

**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Técnicas de análise de imagens aplicadas na avaliação do vigor de sementes
de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**

Letícia Betânia Xavier Dias

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

**Piracicaba
2023**

Letícia Betânia Xavier Dias
Bacharel em Agronomia

**Técnicas de análise de imagens aplicadas na avaliação do vigor de sementes de
grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)**

versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **FRANCISCO GUILHIEN GOMES JÚNIOR**

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestra em Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Dias, Leticia Betânia Xavier

Técnicas de análise de imagens aplicadas na avaliação do vigor de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) / Leticia Betânia Xavier Dias. - - versão revisada de acordo com a Resolução CoPGr 6018 de 2011.- - Piracicaba, 2023.

73 p.

Dissertação (Mestrado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Análise automatizada de plântulas 2. Emissão da raiz primária 3. Imagem digital 4. Parâmetros morfológicos 5. Potencial fisiológico de sementes I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Márcia Xavier e João Paulino Dias por todo apoio e amor que me proporcionaram sempre. Por sonharem junto comigo, me incentivarem e não medirem esforços para me ver atingir objetivos.

Aos meus avós paternos Luzia Maria e José Dias (*in memoriam*) e aos maternos Lurdilina Siqueira e Eraldo Xavier por todas as palavras de incentivo, consolo, aconchego e principalmente por toda intercessão a Deus por mim.

Ao meu noivo Bruno Coutinho, por me acompanhar desde sempre, me apoiar em todos os momentos e por acreditar em mim mais que eu mesma.

Aos meus irmãos João Vitor, Marielle e Mirelle. Aos demais familiares e amigos que sempre torceram por mim e me acompanharam em cada conquista e dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pois sem Ele eu não seria nada, por tantas bênçãos recebidas e por me guiar sempre pelos melhores caminhos.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq/USP), ao Programa de Pós Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de cursar o mestrado e aos docentes do programa por todo conhecimento transmitido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Dr. Francisco Guilhien Gomes Júnior pela orientação ao longo do mestrado, por todos ensinamentos, dedicação e paciência.

À técnica do Laboratório de Sementes, Helena Chamma e aos colaboradores Adilson, David e João por toda ajuda e suporte na execução dos experimentos.

Ao chefe geral da Embrapa Hortaliças, Warley Marcos Nascimento, pelo fornecimento das sementes de grão-de-bico para execução do trabalho.

Aos colegas do grupo de tecnologia de sementes Abimael Filho, Andres Trujillo, Carlos Queiroz, Glória Ribeiro, Júlio Altizani, Karina Cuba, Lauizy Andrade, Luana Granzotti Luiz Gustavo, Marina Zacharias, Mayara Rodrigues, Rafael Alves e Thiago Hirata pelas contribuições e por todo conhecimento compartilhado.

Aos amigos e familiares que estiveram próximos durante esse período e que de alguma forma contribuíram para que tudo fosse possível.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1. Importância da cultura do grão-de-bico e da avaliação do potencial fisiológico de sementes	11
2.2. Determinação do vigor de sementes de grão-de-bico.....	13
2.3. Determinação do vigor de sementes utilizando recursos computacionais	15
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. Teor de água	19
3.2. Avaliações do desempenho das sementes	19
3.2.1. Germinação.....	19
3.2.2. Condutividade elétrica.....	20
3.2.3. Envelhecimento acelerado tradicional.....	20
3.2.4. Envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl	20
3.2.5. Emergência de plântulas em campo	21
3.2.6. Índice de velocidade de emergência.....	21
3.3. Análise computadorizada de imagens de sementes e plântulas.....	21
3.3.1. Teste de vigor (SVIS®).....	21
3.3.2. Avaliação da protrusão da raiz primária (visual e análise de imagens).....	22
3.4. Análise estatística	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Primeira época de avaliação	25
4.1.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes	25
4.1.2. Análise computadorizada de imagens de plântulas	28
4.1.3. Avaliação da protrusão da raiz primária.....	30
4.2. Segunda época de avaliação	40
4.2.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes	40
4.2.2. Análise computadorizada de imagens de plântulas	42
4.2.3. Avaliação da protrusão da raiz primária.....	44
4.3. Correlação entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos visando a caracterização da protrusão da raiz primária correspondente às duas épocas experimentais.....	55

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 63

6. CONCLUSÃO 65

REFERÊNCIAS..... 67

RESUMO

Técnicas de análise de imagens aplicadas na avaliação do vigor de sementes de grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.)

O grão-de-bico é uma hortaliça leguminosa com excelentes características nutricionais, como elevado teor de proteínas, além de fornecer uma farinha livre de glúten. Para atender à demanda de consumo e se tornar autossuficiente na produção de grão-de-bico o Brasil precisa aumentar a produtividade e, para isso, é fundamental a utilização de sementes de alta qualidade. Uma das demandas das empresas produtoras de sementes é a obtenção de informações precisas sobre o vigor de sementes, de forma rápida e menos subjetiva. A análise automatizada de imagens de sementes e plântulas é uma forma de otimizar esse processo, porém ainda há necessidade de pesquisas para que seja comprovada a eficiência em espécies como o grão-de-bico. Neste sentido, o objetivo da pesquisa foi avaliar a eficiência do *Seed Vigor Imaging System* (SVIS[®]) para determinar o vigor de sementes de grão-de-bico e verificar a eficiência de atributos morfológicos fornecidos pelo software ImageJ[®] para caracterizar a protrusão da raiz primária e sua associação com o vigor de sementes. Seis lotes de sementes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa foram submetidos à avaliação da germinação e testes de vigor tradicionais: primeira contagem de germinação, condutividade elétrica, envelhecimento acelerado tradicional, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl e emergência de plântulas em campo. A análise computadorizada como teste de vigor pelo SVIS[®] foi realizada em plântulas com 4 dias de idade nas temperaturas de 20 e 25 °C e 5 dias de idade na temperatura de 20 °C. A avaliação da protrusão da raiz primária foi realizada pela contagem de sementes com raiz primária ≥ 1 mm (análise visual) e por meio de imagens durante o processo de germinação nos períodos de 30, 32 e 34 h, nas temperaturas de 20 e 25 °C. Na análise de imagens pelo *software* ImageJ[®] foram avaliados os parâmetros morfológicos de perímetro, área, circularidade, relação de aspecto, redondeza e solidez como indicadores de alteração associados à protrusão da raiz primária. Os resultados indicaram eficiência das análises pelo *software* SVIS[®] em plântulas com 4 dias de idade na temperatura de 20 °C para discriminar os lotes de sementes de grão-de-bico de maneira semelhante ao observado nos testes de vigor tradicionalmente utilizados. Quanto à utilização de atributos morfológicos para caracterização da protrusão da raiz primária, os parâmetros de relação de aspecto, redondeza, circularidade e solidez obtidos pelo *software* ImageJ[®] foram os mais eficientes na separação dos lotes quanto ao vigor. O tratamento 25 °C/ 32 h foi o mais adequado para caracterizar a protrusão da raiz primária das sementes dos lotes dos cultivares Aleppo e Kalifa. Conclui-se que a análise automatizada de plântulas pelo SVIS[®] e os atributos morfológicos de relação de aspecto, redondeza, circularidade e solidez analisados pelo ImageJ[®] são eficientes para avaliação do vigor de sementes de grão-de-bico.

