

## Teste de condutividade elétrica e embebição de sementes de grão-de-bico

Letícia Betânia Xavier Dias<sup>1</sup>, Pedro Afonso de Melo Queiroz<sup>1</sup>, Lara Bernardes da Silva Ferreira<sup>1</sup>, Wilhan Valasco dos Santos<sup>1</sup>, Marco Antonio Moreira de Freitas<sup>1</sup>, Patrícia Pereira da Silva<sup>2</sup>, Warley Marcos Nascimento<sup>2</sup>, Érica Fernandes Leão-Araújo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Federal Goiano, Departamento de Agronomia, Urutaí, GO, Brasil. E-mail: leticia\_bxd@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-2935-4382); pedro.melo.100@hotmail.com (ORCID: 0000-0003-1611-606X); larabernardes.ferreira@gmail.com (ORCID: 0000-0002-2924-2850); wilhanvalasco@hotmail.com (ORCID: 0000-0002-6533-2407); marco.freitas@ifgoiano.edu.br (ORCID: 0000-0001-6718-4906); erica.leao@ifgoiano.edu.br (ORCID: 0000-0002-0978-3756)

<sup>2</sup> Embrapa Hortaliças, Brasília, DF, Brasil. E-mail: patricia.pereira@colaborador.embrapa.br (ORCID: 0000-0001-7925-9637); warley.nascimento@embrapa.br (ORCID: 0000-0002-6235-0917)

**RESUMO:** O processo de germinação tem início com a embebição, por ocasião da água disponível, a qual desencadeia uma sequência de mudanças metabólicas que culminam com a protrusão da raiz primária, em sementes viáveis. Pela organização do sistema de membranas celulares, um método que pode indicar o nível de vigor das sementes é a condutividade. Objetivou-se avaliar e modelar o processo de embebição de sementes de grão-de-bico, além de estabelecer metodologia eficiente para volume de água, tempo de embebição e número de sementes no teste de condutividade elétrica. Foram utilizados oito lotes, sendo quatro da cultivar BRS Aleppo e quatro da cultivar Cícero que foram submetidos ao teste de germinação e vigor para caracterização inicial. A condutividade elétrica foi conduzida com subamostras de 50 e 75 sementes utilizando 75 e 100 mL de água deionizada, e avaliou-se os períodos 2, 4, 8, 12, 18, 24 e 30 h, mantidas à temperatura de 25 °C. O experimento de condutividade elétrica foi em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Para cinética de embebição foi ajustado o modelo de Peleg. A metodologia mais adequada foi a utilização de 75 sementes, volume de 100 mL de água durante 30 h. O modelo de Peleg foi eficiente na descrição do processo de absorção de água, ainda que haja diferenças no potencial fisiológico dos lotes.

**Palavras-chave:** *Cicer arietinum* L.; lixiviados; metabolismo; modelo de Peleg; vigor

## Electrical conductivity test and soaking of chickpea seeds

**ABSTRACT:** The germination process begins with the imbibition, during the available water, which triggers a sequence of metabolic changes that culminate in the protrusion of the primary root into viable seeds. By the organization of the cell membrane system, a method that can indicate the level of seed vigor is the conductivity. The objective of this study was to evaluate and model the process of imbibition of chickpea seeds, in addition to establishing an efficient methodology for water volume, imbibition time and number of seeds in the electric conductivity test. Eight lots were used, four of the BRS Aleppo cultivar and four of the Cícero cultivar, which were submitted to the germination and vigor test for initial characterization. The electrical conductivity was conducted with 50 and 75 seed subsamples using 75 and 100 mL of deionized water, and the periods 2, 4, 8, 12, 18, 24 and 30 h were maintained at 25 °C. The experiment of electrical conductivity was in a completely randomized design with four replicates. The Peleg model was adjusted for imbibition kinetics. The most appropriate methodology was the use of 75 seeds, volume of 100 mL of water for 30 h. The Peleg model was efficient in describing the process of water absorption, although there were differences in the physiological potential of the lots.

**Key words:** *Cicer arietinum* L.; leachate; metabolism; Peleg model; vigor

## Introdução

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das mais importantes leguminosas cultivadas, sendo a segunda mais consumida no mundo. No Brasil, a produção é escassa, levando o país a importar a quase totalidade do que é consumido, principalmente da Argentina e México (Nascimento et al., 2016).

Um dos fatores que pode influenciar no aumento da produção e a possível autossuficiência do país é a existência de informações sobre cultivo de alta produtividade para a espécie. Um dos primeiros passos para uma produção rentável é o conhecimento adequado sobre os aspectos relacionados à disponibilidade de sementes de alta qualidade.

O grão-de-bico é uma espécie propagada por sementes e a reativação do metabolismo das sementes armazenadas se inicia com a embebição. O processo de embebição desencadeia uma sequência de mudanças metabólicas que culminam com a protrusão da raiz primária, quando se refere às sementes viáveis e não dormentes (Carvalho & Nakagawa, 2000).

Bewley & Black (1978) propuseram um padrão trifásico para a evolução do processo de absorção de água pelas sementes. No entanto, este padrão varia de acordo com a espécie vegetal considerada (Silva et al., 2018). Assim, conhecer a duração de cada fase é a base para estudos de técnicas de pré-germinação como condicionamento fisiológico, tratamento de sementes e ainda avaliar a existência de dormência em espécies vegetais.

O componente fisiológico da qualidade de sementes tem sido objeto de inúmeros estudos, em decorrência das sementes estarem sujeitas a uma série de mudanças degenerativas após a maturidade (Freitas & Nascimento, 2006). Para a determinação do potencial fisiológico dos lotes de sementes são feitos testes que podem fornecer informações sobre o resultado da interação entre o armazenamento e o vigor das mesmas.

