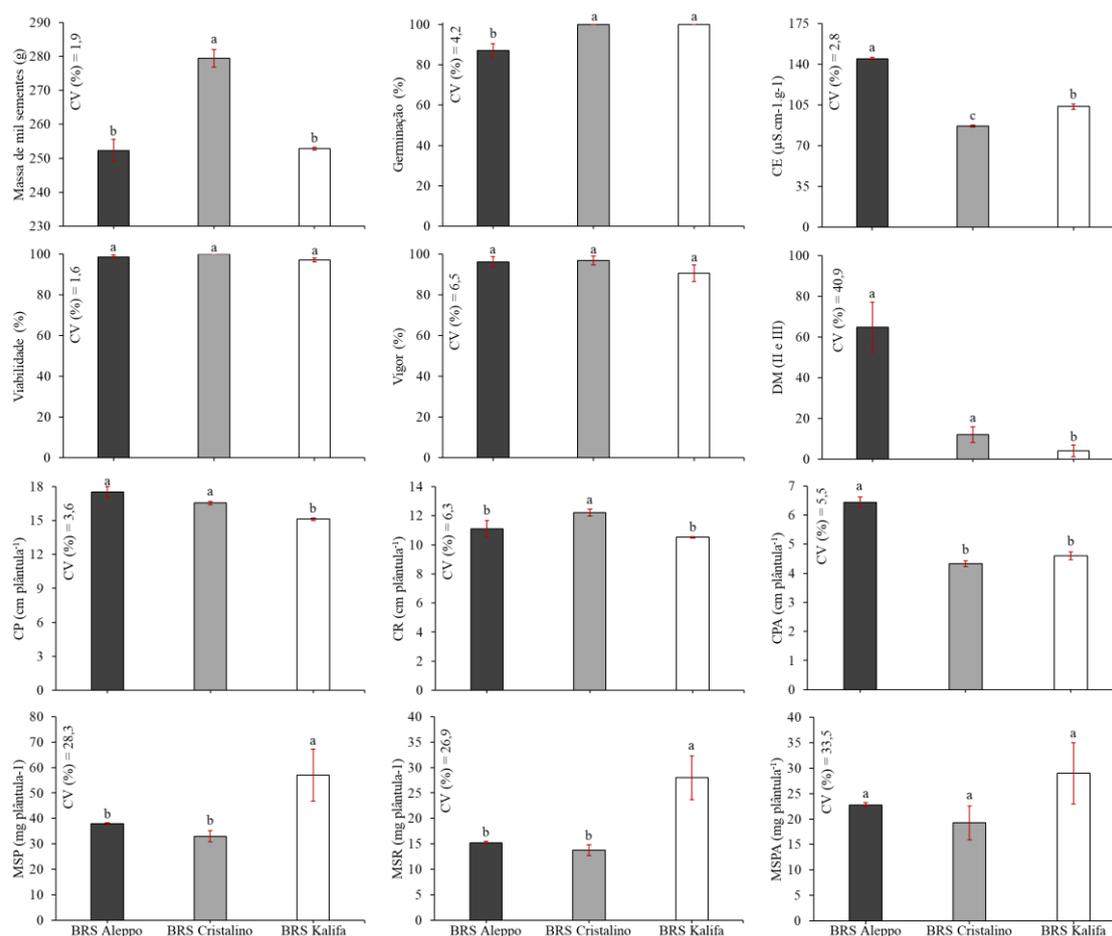


Figura 2. Qualidade física e fisiológica de sementes de grão-de-bico das cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa que não foram submetidas a danificação mecânica com o pêndulo.

Verifica-se na tabela 2 os resultados do índice de danos mecânicos em sementes de grão-de-bico das cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa, categorizadas em cinco classes distintas, de acordo com as posições de impacto do pêndulo nas sementes. Um dos grandes obstáculos enfrentados produção agrícola é a incidência de danos nos grãos/sementes, que comprometem sua qualidade e resultam em perdas consideráveis na pós-colheita (CHEN et al., 2020).