Palavras-chave: Análise automatizada de plântulas, Emissão da raiz primária, Imagem digital, Parâmetros morfológicos, Potencial fisiológico de sementes

ABSTRACT

Image analysis techniques applied to evaluate the vigor of chickpea seeds (*Cicer arietinum* L.)

Chickpea is a leguminous vegetable with excellent nutritional characteristics, such as a high protein content, in addition to providing a gluten-free flour. In order to meet consumer demand and become self-sufficient in chickpea production, Brazil needs to increase productivity and, for that, the use of high-quality seeds is essential. One of the demands of seed producing companies is to obtain accurate information on seed vigor, quickly and in a less subjective way. Automated image analysis of seeds and seedlings is a way to optimize this process, but there is still a need for research to prove its efficiency in species such as chickpeas. In this sense, the objective of the research was to evaluate the efficiency of the Seed Vigor Imaging System (SVIS[®]) to determine the vigor of chickpea seeds and to verify the efficiency of morphological attributes provided by the ImageJ[®] software to characterize the primary root protrusion and its association with seed vigor. Six seed lots of cultivar Aleppo and five lots of cultivar Kalifa were submitted to germination and traditional vigor tests: first germination count, electrical conductivity, traditional accelerated aging, accelerated aging with saturated NaCl solution and seedling emergence in the field. The computerized analysis as a vigor test by SVIS[®] was carried out in 4-day-old seedlings at 20 and 25 °C and 5-day-old seedlings at 20 °C. The evaluation of primary root protrusion was performed by counting seeds with primary root \geq 1mm (visual analysis) and through images during the germination process in periods of 30, 32 and 34 h, at temperatures of 20 and 25 °C. In image analysis by ImageJ[®] software, the morphological parameters of perimeter, area, circularity, aspect ratio, roundness and solidity were evaluated as indicators of alteration associated with primary root protrusion. The results indicated the efficiency of the analyzes by the SVIS[®] software in 4-day-old seedlings at a temperature of 20 °C to discriminate chickpea seed lots in a similar way to that observed in the traditionally used vigor tests. Regarding the use of morphological attributes to characterize the protrusion of the primary root, the parameters of aspect ratio, roundness, roundness and solidity obtained by the ImageJ[®] software were the most efficient in separating the lots in terms of vigor. The treatment 25 °C/32 h was the most adequate to characterize the protrusion of the primary root of the seeds of lots of cultivars Aleppo and Kalifa. It is concluded that the automated analysis of seedlings by SVIS[®] and the morphological attributes of aspect ratio, roundness, roundness and solidity analyzed by ImageJ[®] are efficient for evaluating the vigor of chickpea seeds.

Keywords: Automated analysis of seedlings, Primary root emission, Digital image, Morphological parameters, Physiological potential of seeds

1. INTRODUÇÃO

O grão-de-bico é uma hortaliça leguminosa e um representante das pulses. Possui alto valor nutricional, com teores de proteínas em torno de 25 % mais elevados até mesmo que os do feijão carioca. As sementes de grão-de-bico ainda apresentam aminoácidos, ferro, vitaminas, fibras, cálcio e carboidratos, sendo o principal deles o amido; além disso, a farinha produzida a partir dos grãos é livre de glúten. Essas características colocam o grão-de-bico numa posição de interesse no sentido de atender a públicos diversos como os celíacos, veganos e vegetarianos, com uma ampla gama de produtos derivados disponíveis para atender a esses grupos.

Embora o grão-de-bico seja uma das leguminosas mais consumidas no mundo, o seu consumo no Brasil ainda é relativamente baixo. Porém, a produção nacional não é capaz de suprir a demanda interna, havendo a necessidade de importação de países como a Argentina e o México. Dessa forma, a espécie poderia ser uma excelente alternativa aos produtores brasileiros, com aptidão para atender ao mercado interno e para vislumbrar possibilidades de exportar os grãos para outros países, visto que no Brasil há disponibilidade de área, clima favorável e tecnologias que possibilitam o seu cultivo.

O sucesso na implantação de lavouras, com o estande ideal de plântulas em campo e um bom desenvolvimento inicial se dá a partir da utilização de sementes de alta qualidade. Sementes mais vigorosas possuem maior capacidade de transformação e suprimento de reservas dos tecidos de armazenamento com uma maior incorporação destes pelo eixo embrionário, dando origem a plântulas com maior taxa de crescimento (DAN et al., 1987; JAVORSKI et al., 2018).

Para garantir a alta qualidade das sementes ofertadas, a indústria adota uma série de cuidados e procedimentos para que as sementes comercializadas a cada safra possuam a germinação mínima necessária e exigida pelos órgãos responsáveis. Além disso, há o cuidado com o vigor, que não chega a ser uma exigência regulamentada, mas é essencial e considerado pela grande maioria das empresas para que seja possível uma germinação rápida e uniforme das sementes mesmo quando submetidas a condições adversas de campo.

Essas sementes de alta qualidade são identificadas a partir de testes realizados em laboratórios como envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, tetrazólio, entre outros. Um bom teste de vigor deve ser o mais rápido e menos subjetivo possível, para assegurar a agilidade e precisão dos resultados obtidos. Nesse sentido, a análise automatizada de imagens de sementes e plântulas vem ganhando espaço e tem sido cada vez mais estudada para diferentes espécies.

O software SVIS[®] (Seed Vigor Imaging System) é um exemplo da análise computadorizada de imagens de plântulas, desenvolvido inicialmente para avaliação de plântulas de alface, e também validado para espécies como soja e milho. A partir da análise das imagens o software fornece informações sobre o comprimento de plântulas, uniformidade, crescimento e índice de vigor, de forma rápida, de fácil manuseio e baixo custo. Os resultados obtidos podem ser utilizados também como complemento para outros testes de vigor frequentemente utilizados, aumentando a confiabilidade e robustez dos dados obtidos em laboratório.

Outro software disponível é o ImageJ[®], que é gratuito e de fácil acesso para também auxiliar na análise rápida e pouco subjetiva de imagens, podendo fornecer informações sobre comprimento de plântulas, densidade e espaço interno livre (determinado a partir de imagens radiográficas de sementes), além de atributos morfológicos, como área, perímetro, circularidade, redondeza e relação de aspecto. Esses atributos morfológicos podem ser úteis para classificar as sementes em diferentes níveis de vigor, caracterizando a protrusão da raiz primária.