Dentre os testes que avaliam a qualidade fisiológica das sementes pode-se destacar a condutividade elétrica (Ferreira et al., 2017; Haesbaert et al., 2017). As leituras dos valores de condutividade elétrica das soluções de imersão medem a intensidade da corrente elétrica entre dois pontos, determinada pela quantidade de lixiviados, indicando o nível de organização do sistema de membranas celulares e, indiretamente, o nível de vigor da amostra de sementes, desse modo, quanto maiores os valores, menor o vigor das sementes (Silva et al., 2014a), porém, fatores como o número de sementes, volume de água e o tempo de embebição para cada espécie, podem afetar a eficiência do teste em classificar os lotes em níveis de vigor.

Diante dessas considerações, objetivou-se com este trabalho avaliar a embebição de modo a modelar este processo, como também estabelecer metodologia eficiente no que se refere ao volume de água, tempo de embebição e número de sementes para o teste de condutividade elétrica em sementes de grão-de-bico.

## Material e Métodos

Os trabalhos foram realizados no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Agronomia do Instituto Federal Goiano, Campus Urutá. Utilizou-se oito lotes de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.), sendo quatro lotes da cultivar BRS Aleppo e quatro da cultivar Cícero. As sementes foram mantidas em sacos de papel tipo kraft e armazenadas em câmara fria (16 °C e 50-60% UR do ar) durante a condução dos experimentos.

Inicialmente os lotes foram submetidos aos testes, a seguir, para caracterização inicial:

Teor de água: determinado pelo método de estufa a  $105 \pm 3$  °C/24 h (Brasil, 2009), utilizando-se duas subamostras de aproximadamente 10,0 g de sementes de cada lote. Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida).

Peso de mil sementes (PMS): obtidos através da massa de oito repetições de 100 sementes de cada lote (Brasil, 2009), com os resultados expressos em gramas.

Germinação (G): quatro repetições de 50 sementes por lote foram distribuídas sob duas folhas de papel de germinação e cobertas com uma terceira previamente umedecidas com o equivalente, em volume de água, a 3,0 vezes o peso do substrato seco, para confecção dos rolos. Em seguida, os rolos foram colocados em germinador do tipo Mangelsdorf a temperatura constante de 20 °C durante oito dias após a semeadura, quando foram obtidos os dados de germinação final. As avaliações das plântulas foram efetuadas de acordo com os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais.

Primeira contagem (PC): conduzida juntamente com o teste de germinação das sementes, porém as avaliações foram realizadas aos cinco dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais, segundo as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009).

Emergência de plântulas em campo (EC): foram semeadas quatro repetições de 50 sementes por lote, dispostas em canteiros de terra sem adubação em linhas de 2,5 m de comprimento e espaçadas 0,5 m. A semeadura foi realizada de modo que as sementes permanecessem a 3,0 cm de profundidade, utilizando-se o sistema de irrigação por aspersão. As avaliações foram efetuadas aos 21 dias, sendo consideradas apenas as plântulas que apresentaram hipocótilo maior que 1 cm, determinando-se a porcentagem de plântulas normais emergidas.

Índice de velocidade de emergência (IVE): conduzido juntamente com o teste de emergência de plântulas em campo, com contagens a cada 72 h até o 21º dia o número de plântulas que apresentavam os cotilédones acima da superfície do solo. Ao final do teste foi calculado o IVE, empregando-se a fórmula proposta por Maguire (1962).

Tempo médio de emergência (TME): com os mesmos dados obtidos para o IVE foi utilizada a fórmula de Labouriau (1983) para obtenção destes valores, sendo o resultado expresso em dias.

Comprimento de plântulas (CP): foram utilizadas quatro repetições de 10 sementes posicionadas no terço superior do papel de germinação no sentido longitudinal, o qual foi umedecido da mesma forma como descrito para o teste de germinação. As sementes foram posicionadas de forma que a região da radícula estivesse voltada para a parte inferior do papel e os rolos mantidos nas mesmas condições mencionadas para o teste de germinação. Aos oito dias após a semeadura, efetuou-se a medida das partes das plântulas normais emergidas (parte aérea [PA] e sistema radicular [SR]) utilizando-se um paquímetro digital. O somatório CP-PA e CP-SR foi chamado de CP-T, que consiste no comprimento total médio das plântulas normais. Os resultados foram expressos em centímetros.

Após a caracterização inicial procedeu-se para a instalação de dois experimentos:

### Experimento 1: Adequação de metodologia de avaliação de vigor em sementes de grão-de-bico por meio do teste de condutividade elétrica

O teste de condutividade elétrica (CE) foi conduzido com quatro subamostras de 50 e 75 sementes de cada lote, pesadas com precisão de 0,0001 g, colocadas em copos de plástico contendo 75 e 100 mL de água deionizada e avaliados os períodos de embebição de 2, 4, 8, 12, 18, 24 e 30 h, as quais foram mantidas à temperatura constante de 25 °C. Após estes períodos, a condutividade elétrica da solução de embebição foi determinada com auxílio de um condutivímetro de massa e os valores expressos em  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$  de sementes.

Realizou-se a análise estatística para o teste de condutividade, separadamente para cada cultivar, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições. Os resíduos foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk para avaliação da normalidade e teste de Bartlett que avalia a homocedasticidade. Atendidos os pressupostos para a análise de variância, esta foi realizada individualmente para cada variável do teste e para comparação das médias foi utilizado o teste de LSD, a 5% de probabilidade. Ao final foi realizado o estudo da associação entre as variáveis por meio da análise da correlação de Pearson (Cor) e do percentual de coincidência dos testes de média (CTM) entre as variáveis da CE e EC. O percentual CTM foi calculado de modo que 0% representou nenhuma letra coincidente na classificação dos lotes na EC e na CE e 100% quando todas as letras de ranqueamento do teste de médias foram iguais para os testes de EC e CE. Todas as análises de dados foram realizadas utilizando o ambiente R (R Core Team, 2014) de computação estatística.