Tabela 2. Índice de danos mecânicos em sementes de grão-de-bico das cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa de acordo com 5 classes.

TA	Posição	Classes				
		1	2	3	4	5
BRS Aleppo						
15	Ponta	44 ± 3,0	4 ± 2,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	52 ± 4,0
	Cotilédone	77 ± 1,0	23 ± 1,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	75 ± 1,0	25 ± 1,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
13	Ponta	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	100 ± 0
	Cotilédone	96 ± 1,6	4 ± 1,6	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	93 ± 1,9	7 ± 1,9	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
11	Ponta	0 ± 0,0	3 ± 1,9	0 ± 0,0	0 ± 0,0	97 ± 1,9
	Cotilédone	45 ± 4,0	23 ± 4,0	8 ± 3,0	24 ± 4,0	0 ± 0,0
	Dorso	52 ± 2,8	30 ± 1,2	0 ± 0,0	18 ± 2,0	0 ± 0,0
9	Ponta	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	98 ± 1,2
	Cotilédone	38 ± 1	60 ± 2,0	0 ± 0,0	2 ± 1,0	0 ± 0,0
	Dorso	36 ± 1,6	27 ± 1,0	0 ± 0,0	37 ± 1,9	0 ± 0,0
Testemunha		100 ± 0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
BRS Cristalino						
15	Ponta	47 ± 1,9	3 ± 1,9	0 ± 0,0	0 ± 0,0	50 ± 3,8
	Cotilédone	98 ± 1,2	0 ± 0,0	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	92 ± 1,6	6 ± 1,2	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0
13	Ponta	54 ± 4,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	46 ± 4,0
	Cotilédone	100 ± 0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	92 ± 2,3	6 ± 1,2	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0
11	Ponta	18 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	82 ± 1,2
	Cotilédone	98 ± 1,2	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	85 ± 2,5	12 ± 4,3	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
9	Ponta	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	100 ± 0
	Cotilédone	69 ± 1,9	21 ± 2,5	0 ± 0,0	4 ± 2,8	6 ± 1,2
	Dorso	65 ± 1,9	30 ± 2,0	0 ± 0,0	3 ± 1,9	2 ± 0,0
Testemunha		100 ± 0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
BRS Kalifa						
15	Ponta	13 ± 2,5	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	87 ± 2,5
	Cotilédone	98 ± 1,2	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	100 ± 0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
13	Ponta	17 ± 3,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	83 ± 3,0

	Cotilédone	98 ± 1,2	2 ± 1,2	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Dorso	96 ± 1,6	4 ± 1,6	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0
	Ponta	5 ± 1,9	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	95 ± 1,9
11	Cotilédone	73 ± 2,5	16 ± 1,6	0 ± 0,0	11 ± 1,0	0 ± 0,0
	Dorso	51 ± 3,4	32 ± 2,8	0 ± 0,0	16 ± 2,8	0 ± 0,0
	Ponta	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	100 ± 0
9	Cotilédone	28 ± 3,3	67 ± 2,5	0 ± 0,0	3 ± 1,0	0 ± 0,0
	Dorso	31 ± 1,0	48 ± 2,8	0 ± 0,0	21 ± 2,5	0 ± 0,0
	Testemunha	100 ± 0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0	0 ± 0,0

Os resultados evidenciam variações significativas na incidência de danos mecânicos entre as cultivares e os diferentes teores de água (Tabela 2). Em geral, as sementes apresentaram maior vulnerabilidade à ocorrência de danos mecânicos na região da ponta, seguida pelo cotilédone e, por último, o dorso. Os menores teores de água associaram-se a uma maior incidência de danos mecânicos nas três cultivares. No entanto, a cultivar BRS Aleppo mostrou-se mais sensível aos impactos.