Nesse contexto, essa pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência do *Seed Vigor Imaging System* (SVIS[®]) para determinar o vigor de sementes de grão-de-bico e verificar a eficiência de atributos morfológicos fornecidos pelo software ImageJ[®] para identificar a protrusão da raiz primária e sua associação com o vigor de sementes de grão-de-bico.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Importância da cultura do grão-de-bico e da avaliação do potencial fisiológico de sementes

O grão-de-bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das mais importantes leguminosas cultivadas, sendo a segunda mais consumida no mundo, atrás somente da soja. É uma espécie que pode ser cultivada sob grande variedade de clima, desde o subtropical até ao árido e semiárido das regiões Mediterrânicas (NASCIMENTO, 2016).

De acordo com Moreira (2020), em 2013 a área cultivada de grão-de-bico no Brasil era de 26 hectares; em 2016 aumentou para 460 hectares e na safra 2017/2018 a área plantada foi de 9.000 hectares, concentrada nos estados de Goiás, Bahia, Distrito Federal, Mato Grosso e Minas Gerais. A produtividade média da cultura no país é de 2.500 kg.ha⁻¹. O grão-de-bico é a terceira leguminosa mais cultivada no mundo, depois do feijão e da soja, em cerca de 12 milhões de hectares, com cerca de 72% da produção mundial de países do sul da Ásia. Devido à sua alta concentração de proteínas (aproximadamente 19,3 a 25,4%) e sua importância agrônômica, seus grãos são demandados para a dieta de humanos e animais como fonte proteica alternativa (TRIVEDI et al., 2015; CHEN et al., 2017).

Segundo Nascimento et al. (2016), o volume total da produção brasileira de grão-de-bico não é suficiente para atender o consumo e, por isso, a maior parte dos grãos consumidos precisa ser importada.

As hortaliças leguminosas, também conhecidas como pulses, têm como principais representantes a ervilha, a lentilha e o grão-de-bico. As pulses são amplamente consumidas como fonte de proteína junto com os cereais. Dentre essas pulses, o grão-de-bico é a mais antiga e mais cultivada na Índia. O grão-de-bico é uma fonte rica de proteínas, carboidratos, fibras digestivas e micronutrientes. Ainda, a importância e utilização dessa leguminosa foi comprovada para fins medicinais para solucionar diversos problemas de saúde (KAUR e PRASAD, 2021). O grão-de-bico possui alto potencial antioxidante e anti-inflamatório e baixo teor de lipídios, o que torna esta espécie um forte aliado na prevenção de doenças cardiovasculares, câncer e diabetes (CAMARGO et al., 2019).

Além dos benefícios nutricionais e medicinais, para Kumar et al. (2021), o grão-de-bico exerce um papel importante na melhoria da fertilidade do solo, em função da fixação de nitrogênio, deixando no solo quantidades significativas do nutriente para as culturas subsequentes. Além disso, conforme descrito por Queiroga (2021), o grão-de-bico contribui para a adição e manutenção de matéria orgânica no solo. Ainda, devido ao sistema radicular

profundo das plantas, a água pode ser extraída das camadas subsuperficiais do solo, aumentando a tolerância da cultura a condições de deficiência hídrica.

Normalmente as pulses e oleaginosas são cultivadas sob condições de sequeiro, com pouca adoção de técnicas culturais, associada à sua má gestão, que conduzem a baixos níveis de produtividade (SINGH et al., 2021). Nos sistemas de produção que visam a otimização de padrões quantitativos e qualitativos, a semente de alta qualidade ocupa papel fundamental, sendo um desafio para o setor sementeiro, principalmente em regiões tropicais e subtropicais (MATHIAS et al., 2017).

Para Marcos-Filho (2015), a excelência das sementes está diretamente relacionada à junção dos quatro pilares essenciais que compõem a sua qualidade: atributos físico, fisiológico, genético e a sanidade.

O componente físico da qualidade está relacionado com a pureza das sementes, de forma que não ocorram no lote materiais indesejados como sementes de outras espécies, restos vegetais, fragmentos de plantas remanescentes da colheita palhas ou partes de tegumento, dentre outras impurezas. O componente fisiológico refere-se à capacidade da semente de completar as suas atividades metabólicas, rumo à germinação rápida e uniforme, que caracteriza o vigor. O componente genético reflete a fidelidade do material de origem, garantindo que o melhoramento genético ou mesmo o cultivar escolhido pelo produtor chegará ao campo com sucesso. Por fim, a sanidade busca a garantia de que as sementes não tiveram influência inicial negativa de insetos-pragas e doenças, o que pode ser contornado por meio do tratamento de sementes (DIAS e LEÃO-ARAÚJO, 2020).

Dentre esses pilares, o componente fisiológico, que é composto pelo teste de germinação e testes de vigor, tem recebido atenção especial da pesquisa e da indústria de produção de sementes, de forma que os lotes são submetidos a diferentes testes de vigor.

Esses testes podem se relacionar a metodologias que baseiam na resistência à estresses, simulando condições específicas e adversas relacionadas ao encontrado em campo ou no armazenamento, testes bioquímicos como o de condutividade elétrica, responsável por avaliar o grau de integridade das membranas plasmáticas das células por meio da liberação de íons na solução aquosa e testes fisiológicos, como a protrusão de raiz primária que sinaliza o início do processo de germinação e o teste de primeira contagem da germinação, capaz de determinar a formação de plântulas normais na data da primeira contagem, configurando germinação rápida e uniforme.

O sucesso na produção desta hortaliça leguminosa deve ser baseado na utilização de tecnologias eficientes, capazes de assegurar o incremento na produtividade das áreas e a

possível autossuficiência. A principal estratégia é a utilização de sementes de alto vigor, capazes de garantir o estabelecimento do estande ideal de plântulas em campo.

Dessa forma, pesquisas voltadas a melhorias e inovações no cultivo do grão-de-bico são essenciais para aumentar a produção e consolidação da autossuficiência no abastecimento do mercado interno. Dentre essas pesquisas, aquelas que se baseiam em metodologias capazes de classificar os lotes de sementes em diferentes níveis de vigor são muito importantes para maior possibilidade de sucesso na implantação da cultura no campo.

As falhas de germinação e na emergência de plântulas em campo normalmente estão associadas ao uso de sementes de baixa qualidade e são comumente causados por baixo vigor inicial. O uso de sementes de alto potencial fisiológico, por outro lado, resulta em plântulas fortes, mais vigorosas e bem desenvolvidas, favorecendo o estabelecimento adequado da cultura sob diferentes condições edafoclimáticas (OLIVEIRA et al., 2021).

2.2. Determinação do vigor de sementes de grão-de-bico

O vigor compreende as propriedades das sementes que determinam o seu potencial para a emergência rápida e uniforme e desenvolvimento de plântulas normais, sob ampla diversidade de condições de ambiente (AOSA, 2009). Na avaliação do potencial fisiológico de sementes é comum a utilização de testes de vigor em complementação às informações do teste de germinação. Isso é necessário pois os testes de germinação, que são conduzidos sob condições ideais, nem sempre refletem o potencial de emergência de plântulas em campo, uma vez que condições ideais nem sempre estão presentes nos ambientes de produção (DEMIR et al., 2020).