### Experimento 2: Modelagem da curva de embebição de sementes de grão-de-bico

Visando identificar as fases do processo de germinação nesta espécie os dados de embebição de cada lote, foram obtidos por meio de pesagem sistemática de quatro repetições de 50 sementes, inicialmente e em intervalos de uma hora, nas primeiras 12 horas e então a cada seis horas. As sementes foram dispostas em rolo de papel de germinação com três

folhas umedecidas com água deionizada, no volume de 3,0 vezes o peso seco do papel.

Imediatamente antes da obtenção da massa, as sementes foram secas superficialmente com o auxílio de papel de germinação. O percentual de água absorvida foi obtido com base na massa inicial e massa úmida das sementes nos diferentes intervalos pela seguinte expressão:

$$\% \text{ de água absorvida: } \left[ \frac{M_f - M_i}{M_i} \right] \times 100$$

sendo:  $M_i$ : massa inicial das sementes; e  $M_f$ : massa final das sementes em cada intervalo citado.

A obtenção da massa das sementes foi realizada até que 50% destas apresentassem emissão de raiz primária.

Para cinética de hidratação das sementes de grão-de-bico, foi ajustado o modelo de Peleg (Peleg, 1988). Foram construídas bandas de confiança e apresentados em gráfico para comparação estatística das curvas de embebição de cada lote em cada cultivar. Todas as análises de dados foram realizadas utilizando o ambiente R (R Core Team, 2014) de computação estatística.

## Resultados e Discussão

O teor de água inicial das sementes variou de 9,62 a 10,05% para os quatro lotes da cultivar BRS Aleppo e de 8,80 a 9,33% para as sementes da cultivar Cícero. Sabe-se que o teor de água das sementes influencia diretamente vários aspectos de sua qualidade fisiológica (Sarmiento et al., 2015). A determinação do grau de umidade inicial das sementes garante a confiabilidade dos testes de vigor, não havendo variação superior a 2 pontos percentuais (Marcos-Filho, 2015).

Os dados obtidos nos testes de caracterização inicial estão contidos na Tabela 1, observa-se que, para BRS Aleppo, os resultados dos testes de TME, CP-PA e CP-T, não ranquearam os lotes em níveis de vigor. Para CP-SR os lotes foram classificados em dois níveis. Nos testes de G, EC e IVE houve semelhante classificação dos lotes e a distinção em três níveis de vigor, sendo o lote 1 classificado como mais vigoroso e o lote 3 com vigor inferior. Já para PC obteve-se quatro níveis de vigor, mantendo o lote 1 e 3 como alto e baixo vigor respectivamente. Amaro et al. (2015), também obtiveram resultados satisfatórios com o teste de PC para a classificação de lotes de feijão da cultivar Madrepérola. Isso pode ser explicado uma vez que um dos primeiros efeitos da deterioração é a redução da velocidade de germinação (Marcos-Filho, 2015), como o teste de PC avalia a velocidade deste processo, este teste pode ser utilizado como um bom indicativo do vigor das sementes. De modo geral, com a caracterização inicial, o lote 1 apresentou-se como mais vigoroso, seguido dos lotes 4 e 2 como intermediários e o lote 3 com o pior desempenho.

Para a cultivar Cícero, o teste de TME não apresentou sensibilidade para detecção de níveis de vigor entre os quatro

**Tabela 1.** Caracterização inicial de lotes de sementes de grão-de-bico por meio dos testes de primeira contagem de germinação (PC), germinação (G), emergência a campo (EC), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), comprimento de plântulas (CP) – parte aérea (CP-PA), sistema radicular (CP-SR) e total (CP-T). Urutaí, 2017.

Lote	PC	G	EC	IVE	TME	CP-PA	CP-SR	CP-T
	G (%)				(dias)	(cm plântula <sup>-1</sup> )		
Cultivar BRS Aleppo								
1	86,0 a	94,0 a	95,0 a	14,7 a	16,9 a	16,0 a	14,3 a	20,3 a
2	56,5 c	79,0 b	73,5 bc	11,6 bc	26,7 a	6,0 a	11,4 b	17,3 a
3	43,0 d	52,5 c	65,0 c	9,9 c	37,2 a	4,9 a	11,5 b	16,3 a
4	72,5 b	88,0 ab	88,0 ab	13,3 ab	47,1 a	5,4 a	11,1 b	16,4 a
CV (%)	9,83	8,19	13,18	15,18	4,85	12,73	12,37	11,36
Cultivar Cícero								
1	20,0 b	48,0 b	72,0 ab	7,9 bc	9,7 a	3,4 b	7,9 b	11,3 b
2	42,5 a	76,5 a	81,0 ab	9,6 a	9,0 a	4,4 a	10,2 a	14,6 a
3	35,5 a	55,5 b	63,0 b	7,3 c	9,4 a	3,3 b	8,9 ab	12,2 b
4	18,0 b	59,5 b	76,5 ab	9,1 ab	9,0 a	3,2 b	8,5 b	11,7 b
CV (%)	22,30	15,44	10,32	13,20	8,08	14,00	11,00	7,50

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

lotes. Os testes de PC, G, EC e CP classificaram em dois níveis, sendo o lote 2 com vigor superior aos demais (Tabela 1). No IVE houve a distinção em três níveis de vigor. A alta capacidade de classificação dos lotes pelo IVE pode ser explicada pelo fato de que, segundo Matthews et al. (2010), o progresso da deterioração das sementes pode ser expresso pela redução da velocidade de germinação, assim, diferenças no potencial fisiológico são facilmente detectadas pelos valores de IVE. De modo geral, os testes de caracterização inicial classificaram o lote 2 com maior vigor, e os lotes 1 e 3 com desempenho inferior.