A análise multivariada de qualidade fisiológica das sementes de grão-de-bico das três cultivares revelou uma variância total acumulada de 83,7%, sendo 66,8% correspondente a variância do componente principal 1 e 16,9% de variância no componente principal 2 (Figura 3A). Dois grupos distintos foram formados e identificados: grupo 1, composto por sementes danificadas na ponta, das três cultivares e dos quatro teores de água, caracterizado por maiores valores de sementes mortas (DM 4) e menor qualidade fisiológica; e o grupo 2, composto pelas demais sementes danificadas e as testemunhas, caracterizado por maior qualidade fisiológica e menor quantidade de sementes mortas.

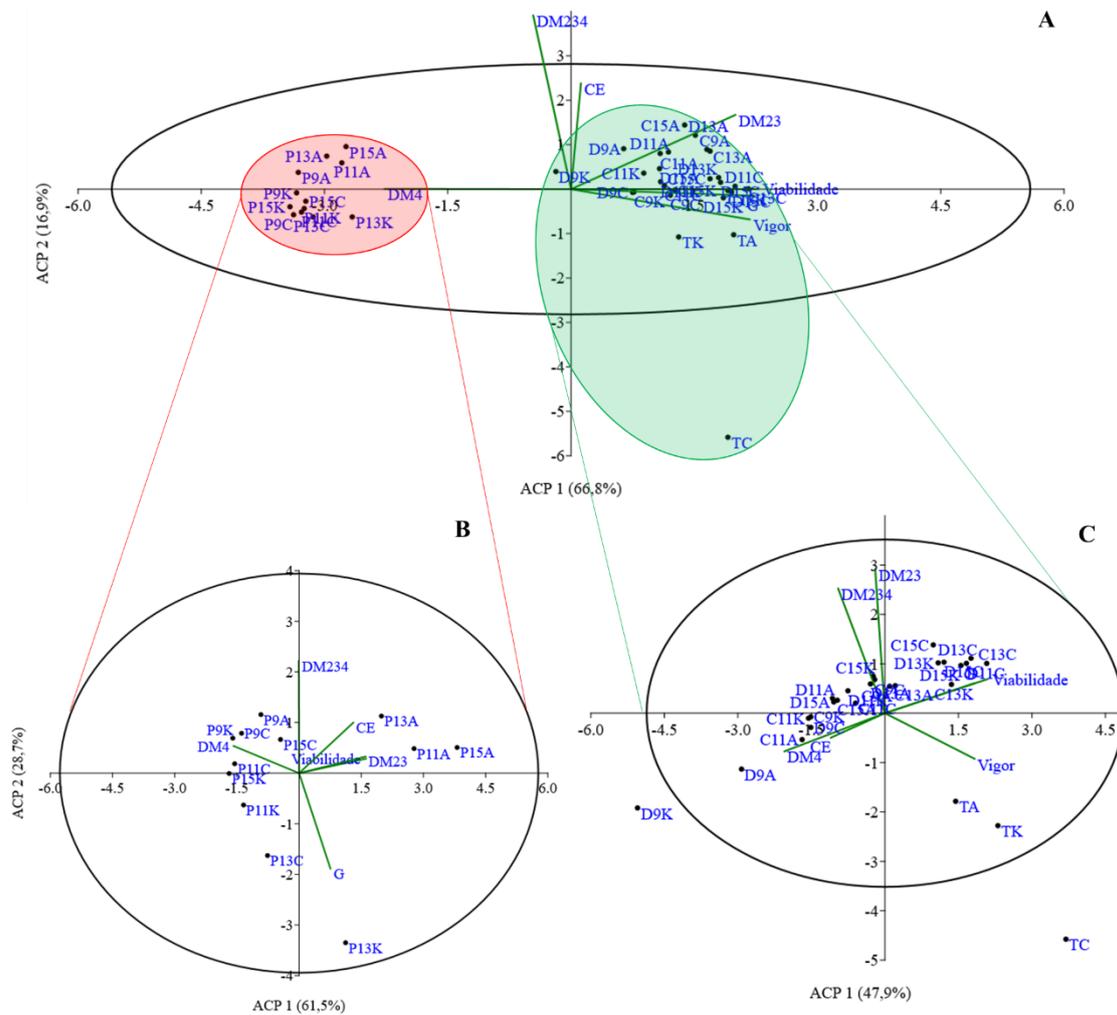


Figura 3. Gráfico biplot com a dispersão dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) derivados da avaliação de sete características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico das cultivares BRS Aleppo (A), BRS Cristalino (C) e BRS Kalifa (K). As sementes foram danificadas nas regiões do dorso (D), cotilédone (C) e ponta (P), com os teores de água de 9, 11, 13 e 15%. Os caracteres representados são: germinação (G), condutividade elétrica (CE), viabilidade, vigor, porcentagem de sementes com danos mecânicos, somando as classes II, III e IV (DM234), porcentagem de sementes vigorosas com danos mecânicos, somando as classes II e III (DM23) e porcentagem de sementes mortas por danos mecânicos, classe IV (DM4).