Os testes para avaliação do vigor são de uso rotineiro na composição de programas internos de controle de qualidade, principalmente para as sementes de grandes culturas e de hortaliças. As empresas produtoras e as instituições oficiais tem procurado incluir esses testes em programas internos de controle de qualidade para a garantia da qualidade das sementes destinadas à comercialização (MARCOS-FILHO, 2020).

Na avaliação do potencial fisiológico de sementes é comum a utilização de testes de vigor como o envelhecimento acelerado tradicional, envelhecimento acelerado com solução salina saturada, condutividade elétrica e, também, pode ser considerada como teste de vigor a primeira contagem de germinação.

Dentre os testes de vigor, o de condutividade elétrica se constitui em um método rápido e eficiente de determinação do potencial fisiológico de sementes (MURARO et al., 2017). As leituras dos valores de condutividade elétrica das soluções de imersão medem a

intensidade da corrente elétrica entre as duas sondas da célula medidora do aparelho, 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 (SILVA et al., 2014).

De acordo com Matthews e Powell (2006), em sementes de baixo vigor ocorre maior liberação de íons em função da deterioração das membranas celulares, resultado do envelhecimento artificial ou natural das sementes. Por outro lado, sementes de alto vigor tendem a resistir melhor ao processo de deterioração e, conseqüentemente, liberam menos lixiviados, pelo fato de possuírem melhor organização de suas membranas.

Durante o processo de maturação fisiológica a semente passa por uma série de alterações que favorecem o processo de deterioração, envolvendo as etapas de campo, colheita, recepção, secagem, beneficiamento, armazenagem, transporte e semeadura. Estresses climáticos e nutricionais, frequentemente associados com danos causados por insetos e por microrganismos, são considerados como as principais causas da deterioração da semente no campo (FRANÇA-NETO et al., 2016). Assim, informações sobre o vigor das sementes após o armazenamento podem ser obtidas com a realização de testes, como a condutividade elétrica, que é um teste eficiente na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de várias espécies como grão-de-bico (DIAS et al., 2019), ervilha (FERREIRA et al., 2017), girassol (HAESBAERT et al., 2017), soja (DINIZ et al., 2013) e feijão (GOMES-JÚNIOR et al., 2014).

Testes de germinação conduzidos sob condições ideais nem sempre refletem o potencial de emergência de plântulas em campo, uma vez que, condições ambientais ideais nem sempre estarão presentes nos sistemas de produção (DEMIR et al., 2020). Por isso, testes de vigor como o envelhecimento acelerado são realizados, pois consiste em um método capaz de simular estresse e condições adversas de campo, por meio de altas temperaturas e umidade relativa do ar elevada.

O teste de envelhecimento acelerado é, dentre os disponíveis, um dos mais sensíveis e eficientes para a avaliação do vigor de sementes (MARCOS-FILHO, 2015). O teste proporciona informações sobre diferenças de vigor entre as amostras analisadas, cujas informações são relacionadas com o potencial de armazenamento e de emergência de plântulas em campo. Este teste apresenta eficiência comprovada na avaliação do vigor de sementes de diferentes espécies, como a soja (MARCOS-FILHO, 2000; DUTRA e VIEIRA, 2004), milho (FESSEL et al., 2000), amendoim (ROSSETTO et al., 2004), ervilha (NASCIMENTO et al., 2007), girassol (BRAZ et al., 2008), trigo (PEDROSO et al., 2010) e

crambe (LEÃO et al., 2016). O princípio do teste de envelhecimento acelerado considera que a taxa de deterioração das sementes é intensificada significativamente após sua exposição a temperatura e umidade relativa elevadas, que são os fatores ambientais de maior influência na intensidade e velocidade de deterioração, simulando condição inadequada para o armazenamento de sementes. Durante o envelhecimento, as sementes são mantidas em ambiente úmido (umidade relativa do ar próxima a 100%), absorvem vapor d'água e são estressadas pela ação da temperatura elevada, à medida que as sementes são umedecidas (MARCOS-FILHO, 2020).

Uma alternativa ao procedimento tradicional do teste de envelhecimento acelerado é a utilização de solução saturada de sal em substituição à água, que tem sido recomendada para avaliação de várias espécies como a soja (MARCOS-FILHO et al., 2000), tomate (PANOBIANCO e MARCOS-FILHO, 2001), coentro (RADKE et al., 2016), arroz (MONTEIRO et al., 2017). Este método tem o objetivo de reduzir a umidade relativa do ar durante a exposição das sementes às altas temperaturas. O resultado da redução de umidade é a menor velocidade de captação de água e, conseqüentemente, redução da intensidade de deterioração das sementes (JIANHUA e MCDONALD, 1997; PANOBIANCO e MARCOS-FILHO, 2001), com possíveis reflexos na melhoria do ranqueamento dos lotes em níveis de vigor.

Além dos testes descritos anteriormente, a primeira contagem de germinação também pode ser um eficiente teste de vigor de sementes de grão-de-bico, pois caracteriza plântulas normais ou “vigorosas” em um período de tempo mais curto que a germinação final, evidenciando a emergência rápida proposta pelo conceito de vigor. Nakagawa (1999) relatou que a primeira contagem de germinação pode ser utilizada como um teste de vigor, uma vez que a velocidade de germinação é reduzida com o avanço da deterioração da semente. Assim, amostras que apresentam maiores valores de germinação na primeira contagem podem ser consideradas mais vigorosas (GUEDES et al., 2009).

2.3. Determinação do vigor de sementes utilizando recursos computacionais

A avaliação automatizada do desenvolvimento de plântulas através do processamento de imagens computadorizadas tem mostrado potencial para a classificação de lotes de sementes em relação ao vigor. No entanto, para a análise computadorizada de imagens de plântulas ser eficaz na avaliação do vigor de sementes, o método precisa ser adaptado para cada espécie (ARAÚJO et al., 2021). Evidencia-se assim a importância da utilização de tal tecnologia, que se torna cada vez mais necessária em trabalhos de pesquisa ou até mesmo

como instrumento de inovação na indústria de sementes. Esses sistemas se diferenciam pela rapidez na aquisição de imagens e também no processamento dos dados, diminuindo custos. Segundo Gomes-Júnior et al. (2014), testes de vigor que avaliam o crescimento de plântulas são eficientes na avaliação do potencial fisiológico de várias espécies. Porém, quando essas avaliações são feitas de forma manual, levam um maior tempo para a obtenção dos resultados e são também subjetivas. Por isso, sistemas automatizados para determinação do comprimento de plântulas ou de suas partes são necessários para a confiabilidade dos resultados.