As sementes da cultivar Cícero têm apresentado, em outros estudos (dados não publicados), menor qualidade fisiológica

quando comparada com outros cultivares. Neste trabalho pode-se evidenciar que esta cultivar apresenta desempenho fisiológico inferior à cultivar BRS Aleppo.

### Experimento 1: Adequação de metodologia de avaliação de vigor em sementes de grão-de-bico por meio do teste de condutividade elétrica

Os valores de condutividade elétrica em função da quantidade de sementes, volume de água e tempos de exposição estão apresentados nas Tabelas 2 e 3, para as cultivares BRS Aleppo e Cícero, respectivamente. Nota-se o aumento da quantidade de lixiviados na solução com aumento

**Tabela 2.** Condutividade elétrica de sementes de grão-de-bico BRS Aleppo sob diferentes períodos de exposição. Urutaí, 2017.

Lotes	Períodos (horas)						
	2	4	8	12	18	24	30
50 sementes e 75 mL de água							
1	30,0 b	41,4 a	57,2 b	67,3 b	77,3 b	87,5 b	99,5 b
2	19,9 a	39,2 a	46,1 a	52,6 a	63,1 a	71,9 a	82,1 a
3	48,6 c	79,7 c	104,7 d	119,1 d	137,8 d	153,1 d	166,4 d
4	31,2 b	54,3 b	69,9 c	81,1 c	99,2 c	113,1 c	122,4 c
CV (%)	15,40	11,60	9,30	9,18	8,96	8,70	8,77
50 sementes e 100 mL de água							
1	15,3 a	23,6 a	35,8 a	42,7 b	50,7 b	60,3 a	70,3 a
2	11,9 a	37,3 b	27,5 a	33,1 a	40,4 a	52,3 a	66,7 a
3	21,2 a	42,0 b	54,5 b	68,7 d	86,0 d	147,3 b	137,1 c
4	18,2 a	36,1 b	47,9 b	55,5 c	68,4 c	78,3 a	89,2 b
CV (%)	31,60	27,00	18,46	13,51	11,82	41,61	10,26
75 sementes e 75 mL de água							
1	29,6 a	45,6 a	92,4 b	108,7 a	125,4 b	140,0 a	157,8 a
2	25,7 a	44,4 a	72,3 a	87,7 a	103,5 a	124,6 a	142,3 a
3	54,4 c	70,5 a	164,5 c	185,8 b	213,4 d	236,2 c	256,3 c
4	36,1 b	63,9 a	111,5 b	101,1 a	152,8 c	167,4 b	179,60 b
CV (%)	8,56	31,50	13,75	29,03	7,82	7,39	6,99
75 sementes e 100 mL de água							
1	15,7 a	49,9 c	59,1 a	69,4 a	83,2 a	96,9 a	115,5 a
2	20,2 a	29,6 a	48,3 a	62,1 a	75,7 a	99,3 a	122,5 a
3	21,7 a	43,1 bc	83,3 b	108 c	130,9 c	152,4 c	181,0 c
4	18,6 a	34,0 ab	72,4 b	88,2 b	109,9 b	126,6 b	142,5 b
CV (%)	35,5	19,80	15,78	13,27	13,37	11,84	8,27

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.



**Tabela 3.** Coeficiente de correlação de Pearson (Cor) e percentual de coincidência dos testes de médias (CTM). Correlações entre a emergência à campo e a condutividade elétrica com variação no número de sementes (50 e 75), volume de água (75 e 100 mL) e períodos de exposição (2, 4, 8, 12, 18, 24 e 30 horas). Urutá, 2017.

	'BRS Aleppo'							'Cícero'						
	Período (horas)													
	2	4	8	12	18	24	30	2	4	8	12	18	24	30
50 sementes e 75 mL de água														
Cor	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,1	-0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0
CTM (%)	50	75	0	0	0	0	0	75	75	75	75	75	50	75
50 sementes e 100 mL de água														
Cor	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5	-0,3	-0,4	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,5
CTM (%)	50	75	50	0	0	50	50	75	75	75	75	75	75	75
75 sementes e 75 mL de água														
Cor	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	0,0	-0,1	0,0	0,3	-0,2	-0,4	-0,4
CTM (%)	75	50	50	50	0	75	75	75	75	75	75	75	75	75
75 sementes e 100 mL de água														
Cor	-0,8	-0,1	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,1	0,2	0,5	0,5	0,0	-0,3	-0,3
CTM (%)	50	50	50	75	75	75	75	100	100	50	50	75	100	100

do período de embebição, o que confirma as expectativas para o teste, de que um tempo maior de embebição resulta em maior liberação de íons, assim como foi observado em sementes de soja (Dias & Marcos-Filho, 1996).

Não foi possível estabelecer um padrão quanto à distinção de níveis de vigor em função do tempo para a cultivar BRS Aleppo (Tabela 2). Houve a organização dos lotes em quatro níveis de vigor a partir de 8 h para a variação de 50 sementes e 75 mL de água.