Os dois grupos foram fortemente e claramente separados, resultando na apresentação da análise de componentes principais individuais para cada grupo (Figura 3BC). Sementes danificadas na ponta com um teor de água de 9% demonstraram maior sensibilidade aos danos mecânicos, evidenciado pela

proximidade desses lotes com o autovetor de danos mecânicos IV (DM4) esua posição oposta em relação aos autovetores de qualidade fisiológica (Figura 3B). As sementes não danificadas (testemunha) exibiram maior vigor, enquanto as sementes danificadas com 9% de teor de água apresentaram maiores porcentagens de danos mecânicos (DM4) e condutividade elétrica.

Ao analisar o fatorial duplo cultivar × teor de água, constatou-se que a germinação e a condutividade elétrica avaliadas quando danificadas nas três regiões apresentaram diferença significativa. Quando danificadas no dorso, as sementes das cultivares BRS Cristalino e BRS Kalifa mostraram maior porcentagem de germinação com teores de água entre 11 e 13%. No entanto, ao serem danificadas no cotilédone, todas as cultivares apresentaram porcentagens de germinação semelhantes, enquanto a danificação na ponta resultou em uma redução da germinação para cerca de 10% em todas as cultivares. Verificou-se maior condutividade elétrica das sementes da BRS Aleppo, independentemente do teor de água e da região de impacto.

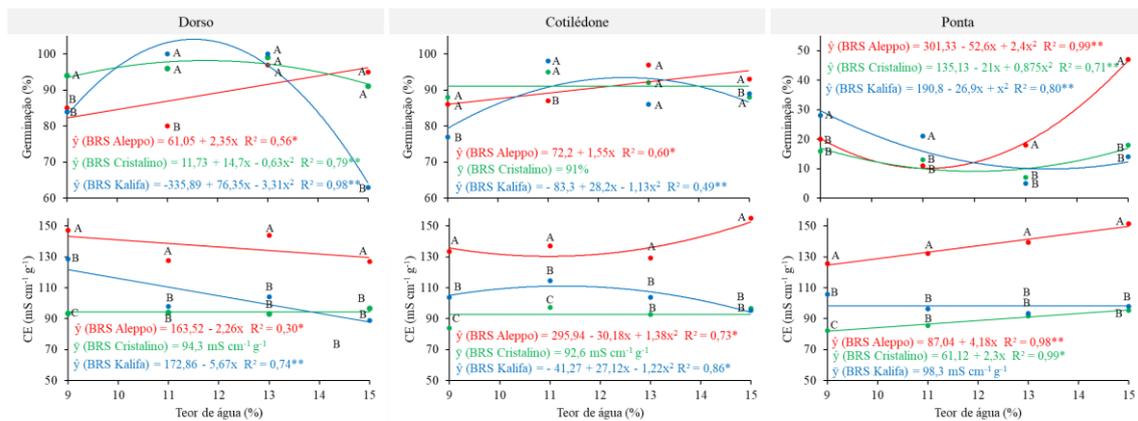


Figura 4. Análise de regressão dos teores de água em relação a germinação e condutividade elétrica (CE) de sementes de grão-de-bico danificadas nas regiões do dorso, cotilédone e ponta. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) entre as cultivares.