Um dos primeiros sistemas para a avaliação automatizada do vigor de sementes baseado no crescimento de plântulas foi desenvolvido por Sako et al. (2001) e denominado *Seed Vigor Imaging System - SVIS*[®]. Inicialmente esse sistema foi destinado à determinação do vigor de sementes de alface após o processamento de imagens, adquirindo informações sobre o comprimento da raiz primária, do hipocótilo, das plântulas e da relação raiz/hipocótilo, considerando também a velocidade e a uniformidade de desenvolvimento das plântulas. O programa foi adaptado com êxito para avaliação do vigor de sementes de outras espécies como milho doce (ALVARENGA et al., 2012), trigo (SILVA et al., 2012), pepino (CHIQUITO et al., 2012), soja (WENDT et al., 2014), berinjela (SILVA e CICERO, 2014), feijão (GOMES-JÚNIOR et al., 2014), girassol (ROCHA et al., 2015) e sorgo (JAVORSKI et al., 2018).

Dessa forma, a utilização da análise computadorizada de imagens de plântulas pode ser comprovadamente utilizada, com segurança, associada à diversos testes de vigor das sementes, como o envelhecimento acelerado, condutividade elétrica, tetrazólio e emergência de plântulas em campo.

Conforme destacado anteriormente, várias espécies já foram estudadas em relação à análise de imagens de plântulas como teste de vigor, com resultados consistentes e comparáveis aos testes de vigor convencionais. Porém, com relação ao grão-de-bico, por tratar-se de uma espécie de exploração relativamente recente, ainda não existem trabalhos com a utilização do software SVIS[®] para avaliação do vigor de lotes de sementes.

O ImageJ[®], desenvolvido por Wayne Rasband do *National Institutes of Health* (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>) e de acesso gratuito, é outro software frequentemente utilizado pela comunidade científica, que é capaz de analisar diversos tipos de imagens de várias áreas de estudo desde médicas até agrônômicas como em análises de área foliar.

O ImageJ[®] é um sistema para medir vários atributos de forma e coloração que conta com diversas funções, capaz de analisar parâmetros ligados às sementes, como a área, largura,

comprimento, densidade e outros descritores e ainda permite fazer mensurações de plântulas, obtendo comprimento do hipocótilo, da raiz primária e do comprimento total (SILVA, 2020).

De acordo com Lima (2019), na análise de sementes, imagens radiográficas podem ser processadas no ImageJ[®] para obtenção de dados biométricos ao invés de técnicas tradicionais com o uso de paquímetro e régua e, assim, é possível obter medições mais precisas e de maneira mais rápida, diminuindo a subjetividade inerente ao analista. Também, podem ser analisadas neste programa imagens em Reed-Green-Blue (RGB) das plântulas e com a disponibilidade de técnicas podem ser feitas medições e outras análises relativas à morfologia. Além disso, os dados gerados são facilmente exportados para um editor de planilhas e dessa forma facilita a análise posterior.

Entre as diversas aplicações do ImageJ[®] em pesquisas na área de tecnologia de sementes podem-se citar a análise computadorizada do comprimento de plântulas, utilizada para espécies como o arroz (SILVA e DOTTO, 2017) e braquiária (ABREU, 2018). A eficiência do ImageJ[®] também foi comprovada para a mensuração da área de espaço interno livre de sementes e a determinação da sua relação com a germinação de espécies como a *Acca sellowiana* – uma fruteira nativa do Sul, conhecida como goiabeira serrana (SILVA et al., 2013) e a moringa (NORONHA et al., 2018).

Além destas finalidades, o software ImageJ[®] também pode ser utilizado na extração de atributos morfológicos que caracterizam a protrusão de raiz primária para a avaliação do vigor de sementes, uma vez que esta possui as características de um bom teste de vigor, baseando-se no princípio de que sementes mais vigorosas emitem raiz primária mais rapidamente que as sementes de baixo vigor (ROCHA et al., 2016). Assim, a utilização do ImageJ[®] poderá ser um procedimento valioso para caracterizar a protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico no ranqueamento de lotes com diferentes níveis de vigor.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada nos Laboratórios de Análise de Sementes e de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal (LPV) da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (Esalq), Universidade de São Paulo (USP), em Piracicaba, São Paulo. Foram utilizadas sementes de grão-de-bico dos cultivares Aleppo e Kalifa, sendo o primeiro representado por seis lotes e o segundo por cinco lotes, ambos com germinação superior a 70%, que é o mínimo exigido para comercialização de sementes desta espécie.

A pesquisa foi conduzida em duas épocas experimentais, visando verificar a consistência dos resultados. As sementes permaneceram armazenadas em sacos de papel kraft, em câmara fria e seca, a 10 °C e 30% de umidade relativa do ar durante todo o período experimental, que levou oito meses para ser finalizado, visando evitar o avanço da deterioração das sementes.

3.1. Teor de água

Determinado pelo método de estufa a 105 ± 3 °C por 24 horas (BRASIL, 2009), utilizando-se duas subamostras de 10 sementes de cada lote e cultivar. Os resultados foram expressos em porcentagem (base úmida). Essa determinação também foi realizada após a exposição das sementes às condições do teste de envelhecimento acelerado (tradicional e com solução saturada de NaCl).

3.2. Avaliações do desempenho das sementes

3.2.1. Germinação

Utilizou-se oito repetições de 25 sementes de cada lote de cada cultivar. As sementes foram colocadas em rolos de papel de germinação previamente umedecido com água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco. Os rolos foram mantidos em câmara de germinação regulada a 20 °C (BRASIL, 2009). Realizou-se as avaliações no quinto (primeira contagem de germinação) e oitavo dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em percentual de plântulas normais.

3.2.2. Condutividade elétrica

A metodologia adotada para essa avaliação foi a recomendada por Araújo et al. (2022). Foram utilizadas oito amostras de 50 sementes para cada lote de cada cultivar, previamente escolhidas, com remoção das sementes com tegumento danificado. Em seguida, as sementes foram pesadas (com precisão de 0,01g) e, posteriormente, colocadas em copos de plástico contendo 150 mL de água deionizada, permanecendo em germinador regulado a temperatura constante de 25 ± 2 °C durante 24 horas. Após esse período de imersão, a condutividade elétrica da solução foi determinada em condutivímetro (Digimed, modelo DM-32), sendo que os valores médios obtidos para cada lote foram expressos em $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$ de semente.

3.2.3. Envelhecimento acelerado tradicional

As sementes foram distribuídas em camada única sobre a tela de inox, colocadas em caixa de plástico transparente (11 cm x 11 cm x 3,5 cm), com 40 mL de água no fundo. As caixas com as sementes permaneceram em câmara de envelhecimento jaquetada com água, a 41 °C, por 48 horas (ARAÚJO et al., 2021). Após este período, oito repetições de 25 sementes de cada lote de cada cultivar foram utilizadas para instalação do teste de germinação como descrito anteriormente. As avaliações foram realizadas aos cinco dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

3.2.4. Envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl

O mesmo procedimento descrito para conduzir o procedimento tradicional foi utilizado, exceto para o volume de 40 mL de água, substituído por solução saturada de NaCl (JIANHUA e McDONALD, 1997). Esta solução foi obtida por meio da diluição de 40 g de NaCl em 100 mL de água, proporcionando assim ambiente com 76% de umidade relativa do ar. As caixas com as sementes permaneceram em câmara de envelhecimento jaqueta com água, a 41 °C, por 48 horas. As avaliações foram realizadas aos cinco dias após a semeadura e os resultados expressos em porcentagem de plântulas normais.