Ainda na Tabela 2, verifica-se que, as 50 sementes embebidas em 75 mL de água não foi eficiente para classificação dos lotes, de modo que em nenhum dos períodos de embebição o lote 1 foi o mais vigoroso. Para a combinação de 50 sementes e 100 mL de água apenas 12 e 18 h de embebição separaram os lotes em quatro níveis de vigor, mantendo o lote 3 como de baixo vigor, assim como na caracterização inicial. Quando a condutividade foi lida com 75 sementes e 75 mL de água, apenas com 18 h de embebição houve o ranqueamento em quatro níveis de vigor. Utilizando-se 100 mL de água, com 50 ou 75 sementes, durante 2 h, não foram suficientes para detectar diferenças no vigor dos lotes.

Observou-se que a combinação 75 sementes e 100 mL de água apresentou a mesma classificação dos lotes a partir de 12 h. De modo semelhante ao observado na G, EC e IVE, os lotes 1 e 2 classificados com vigor superior e o lote 3 com baixo vigor. A melhor separação dos lotes com maiores quantidades de sementes foi explicada por Silva et al. (2014b), os quais afirmaram que isso gera maior quantidade de eletrólitos na solução, o que pode favorecer na diferenciação dos lotes. Medeiros et al. (2017) também relataram melhor eficiência do teste com maior número de sementes de *Moringa oleifera* Lam.

Com a análise de correlação e coincidência das letras dos testes de médias foi possível observar que para a cultivar BRS Aleppo houve a maior porcentagem de médias coincidentes com o teste de EC, com o número de 75 sementes e volume de água de 100 mL (Tabela 3). Além disso, para essas mesmas condições obteve-se os maiores valores de correlação de

Pearson. Adotando-se os maiores valores para ambos critérios, pode-se eleger como período mais adequado para essa cultivar 24 e 30 h de embebição para leitura da condutividade.

A análise da cultivar Cícero evidenciou, de forma geral, dificuldade de diferenciação em níveis de vigor, consequentemente uma menor sensibilidade ao teste (Tabela 4). Para 50 sementes e 75 mL de água apenas o período de 24 h ordenou os lotes em níveis. As combinações de 50 sementes e 100 mL de água e 75 sementes e 75 mL de água não demonstraram nenhuma sensibilidade para detectar diferenças no vigor dos lotes desta cultivar. No entanto, com 75 sementes e 100 mL de água foi possível ranquear os lotes, ainda que com poucos níveis mostrou-se mais eficiente.

Assim como para Dalanhhol et al. (2014), ambas cultivares (Tabelas 2 e 4) no volume de 100 mL apresentaram menores valores de condutividade elétrica, devido à maior diluição dos íons na solução de embebição.

Para a cultivar Cícero, a coincidência com a EC foi também expressiva com 75 sementes e 100 mL de água, porém nessas condições a correlação de Pearson não se mostrou tão elevada. Analisando-se o período de tempo ideal para a leitura da condutividade também foi de 24 e 30 h. Ao se comparar ambas condições, notou-se uma diferença apenas no número de sementes, de 75 para BRS Aleppo e de 50 para a cultivar Cícero, isso pode ser explicado pelo tamanho das sementes (Tabela 5), a cultivar Cícero possui sementes com tamanhos consideravelmente maiores que as sementes de 'BRS Aleppo', o que pode influenciar na imersão das sementes na solução e consequentemente, na realização do teste.

Em estudo similar Silva et al. (2013) determinaram metodologia eficiente para a condutividade elétrica em sementes de feijão e concluíram que 20 ou 24 h são eficientes para a leitura da condutividade nesta espécie. No presente trabalho, adotou-se como período de tempo 30 h, uma vez que os valores de correlação de Pearson foram máximos.

Visando a criação de um padrão para o teste em sementes de grão-de-bico, considerou-se 75 sementes como a ideal, essa escolha é justificada devido aos dados mais promissores

**Tabela 4.** Condutividade elétrica de sementes de grão-de-bico 'Cícero' sob diferentes períodos de exposição. Urutaí, 2017.

Lotes	Períodos (horas)						
	2	4	8	12	18	24	30
50 sementes e 75 mL de água							
1	37,8 a	63,9 a	105,1 a	129,5 a	166,2 a	189,1 c	204,6 a
2	39,7 a	63,7 a	112,5 a	133,4 a	164,9 a	188,0 bc	203,0 a
3	34,5 a	60,3 a	95,3 a	124,9 a	155,2 a	175,4 a	193,8 a
4	30,1 a	58,5 a	109,2 a	130,5 a	121,9 a	179,4 ab	196,6 a
CV (%)	23,63	20,79	13,11	6,67	23,40	4,01	3,8
50 sementes e 100 mL de água							
1	14,6 a	29,2 a	67,4 a	82,8 a	110,2 a	128,2 a	147,5 a
2	15,3 a	32,2 a	62,4 a	79,0 a	101,8 a	125,0 a	147,2 a
3	15,2 a	38,1 a	62,9 a	82,4 a	111,3 a	132,8 a	154,2 a
4	14,6 a	32,7 a	68,0 a	89,0 a	118,4 a	138,7 a	156,3 a
CV (%)	23,98	16,18	14,04	14,05	12,95	10,46	9,78
75 sementes e 75 mL de água							
1	33,9 a	57,9 a	165,0 a	182,0 a	210,6 a	232,4 a	251,3 a
2	34,9 a	66,0 a	164,6 a	186,0 a	211,5 a	237,7 a	253,9 a
3	31,8 a	64,7 a	156,9 a	173,8 a	227,7 a	255,1 a	273,5 a
4	26,6 a	54,7 a	153,5 a	176,3 a	207,7 a	226,6 a	240,2 a
CV (%)	22,65	18,32	13,81	12,03	10,04	8,86	7,95
75 sementes e 100 mL de água							
1	15,4 b	39,2 b	125,5 c	144,5 c	175,0 a	196,4 ab	211,2 a
2	16,1 b	38,8 b	115,9 bc	141,1 bc	168,7 a	187,5 a	210,3 a
3	17,6 b	34,6 ab	91,3 a	129,6 a	173,0 a	201,6 ab	224,8 b
4	12,7 a	29,8 a	105,3 b	134,2 ab	166,9 a	187,5 a	202,8 a
CV (%)	13,45	11,11	7,89	5,74	3,45	4,25	3,59

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de LSD a 5% de probabilidade.