Os comprimentos de raízes, parte aéreas e de plântulas oriundas sementes danificadas na ponta, assim como as variáveis viabilidade, vigor e danos mecânicos II e III (DM23) quando avaliaram as sementes danificadas no dorso, apresentaram diferenças estatísticas significativas (Figura 5). No entanto,

as demais variáveis não apresentaram diferenças significativas. As sementes da cultivar BRS Kalifa produziram plântulas com maiores comprimentos de raiz, parte aérea e plântula total quando as sementes foram danificadas ao atingirem aproximadamente 11% do teor de água. Notavelmente, a viabilidade e os danos mecânicos II e III exibiram comportamento semelhante, com valores máximos em torno de 95%, das sementes com cerca de 13% do teor de água.

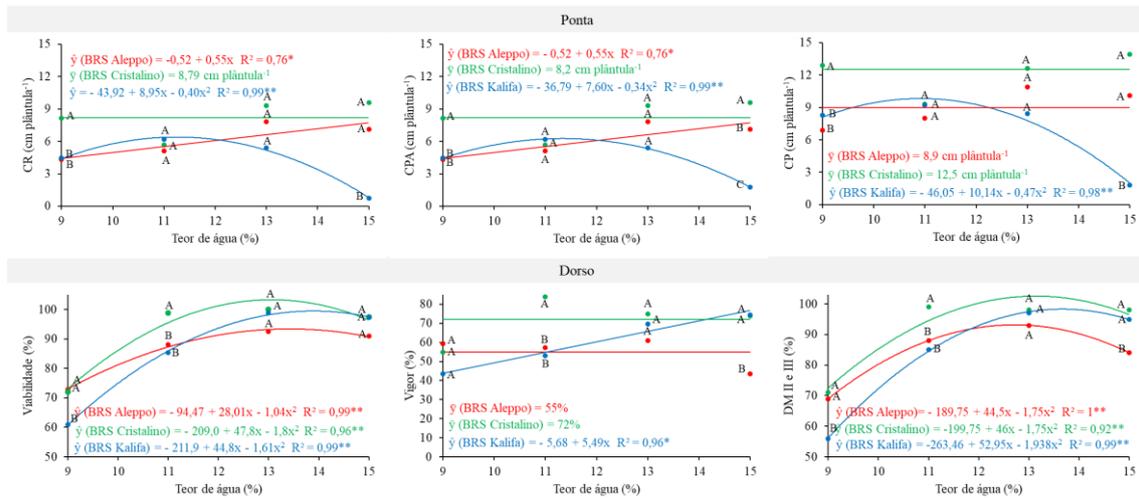


Figura 5. Análise de regressão dos teores de água em relação ao comprimento de raiz (CR), parte aérea (CPA) e plântula total (CP), vigor, viabilidade e danos mecânicos das classes II e III (DM23) em sementes de grão-de-bico danificadas nas regiões do dorso, cotilédone e ponta. As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$) entre as cultivares.

Após a análise das sementes coloridas no teste de tetrazólio, observa-se uma maior sensibilidade nas sementes provenientes da cultivar BRS Aleppo, evidenciada pela coloração de vermelho intenso (Figura 6). O tetrazólio é eficiente na avaliação de danos mecânicos em sementes de soja induzidos pelo teste do pêndulo (Carbonell; Krzyzanowski, 1995).