3.2.5. Emergência de plântulas em campo

Foram utilizadas oito repetições de 50 sementes de cada lote de cada cultivar, cada uma representada por um sulco de 4 m de comprimento, com 7 cm de profundidade e espaçado de 50 cm. As sementes foram distribuídas de maneira equidistante e cobertas com 3 cm de terra. O solo foi irrigado por aspersão, de acordo com a necessidade. Nas avaliações foram consideradas apenas as plântulas que apresentarem hipocótilo maior que 1 cm, determinando-se a porcentagem de plântulas normais emergidas. Quando houve estabilização das contagens, foi calculada a porcentagem de emergência de plântulas, obtendo-se valores médios por lote e cultivar.

3.2.6. Índice de velocidade de emergência

Conduzido paralelamente com o teste de emergência de plântulas em campo, anotando-se o número de plântulas acima da superfície do solo, diariamente, até o 13^o dia, e a cada 48 horas até a estabilização. Ao final do teste foi calculado o índice de velocidade de emergência, empregando-se a fórmula proposta por Maguire (1962).

3.3. Análise computadorizada de imagens de sementes e plântulas

3.3.1. Teste de vigor (SVIS[®])

Foi realizado pelo *software* SVIS[®], com oito repetições de 20 sementes por lote de cada cultivar. A distribuição foi feita sob duas folhas de papel de germinação, dispostas em duas fileiras com 10 sementes no terço superior e cobertas com uma terceira folha, para então ser feito o rolo de papel. O substrato foi previamente umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca. Os rolos foram mantidos em germinador a 20 °C com avaliações aos 4 e 5 dias e a 25 °C, com avaliação aos 4 dias.

Vale ressaltar que, antes dos testes oficiais aqui descritos foram realizados testes preliminares testando a temperatura de 25 °C com avaliação aos 5 dias. No entanto, ao final deste período as plântulas eram muito grandes e desenvolvidas, o que inviabilizava a sua disposição na área útil do scanner para a aquisição de imagens. Diante disso, essa combinação de período de exposição e temperatura foi descartada nos testes oficiais.

Ao final de cada período de germinação, as plântulas e as sementes não germinadas de cada repetição de cada lote e cultivar foram transferidas para uma folha de E.V.A (etil vinil

acetato) de coloração azul com dimensões de 30 x 22 cm (correspondentes ao tamanho da área útil de digitalização do escâner), proporcionado, assim, o contraste necessário para análise pelo sistema. Em seguida, as imagens foram digitalizadas por meio de um escâner HP scanjet 200, instalado em posição invertida no interior de uma caixa de alumínio (60,0 x 50,0 x 12,0 cm), ajustando em resolução de 100 dpi e acoplado a um computador.

As imagens obtidas foram processadas pelo *software* SVIS[®], que registra em seu sistema operacional os comprimentos obtidos para as plântulas. Foram obtidos os valores médios de comprimento total de plântulas em milímetros, posteriormente transformados em centímetros e do índice de vigor, que varia entre 0 e 1000, sendo o vigor das sementes diretamente proporcional ao aumento desse índice.

3.3.2. Avaliação da protrusão da raiz primária (visual e análise de imagens)

Foram instaladas oito repetições de 20 sementes para cada lote de cada cultivar. A distribuição das sementes foi feita sobre duas folhas de papel de germinação, cobertas com a terceira folha para então ser feito o rolo de papel. O substrato foi previamente umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca. Os rolos com as sementes foram mantidos em germinador a 20 e 25 °C durante 30, 32 e 34 horas.

A análise visual se deu após cada período, os rolos contendo as sementes foram abertos, removendo-se a folha de papel utilizada para cobrir as sementes e realizada a contagem das plântulas com protrusão da raiz primária de tamanho ≥ 1 mm para o cálculo posterior do percentual de protrusão da raiz primária. Em seguida, os rolos foram submetidos a um equipamento descrito por Gomes-Júnior (2020), onde as imagens das plântulas foram capturadas por transluminação para posterior análise da protrusão da raiz primária utilizando a análise de imagens. O rolo contendo as sementes, previamente aberto para a análise visual da protrusão da raiz primária foi posicionado diretamente sobre a plataforma de iluminação do equipamento, contendo um painel de LED de 40 x 40 cm, potência de 32W, emissão de 2200 lúmen, temperatura de cor de 6000 K e índice de reprodução de cor (IRC) >70%. O mecanismo de iluminação foi ligado e a plataforma fechada. A captura das imagens foi realizada utilizando uma câmera digital (Webcam Logitech C920) instalada no interior do equipamento e conectada a um computador (processador Intel Core i7 de 3.50 GHz, 16GB de memória RAM, HD de 1TB) e monitor de 23 polegadas via *Universal Serial Bus* (USB). As imagens foram salvas no computador para posterior análise utilizando o *software* ImageJ[®] (SCHNEIDER et al., 2012).

Na análise pelo *software* ImageJ[®] foram avaliados parâmetros morfológicos de perímetro, área, circularidade, relação de aspecto (*aspect ratio*), redondeza (*roundness*) e solidez (*solidity*) de cada semente (Tabela 1), que foram utilizados como indicadores de alterações associadas à protrusão da raiz primária.

Os percentuais de protrusão da raiz primária para cada lote de cultivar, caracterizados pelos atributos morfológicos e resultados da análise de imagens, foram comparados com os obtidos nos outros testes de vigor e também com a avaliação visual do percentual de emissão da raiz primária.

Tabela 1. Descritores morfológicos utilizados como indicadores de alterações associadas à protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico.

	O perímetro representou a medida do contorno bidimensional da semente, expresso em milímetros. Aumento expressivo no valor do perímetro foi associado à protrusão da raiz primária.
	A área representou a quantidade de espaço bidimensional, ou seja, a superfície da semente, expressa em milímetros quadrados. O aumento expressivo no valor da área foi associado à protrusão da raiz primária.
	A circularidade , obtida a partir da equação $C = 4\pi \times \frac{\text{área}}{(\text{perímetro})^2}$, representou o grau de aproximação da imagem bidimensional da semente com o formato circular delimitado pelo círculo inscrito (apresenta-se como 1 para sementes circulares e valores menores do que 1 para sementes com outras formas). Valor muito inferior a 1 foi associado à protrusão da raiz primária.
	A relação de aspecto , $RA = \frac{[\text{Maior eixo}]}{[\text{Menor eixo}]}$, representou a razão entre o maior e o menor diâmetro da elipse que circunscreve a semente (quanto maior a razão, mais alongada é a semente). Maior valor da razão foi associado à protrusão da raiz primária.
	A redondeza , calculada pela fórmula: $R = 4 \times \frac{[\text{Área}]}{\pi \times [\text{Maior eixo}]^2}$, calcula o quanto a imagem da semente é redonda sem considerar as rugosidades do perímetro da mesma. Valores próximos de 1 indicam maior redondeza das sementes e valores muito abaixo de 1 indicam protrusão de raiz primária.
	A solidez , $S = \frac{[\text{Área}]}{[\text{Área convexa}]}$, representou a área da semente dividida pela sua área convexa (delimitada pelo contorno convexo imaginário em torno da semente). Menor valor de solidez foi associado à protrusão da raiz primária, pois quanto mais o valor se desvia de 1, maior será a área da semente.