**Tabela 5.** Peso de mil sementes de oito lotes de sementes de grão-de-bico, cultivares BRS Aleppo e Cícero. Urutaí, 2017.

Lote	PMS (g)	
	'BRS Aleppo'	'Cícero'
1	382,43	648,30
2	344,29	542,55
3	384,73	476,27
4	390,99	595,67

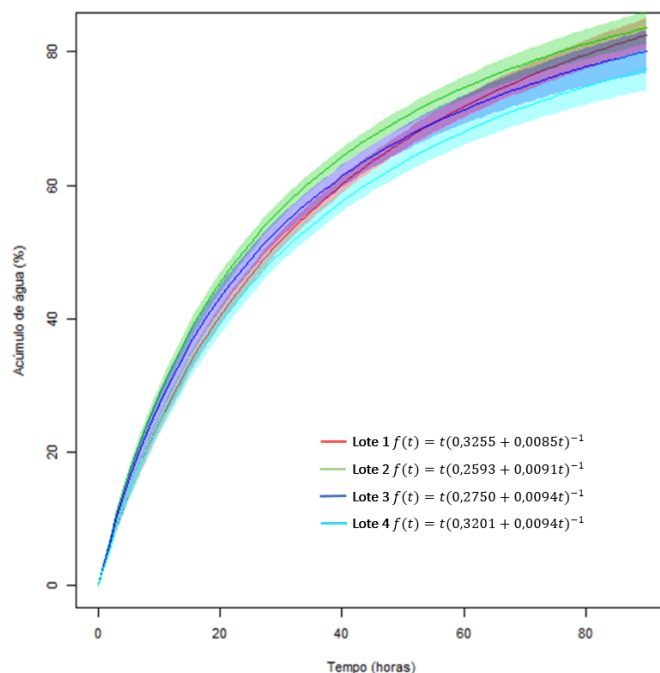
terem sido obtidos neste trabalho com a cultivar BRS Aleppo. Novos trabalhos podem ser realizados com o objetivo de avaliar o teste em cultivares de grão-de-bico de maiores valores de peso de mil sementes (PMS).

O volume de água foi estabelecido em 100 mL, resultados semelhantes em quantidade de água foram encontrados utilizando-se sementes de aveia preta (Nogueira et al., 2013) e também para espécies leguminosas como o feijão caupi (Batista et al., 2012).

### Experimento 2: Modelagem da curva de embebição de sementes de grão-de-bico

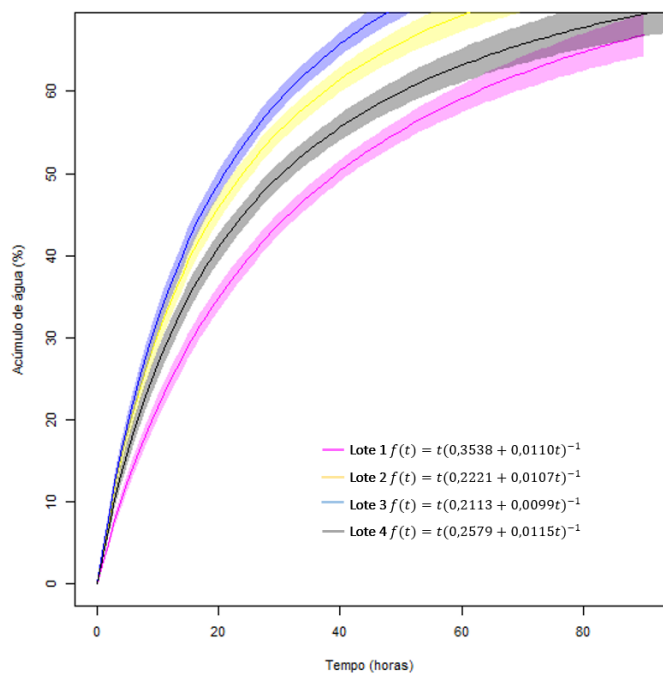
As duas cultivares não demonstraram definição nítida entre as três fases do processo de germinação conforme proposto por Bewley & Black (1978).

O modelo Peleg se ajustou aos dados de embebição das sementes das duas cultivares (Figura 1 e 2), com coeficiente de determinação ( $R^2$  e  $R^2$  ajustado) entre 0,98 e 0,99 (Tabela 6). Configuração semelhante foi encontrada por Silva et al. (2018) que avaliaram o ajuste das curvas de embebição de cinco espécies à cinco modelos, estes autores concluíram que,

**Figura 1.** Ajuste do modelo de Peleg para a curva de embebição (acúmulo de água, %) de quatro lotes de sementes de grão-de-bico 'BRS Aleppo'. Urutaí, 2017.

para ervilha e lentilha, não houve definição nítida do início da terceira fase, ajustando-se assim o modelo de Peleg.

Para 'BRS Aleppo', a protrusão radicular nos lotes 1, 2 e 3 teve início após 42 h de embebição, enquanto que para o lote 4 apenas após 60 h ocorreu o rompimento do tegumento e emissão da raiz (Figura 1). Possivelmente devido a diferenças



**Figura 2.** Ajuste do modelo de Peleg para a curva de embebição (acúmulo de água, %) de quatro lotes de sementes de grão-de-bico 'Cícero'. Urutaí, 2017.