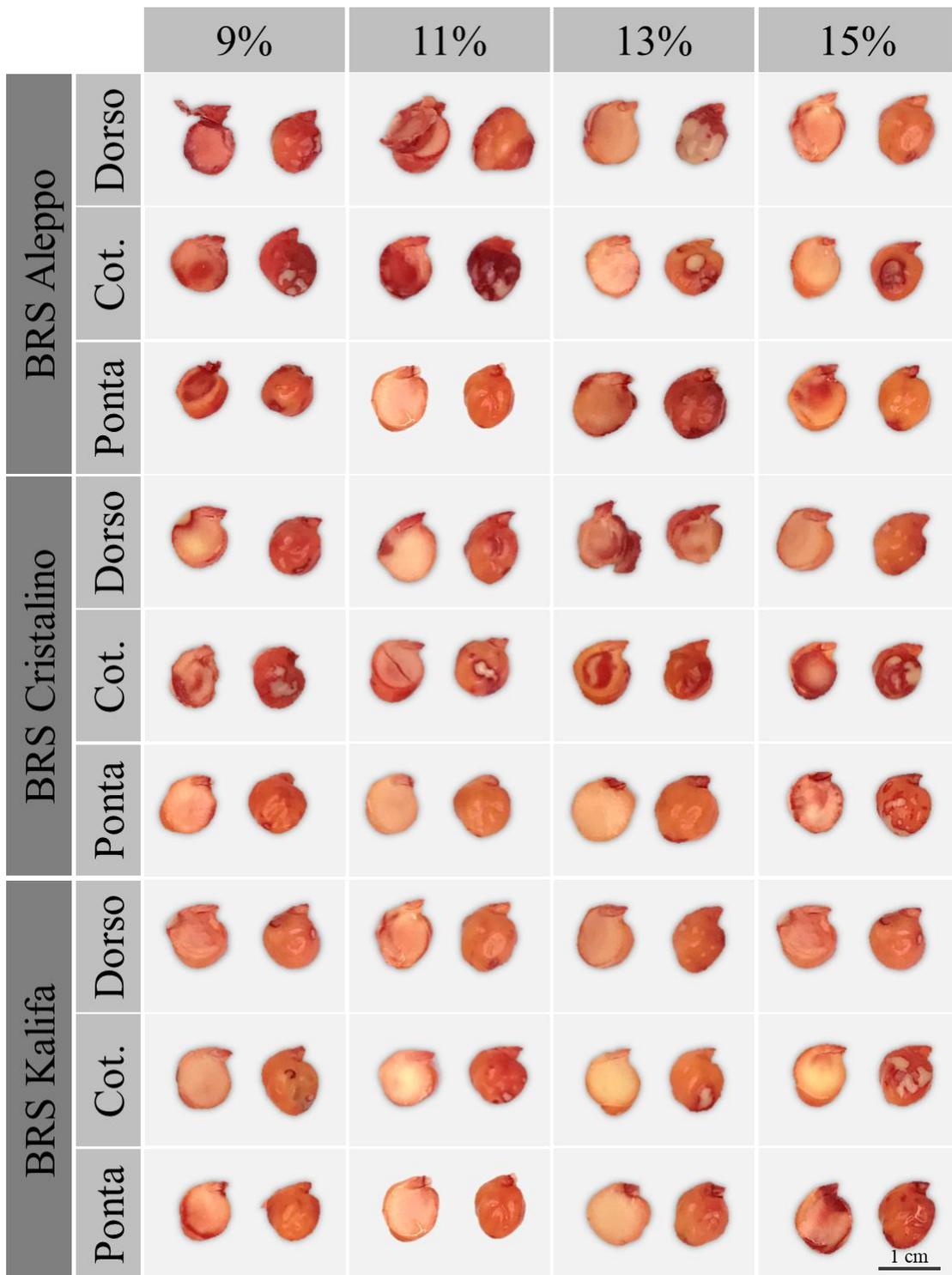


Figura 6. Sementes de grão-de-bico das cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa após danificação mecânica em cada região de contato do pêndulo com a sementes e seus teores de água, coloridas no teste de tetrazólio.

Além disso, em teores de água mais baixos, as sementes dessa cultivar apresentaram maior propensão à quebra. Em relação as três cultivares, quando

o impacto ocorreu na região da ponta, apenas essa região foi afetada, diferentemente quando o impacto ocorreu no cotilédone, que em alguns casos, prejudicou o eixo embrionário. Danos mecânicos significativos prejudicam a qualidade e reduzem o valor comercial do lote de sementes; e danos menores resultam em pouco efeito nessa qualidade, entretanto, caso ocorra em uma grande fração de sementes, podem resultar na redução da viabilidade dessas sementes (Chen et al., 2020; Sosnowski e Kuzniar, 1999).