3.4. Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk. A análise da variância dos dados referentes a cada cultivar e teste foi conduzida de acordo com delineamento inteiramente casualizado, com exceção dos dados referentes à emergência de plântulas em campo e índice de velocidade de emergência que foram analisados de acordo com delineamento de blocos casualizados ao acaso. Os dados dos tratamentos relacionados à avaliação da protrusão da raiz primária nas temperaturas de 20 e 25 °C durante 30, 32 e 34 horas foram avaliados dentro de cada temperatura e tempo, comparando-se os lotes de sementes. A análise estatística foi realizada utilizando o *software* R e as médias foram comparadas pelo teste de LSD a 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas separadamente para cada época de avaliação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeira época de avaliação

4.1.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes

Na Tabela 2 encontram-se os resultados das avaliações de potencial fisiológico dos lotes de sementes de grão-de-bico dos cultivares Aleppo e Kalifa. Os valores de teor de água inicial das sementes do cultivar Aleppo variaram de 8,7% a 9,8% e de 8,6% a 9,7% para Kalifa. Após o envelhecimento acelerado tradicional os valores variaram de 23,5% a 24,7% para Aleppo e de 23,2% a 24,7% para Kalifa. Para o envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl a variação foi de 13,2% a 13,5% no cultivar Aleppo e de 13,4% a 13,7% em Kalifa. Conforme recomendado por Marcos-Filho (2020), os resultados de grau de umidade inicial das sementes não apresentaram variações maiores que 2 a 3 pontos percentuais e após envelhecimento acelerado não houveram variações que superassem os 4 pontos percentuais, ou seja, os lotes de sementes se mantiveram dentro do recomendado pela literatura para assegurar a consistência dos resultados.

O uso da solução salina saturada para o teste de envelhecimento acelerado causa redução da umidade relativa para 55 a 87%, tornando o teste menos severo, resultando em absorção mais lenta de água pelas sementes, porém sem reduzir a eficiência em relação ao procedimento tradicional (MARCOS-FILHO et al., 2001). Assim, para ambos cultivares, o grau de umidade das sementes após envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl foi mais baixo em relação ao método tradicional.

Tabela 2. Germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), envelhecimento acelerado tradicional (EAT), envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (EASS), condutividade elétrica (CE), emergência de plântulas em campo (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Lote	G	PC	EAT	EASS	CE	EC	IVE
	%		$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$			%	
Cultivar Aleppo							
A1	92 a*	81 ab	60 bc	81 b	56,1 ab	86 a	12,1 ab
A2	91 ab	83 a	82 a	90 a	54,2 a	89 a	12,4 a
A3	88 ab	75 bc	53 c	81 b	91,8 d	82 a	11,5 ab
A4	79 c	72 c	61 bc	72 c	64,2 c	73 b	10,1 c
A5	77 c	66 c	59 bc	74 bc	64,6 c	82 a	11,4 b
A6	85 bc	75 bc	62 b	76 bc	61,1 bc	84 a	11,6 ab
CV (%)	13,94	15,83	13,06	9,95	8,13	8,35	8,51
Cultivar Kalifa							
K1	84 ab	67 bc	51 b	73 b	58,0 a	89 a	12,2 a
K2	75 b	59 cd	9 d	66 bc	72,7 a	91 a	12,3 a
K3	81 ab	53 d	4 d	61 c	57,5 a	87 a	12,0 a
K4	89 a	70 ab	64 a	71 b	57,0 a	91 a	12,5 a
K5	87 a	77 a	38 c	83 a	65,7 a	93 a	12,7 a
CV (%)	15,88	13,75	20,87	12,05	25,06	5,08	4,82

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Quanto à germinação, foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os lotes de sementes dos dois cultivares. Para o cultivar Aleppo, o lote A1, com 92% de germinação, apresentou melhor desempenho em relação aos lotes A4 (79%), A5 (77%) e A6 (85%). Para o cultivar Kalifa os lotes K4 (89%) e K5 (87%) apresentaram maior germinação enquanto que o lote K2, apresentou a menor germinação (75%)

O grão-de-bico não está entre as espécies existentes na normativa brasileira que define os padrões mínimos de germinação para comercialização das sementes, mas pode ser comparado à outra espécie como a ervilha, uma hortaliça leguminosa que pertence à mesma família e possui percentual de germinação mínimo de 70% para a comercialização de sementes básicas (BRASIL, 2013). Assim, os lotes de sementes dos dois cultivares atendem aos padrões mínimos de percentual de germinação necessários para a comercialização, assegurando a confiabilidade dos resultados com a realidade das empresas produtoras de sementes de grão-de-bico.

Quanto à primeira contagem de germinação também foram observadas diferenças estatísticas entre os lotes dos dois cultivares. Para o cultivar Aleppo, o lote A2 apresentou

melhor desempenho em relação aos lotes A3, A4, A5 e A6. Para o cultivar Kalifa o lote K5 apresentou o maior percentual de plântulas normais na primeira contagem, enquanto que o lote K3 foi o de mais baixo percentual.

Com relação ao envelhecimento acelerado tradicional das sementes do cultivar Aleppo, o melhor desempenho foi observado para o lote A2 e o pior para o lote A3. Já para o envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl o melhor e pior comportamento foram observados para os lotes A2 e A4, respectivamente.

A utilização da solução saturada de NaCl proporcionou maior consistência dos resultados do teste de envelhecimento acelerado, já que os resultados confirmam de maneira mais eficiente o que se observou nos testes de germinação e primeira contagem de germinação. A alternativa do envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl já se mostrou eficaz para avaliar o vigor de sementes em diversas espécies, inclusive hortaliças leguminosas como a ervilha (NASCIMENTO et al., 2007), lentilha (FREITAS; NASCIMENTO, 2006), feijão-caupi (DOURADO et al., 2013) e grão-de-bico (DIAS et al., 2020).

Com relação ao cultivar Kalifa, no teste de envelhecimento tradicional, o lote K4 foi o de melhor desempenho e os lotes K2 e K3 apresentaram-se como os piores. Já, no teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, os lotes K5 e K3 apresentaram o melhor e pior comportamento, respectivamente.

Para o teste de condutividade elétrica das sementes do cultivar Aleppo o lote A2 apresentou-se como o melhor e os piores foram os lotes A3, A4 e A5, que apresentaram maiores valores de condutividade em resposta à maior perda de lixiviados pelas sementes. Quanto ao cultivar Kalifa, não houve diferenças significativas entre os lotes na condutividade elétrica. A ausência de resultados significativos para este teste pode estar relacionada com a metodologia utilizada. Uma vez que, Dias et al. (2019) em pesquisa de adequação de metodologia do teste com sementes de grão-de-bico, obteve resultados mais satisfatórios para classificar os lotes de sementes em níveis de vigor com 75 sementes, imersas em 100 mL de água, durante 30 horas.