**Tabela 6.** Critérios de qualidade do ajuste do modelo de Peleg para curvas de reidratação de sementes de grão de bico.

Lote	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	AIC	EMAP
Cultivar BRS Aleppo				
1	0,99	0,99	108,8	9,47
2	0,99	0,99	111,5	8,86
3	0,98	0,98	123,3	10,96
4	0,98	0,98	119,5	11,32
Cultivar Cícero				
1	0,98	0,98	111,9	10,88
2	0,98	0,98	120,1	9,61
3	0,99	0,98	117,2	8,67
4	0,98	0,98	121,3	10,52

AIC: critério de informação de Akaike, EMAP: erro médio absoluto percentual, NC: não convergência do modelo.

das sementes de grão-de-bico em relação ao tamanho, composição química e permeabilidade do tegumento, que condicionam este maior tempo para início da fase III. Em lotes de sementes de soja com diferenças no potencial fisiológico apresentaram protrusão da raiz primária após 30 h de embebição (Villela et al., 2007). A duração das fases depende, dentre outros fatores, das características morfológicas das sementes e do potencial hídrico da semente e do substrato (Rodrigues et al., 2008; Marcos-Filho, 2015)

As curvas de embebição dos quatro lotes desta cultivar foram semelhantes, o que pode ser observado pela sobreposição dos intervalos de confiança (Figura 1), isso deve estar relacionado com a pequena diferença na G (Tabela 1) entre pelo menos três dos quatro lotes, o que evidencia estruturação de membranas celulares semelhantes entre os lotes avaliados. Após 84 h mais de 50% das sementes já haviam emitido o sistema radicular caracterizando a germinação do ponto de vista biológico.

Para a cultivar Cícero houve diferença na absorção de água pelos quatro lotes de sementes, apenas os lotes 1 e 4, após 60 h de embebição, mostraram-se semelhantes quanto ao acúmulo de água (Figura 2). Estes dois lotes não diferiram entre si no potencial fisiológico avaliado pelos testes de PC, G, EC e CP da caracterização inicial. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato da qualidade dos lotes estarem relacionadas com semelhanças do processo de absorção de água pelas sementes.

A protrusão radicular nos lotes 2, 3 e 4 teve início após 42 h de embebição, enquanto que para o lote 1 levou mais 6 h para iniciar o rompimento do tegumento e emissão da raiz (Figura 2). O lote 1 classificado como pouco vigoroso nos testes de caracterização inicial, apresentou menor acúmulo de água ao longo do tempo, além disso levou mais tempo para emissão da raiz primária que caracteriza a fase III do processo de embebição.

Lotes com baixo potencial fisiológico apresentam membranas desestruturadas e consequentemente levam mais tempo para reorganização celular e desenvolvimento do processo de embebição (Vieira et al., 1994).

Para ambas cultivares, o modelo de Peleg apresentou AIC ~ 110 e EMAP ~ 10 (Tabela 6), caracterizando o modelo com bom ajuste para a embebição das sementes desta espécie. Silva et al. (2018) encontraram valores semelhantes para AIC e EMAP para o modelo de Peleg estudando a curva de embebição de sementes de ervilha. Este modelo não identifica claramente o início da fase III do processo de ganho de água pelas sementes. Em algumas espécies, as três fases podem ocorrer simultaneamente (Marcos-Filho, 2015).

O modelo de Peleg foi recomendado para a descrição da cinética de hidratação com sementes de feijão (Resende & Corrêa, 2007). Este modelo também foi eficiente para explicar o fenômeno de absorção de água por sementes de sorgo (Kashiri et al., 2010).

## Conclusões

A metodologia do teste de condutividade elétrica mais adequada para a classificação dos lotes de sementes de grão-de-bico em níveis de vigor é o uso de 75 sementes, volume de 100 mL de água durante 30 h de embebição.

Na curva de embebição, as sementes de grão-de-bico da cultivar BRS Aleppo não exibem diferenças significativas na quantidade de água absorvida ao longo do tempo. Os lotes da cultivar Cícero apresentam estas diferenças.

O modelo de Peleg é eficiente para descrever o processo de absorção de água, ainda que existam diferenças no potencial fisiológico dos lotes.

## Agradecimentos

Ao Instituto Federal Goiano – Campus Urutaí, pela concessão de bolsa de estudos de Iniciação Científica.