Com o propósito de analisar os efeitos do teor de água e da região de impacto do pêndulo nas sementes, em relação às duas variáveis (ACP 1 e ACP 2) em cada cultivar, a análise multivariada mostrou-se eficaz (Figura 7). As variâncias totais acumuladas foram de 87,4; 90,3 e 82,8% para as cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa, respectivamente.

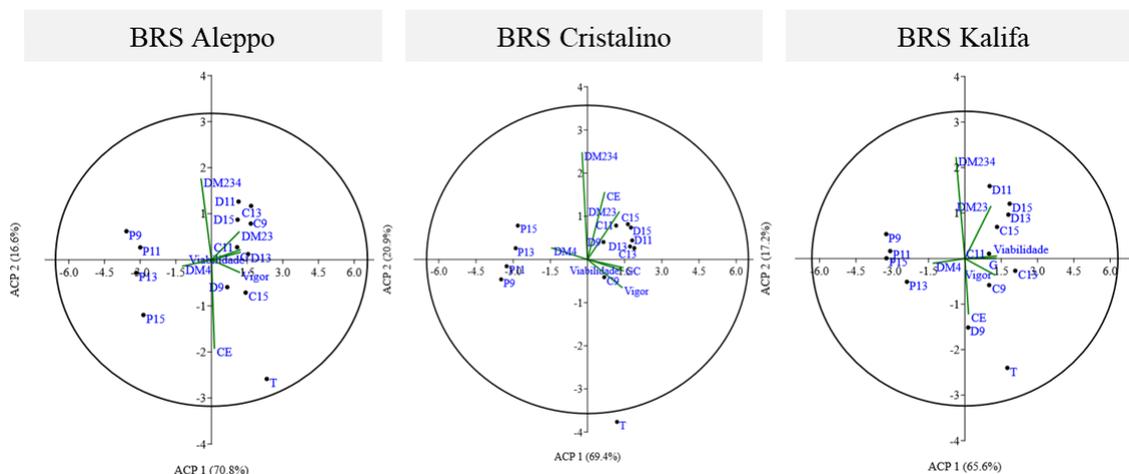


Figura 7: Gráfico biplot com a dispersão dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) derivados da avaliação de sete características relacionadas à qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico das cultivares BRS Aleppo, BRS Cristalino e BRS Kalifa. As sementes foram danificadas nas regiões do dorso (D), cotilédone (C) e ponta (P), com os teores de água de 9, 11, 13 e 15%. Os caracteres representados são: germinação (G), condutividade elétrica (CE), viabilidade, vigor, porcentagem de sementes com danos mecânicos, somando as classes II, III e IV (DM234), porcentagem de sementes vigorosas com danos mecânicos, somando as classes II e III (DM23) e porcentagem de sementes mortas por danos mecânicos, classe IV (DM4).

Em todas as cultivares, as sementes comportaram-se de maneira semelhante. Aquelas com danos na ponta encontram-se opostas aos

autovetores de germinação, vigor e viabilidade. É importante destacar que as sementes não danificadas (testemunhas) da cultivar BRS Cristalino apresentaram maior vigor e menor condutividade elétrica. Embora as sementes danificadas no cotilédono com 9% de teor de água sejam mais sensíveis, elas ainda exibem uma qualidade fisiológica adequada, devido à proximidade dos autovetores com esse lote de sementes.

O presente trabalho avaliou o efeito dos danos mecânicos em sementes a partir de teste conduzidos em laboratório, entretanto, torna-se necessário o estudo do efeito desses danos na produtividade em campo.

Conclusões

Os danos mecânicos prejudicam a qualidade fisiológica de sementes de grão-de-bico.

As sementes de grão-de-bico da cultivar BRS Kalifa é mais resistente e aquelas da cultivar BRS Aleppo é mais sensível aos danos mecânicos.