## Literatura Citada

- Amaro, H.T.R.; David, A.M.S.S.; Assis, M.O.; Rodrigue, B.R.A.; Cangussú, L.V.S.; Oliveira, M.B. Testes de vigor para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro. *Revista de Ciências Agrárias*, v.38, n.3, p.383-389, 2015. <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v38n3/v38n3a13.pdf>. 20 Abr. 2018.
- Batista, N.A.S.; Luz, P.B. da; Sobrinho, S. de P.; Neves, L.G.; Krause, W. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi pelo teste de condutividade elétrica. *Revista Ceres*, v.59, n.4, p.550-554, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2012000400017>.
- Bewley, J.D.; Black, M. *Physiology and biochemistry of seed in relation to germination*. Berlin: Springer Verlag, 1978. 306p.
- Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA, 2009. 399p.
- Carvalho, N.M.; Nakagawa J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588p.
- Dalagnol, S.J.; Rezende, E.H.; Abreu, D.C.A. de; Nogueira, A.C. Teste de condutividade elétrica em sementes de *Bowdichia virgilioides* Kunth. *Floresta e ambiente*, v.21, n.1, p.69-77, 2014. <https://doi.org/10.4322/loram.2014.013>.
- Dias, D.C.F.S.; Marcos-Filho, J. Testes de condutividade elétrica para avaliação do vigor de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Scientia Agricola*, v.53, n.1, p.31-42, 1996. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161996000100005>.
- Ferreira, L.B. da S.; Fernandes, N.A.; Aquino, L.C. de; Silva, A.R. da; Nascimento, W.M.; Leão-Araújo, E.F. Temperature and seed moisture content affect electrical conductivity test in pea seeds. *Journal of Seed Science*, v.39, n.4, p.410-416, 2017. <https://doi.org/10.1590/2317-1545v39n4181021>.
- Freitas, R.A. de; Nascimento, W.M. Accelerated aging test on lentil seeds. *Revista Brasileira de Sementes*, v.28, n.3, p.59-63, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222006000300009>.
- Haesbaert, F.M.; Lopes, S.J.; Mertz, L.M.; Lúcio, A.D.; Huth, C. Tamanho de amostra para determinação da condutividade elétrica individual de sementes de girassol. *Bragantia*, v.76, n.1, p.54-61, 2017. <https://doi.org/10.1590/1678-4499.389>.
- Kashiri, M.; Kashaninejad, M.; Aghajani, N. Modeling water absorption of sorghum during soaking. *Latin American Applied Research*, v.40, n.4, p.383-388, 2010. <http://www.scielo.org.ar/pdf/laar/v40n4/v40n4a14.pdf>. 20Abr. 2018.
- Labouriau, L.G. *A germinação das sementes*. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174p.
- Maguire, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, v.2, n.1, p.176-177. 1962. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>.
- Marcos-Filho, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. 2.ed. Londrina: ABRATES, 2015. 660p.
- Matthews, S.; El-Khadem, R.; Casarini, E.; Khajed-Hosseini, M.; Nasehzadeh, M.; Wagner, M.H.; Rate of physiological germination compared with the cold test and accelerated ageing as a repeatable vigour test for maize. *Seed Science and Technology*, v.38, n.2, p.379-389, 2010. <https://doi.org/10.15258/sst.2010.38.2.11>.
- Medeiros, M.L. de S.; Pádua, G.V.G. de; Pereira, M.D. Adaptação do teste de condutividade elétrica para sementes de *Moringa oleifa*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v.37, n.91, 2017. <https://doi.org/10.4336/2017.pfb.37.91.1384>.
- Nascimento, W.M.; Silva, P.P. da; Artiaga, O.P.; Suinaga, F.A. Grão-de-bico. In: Nascimento, W. M. (Ed.). *Hortaliças leguminosas*. Brasília: Embrapa, 2016. p.89-118.
- Nogueira, J.L.; Silva, B.A. da; Carvalho, T.C. de; Panobianco, M. Electrical conductivity test for assessing the physiological potential of black oat seeds. *Revista Ceres*, v.60, n.6, p.896-901, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600019>.
- Peleg, M. An empirical-model for the description of the moisture sorption curves. *Journal of Food Science*, v.53, n.4, p.1216-1219, 1988. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb13565.x>
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2004. <http://www.Rproject.org>. 26 Ago. 2018.
- Resende, O.; Corrêa, P. C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. *Acta Scientiarum Agronomy*, v.29, n.3, p.373-378, 2007. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v29i3.387>.
- Rodrigues, A.P.D.C.; Laura, V.A.; Chermouth, K.D.S.; Gadum, J. Absorption of water by parsley seed at two temperatures. *Revista Brasileira de Sementes*, v.30, n.1, p.49-54, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222008000100007>.
- Sarmento, H.G. dos S.; David, A.M.S. de S.; Barbosa, M.G.; Nobre, D.A.C.; Amaro, H.T.R. Determinação do teor de água em sementes de milho, feijão e pinhão-mansão por métodos alternativos. *Revista Energia na Agricultura*, v.30, n.3, p.249-256, 2015. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2015v30n3p250-256>.
- Silva, A.R. da; Leão-Araújo, E.F.; Rezende, B.R.; Santos, W.V. dos; Santana, H.A.; Silva, S.C.M.; Fernandes, N.A.; Costa, D.S.; Mesquita, J.C.P. de. Modeling the three phases of the soaking kinetics of seeds. *Agronomy Journal*, v.110, n.1, p.164-170, 2018. <https://doi.org/10.2134/agronj2017.07.0373>.
- Silva, J. E. N.; Filho, A. L. M.; Silva, R. G. P. de O. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão manteiguinha. *Ensaio e Ciências: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*, v.17, n.6, p.37-46, 2014b. <http://www.pgsskroton.com.br/seer/index.php/ensaioeciencia/article/viewFile/2290/2190>. 20 Abr. 2018.
- Silva, S.S. da; Vieira, R.D.; Grzybowski, C.R. de S.; Carvalho, T.C. de; Panobianco, M. Electrical conductivity of different common bean seeds genotypes. *Journal of Seed Science*, v.35, n.2, p.216-224, 2013. <https://doi.org/10.1590/S2317-15372013000200011>.
- Silva, V.N.; Zambiasi, C.A.; Tillmann, M.A.A.; Menezes, N.L.; Villela, F.A. Condução do teste de condutividade elétrica utilizando partes de sementes de feijão. *Revista de Ciências Agrárias*, v.37, n.2, p.206-213, 2014a. <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v37n2/v37n2a11.pdf>. 20 Abr. 2018.
- Vieira, R.D. Teste de condutividade elétrica. In: Vieira, R. D.; Carvalho, N. M. (Eds.). *Testes de vigor em sementes*. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.103-132.
- Villela, F.A.; Novembre, A.D. da L.C.; Marcos-Filho, J. Estado energético da água na germinação de semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, v.29, n.1, p.27-34, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-31222007000100004>.