O método do pêndulo é eficiente para identificar cultivar sensível aos danos mecânicos.

Danos mecânicos no eixo embrionário é altamente prejudicial para qualidade das sementes de grão-de-bico.

Sementes com menores teores de água (9%) são mais sensíveis a danos mecânicos por impactos. Sementes com teores de água de 13 e 15% são mais resistentes aos danos mecânicos.

Referências

ARTIAGA, O.P.; SPEHAR, C.R.; BOITEUX, L.S.; NASCIMENTO, W.M. Avaliação de genótipos de grão de bico em cultivo de sequeiro nas condições de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.10, n.1, p.102-109, 2015.

AVELAR, R. I. S.; COSTA, C. A.; BRANDÃO JUNIOR, D. S.; PARAÍSO, H. A.; NASCIMENTO, W. M. Production and quality of chickpea seeds in different sowing and harvest periods. **Journal of Seed Science**, v.40, n.2, p.256-268, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Regras para análise de sementes**. MAPA/ACS, 2009. 399 p.

CARBONELL, S.A.M. **Metodologia para seleção de genótipos de soja com semente resistente ao dano mecânico**. Londrina. 1991. 103f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Londrina, 1991.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. The pendulum test for screening soybean genotypes for seeds resistant to mechanical damage. **Seed Science and Technology**, v.23, n.2, p.331-339, 1995.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C. The pendulum test for screening soybean genotypes for seeds resistant to mechanical damage. **Seed Science and Technology**, v.23, n.2, p.331-339, 1995.

CARBONELL, S.A.M.; KRZYZANOWSKI, F.C.; OLIVEIRA, M.C.N.; FONSECA-JUNIOR, N.S. Teor de água das sementes de soja e métodos de avaliação do dano mecânico provocado no teste do pêndulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.11, p.1277-1285, 1993.

CHEN, Z.; WASSGREN, C.; AMBROSE, R.P.K. A review of grain kernel damage: mechanisms, modeling, and testing procedures. **Transactions of the ASABE**, v.63, n.2, p.455-475, 2020.

FLOR, E.P.O.; CICERO, S.M.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.68-76, 2004.

INTERNATIONAL CROPS RESEARCH INSTITUTE FOR THE SEMI-ARID TROPICS - ICRISAT. **Riding High on Chickpea's Growth**. 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/2XgZ7WC>>.

NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P. **Grão-de-bico**: nova aposta do agronegócio brasileiro. SEEDnews, Porto Alegre, p. 18 - 22, 01 mar. 2019 Disponível em: <<https://www.seednews.com.br/artigos/2969-grao-de-bico-nova-aposta-do-agronegociobrasileiro-edicao-maio-2019>>. NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes**: conceitos e testes. Londrina:ABRATES. p.2.1-2.24. 1999.

NASCIMENTO, W.M. **Grão-de-bico**: crescimento do mercado externo no Brasil. Embrapa Hortaliças, 2022. Disponível em:<<https://conexaoagro.com.br/2022/02/14/grao-de-bico-crescimento-do-mercado-externo-no-brasil/>>.

NASCIMENTO, W.M.; SILVA, P.P.; ARTIAGA, O.P.; SUINAGA, F.A. **Hortaliças leguminosas**. Edição 1. Embrapa Hortaliças, 2016.

PANDE, S. K. H. M. S. e KISHORE, G. K. Ascochyta blight of chickpea: Biology, pathogenicity, and disease management. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.56, [s.n.], p.317-332, 2005.

SOSNOWSKI, S., KUZNIAR, P. Effect of dynamic loading on the quality of soybean. **Intl. Agrophysica**, v.13, n.1, p125-132, 1999.

ULUKAN, H.; BAYRAKTAR, N.; KOÇAK, N. Agronomic importance of first development of chickpea (*Cicer arietinum* L.) under semi-arid conditions: I. effect of powder humic acid. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, v.15, [s.n.], p.203-207, 2012.