Quanto à emergência de plântulas em campo das sementes do cultivar Aleppo o lote A4 apresentou desempenho inferior em relação aos demais lotes, com 73% de plântulas emersas. Por outro lado, o índice de velocidade de emergência diferenciou os lotes em três níveis de vigor, sendo o melhor e pior os lotes A2 e A4, respectivamente. Com relação ao cultivar Kalifa tanto para a emergência a campo, quanto para o índice de velocidade de emergência não foram observadas diferenças significativas entre os lotes. O percentual de

emergência de plântulas inferior em relação à germinação é explicado por Marcos-Filho (2015) em função das condições climáticas adversas proporcionadas pela exposição em campo e a influência desse fator nas sementes de baixo vigor.

De modo geral, os resultados da avaliação do potencial fisiológico das sementes apontaram para o cultivar Aleppo A2 e A4 como melhor e pior desempenho, respectivamente. Com relação ao cultivar Kalifa, K4 e K5 se destacaram positivamente, enquanto K2 e K3 demonstraram os piores comportamentos.

4.1.2. Análise computadorizada de imagens de plântulas

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da análise computadorizada de imagens de plântulas (software SVIS[®]) para as temperaturas de 20 °C e 25 °C e períodos de quatro e cinco dias de germinação. Vale ressaltar que o período de cinco dias não foi testado para a temperatura de 25 °C porque as plântulas cresceram muito a ponto de inviabilizar a aquisição de imagens por ultrapassar a área útil do escâner durante a digitalização das imagens. Além disso, a possibilidade de obter resultados satisfatórios aos quatro dias é um ponto positivo em relação à agilidade do teste, se comparado com os métodos tradicionais, conforme observado por Yagushi et al. (2014) obtendo resultados para avaliações com sementes de soja em apenas três dias com a análise computadorizada, enquanto os métodos tradicionais levariam seis dias.

Tabela 3. Comprimento médio de plântulas (CP) e índices de vigor (IV) obtidos em análises com o *software* SVIS® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Lote	CP (cm)			IV		
	20 °C		25 °C	20 °C		25 °C
	4 dias	5 dias	4 dias	4 dias	5 dias	4 dias
Cultivar Aleppo						
A1	3,9 d*	7,9 a	8,0 a	578 bc	934 a	940 a
A2	4,8 ab	7,5 a	8,1 a	672 a	925 a	956 a
A3	4,9 a	7,5 a	7,6 ab	674 a	941 a	917 ab
A4	4,1 cd	6,0 b	6,5 c	592 bc	806 b	850 bc
A5	3,9 d	6,3 b	6,9 bc	560 c	806 b	852 bc
A6	4,4 bc	7,6 a	6,0 c	622 b	924 a	780 c
CV (%)	10,71	12,39	14,12	7,73	7,43	9,27
Cultivar Kalifa						
K1	4,09 b	6,52 ab	6,50 ab	575 b	814 a	840 a
K2	3,81 bc	5,84 bc	5,74 bc	557 b	783 ab	810 a
K3	3,25 c	5,27 c	5,21 c	493 c	691 b	694 b
K4	4,87 a	6,41 ab	6,90 a	663 a	842 a	883 a
K5	5,21 a	7,25 a	7,24 a	717 a	872 a	890 a
CV (%)	14,10	16,53	14,29	9,89	11,80	10,16

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Para o cultivar Aleppo, na avaliação do comprimento de plântulas a combinação de 20 °C com quatro dias de germinação diferenciou os lotes em quatro níveis de vigor, sendo os lotes A1 e A5 como inferiores em relação aos lotes A2, A3 e A6. Na análise de plântulas com cinco dias de idade a 20 °C houve diferenciação em apenas dois níveis de vigor, sendo os lotes A4 e A5 com os menores comprimentos de plântulas em relação aos demais lotes. Na análise do comprimento de plântulas com quatro dias de idade a 25 °C, os lotes A1 e A2 foram superiores e os lotes A4 e A6 os piores. Quanto ao índice de vigor nas análises em plântulas com quatro dias de idade a 20 °C os lotes A2 e A3 foram classificados como superiores e o lote A5 como inferior. Nas análises de índice de vigor em plântulas com cinco dias de idade a 20 °C a diferenciação dos lotes foi idêntica ao comprimento de plântulas, com os lotes A4 e A5 inferiores aos demais lotes; já na análise de plântulas com quatro dias de idade a 25 °C os maiores índices de vigor foram observados para os lotes A1 e A2, que foram superiores aos lotes A4, A5 e A6.

Quanto ao cultivar Kalifa, na avaliação de plântulas com quatro dias de idade, a 20 °C e 25 °C, os lotes K4 e K5 apresentaram os maiores valores de comprimento de plântulas e o menor valor foi observado para o lote K3 (Tabela 3). Já na avaliação de plântulas com

cinco dias de idade a 20 °C os resultados foram semelhantes à avaliação com quatro dias, com o lote K5 apresentando o maior comprimento de plântulas. Para o índice de vigor, tanto em plântulas com quatro e cinco dias de idade nas temperaturas de 20 °C e 25 °C, foi possível identificar o lote K3 como o de pior desempenho.

Na prática, o teste de comprimento de plântulas é bem mais rápido e simples, no sentido de coletar imagens e também para analisá-las, se realizado com plântulas de tamanho menor. Em pesquisa com sementes de milho, Javorski et al. (2018) observaram maior eficiência na determinação do vigor a partir da análise computadorizada de plântulas (SVIS[®]) com as avaliações aos dois dias, em detrimento de três dias de germinação.

Considerando as avaliações em plântulas com quatro e cinco dias de idade nas temperaturas de 20 °C e 25 °C, constatou-se que na avaliação SVIS[®] de plântulas com quatro dias a 20 °C, tanto para comprimento de plântulas quanto para o índice de vigor, os lotes do cultivar Aleppo foram classificados de maneira semelhante às avaliações de primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado (tradicional e com solução saturada de NaCl), condutividade elétrica e índice de velocidade de emergência de plântulas, ou seja, o lote A2 de maior vigor e os lotes A4 e A5 como os de menor vigor. Já para o cultivar Kalifa, a análise SVIS[®] em plântulas com quatro dias de idade a 20 °C possibilitou a separação dos lotes de maneira semelhante à primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, com os lotes K4 e K5 de melhor atuação e o lote K3 como pior.

4.1.3. Avaliação da protrusão da raiz primária

Os resultados da avaliação visual da protrusão da raiz primária (≥ 1 mm) estão apresentados na Tabela 4. Para o cultivar Aleppo, nos tratamentos de 20 °C/ 32 h, 25 °C/ 30 h e 25 °C/ 34 h não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os lotes. Porém, a 20 °C/ 30 h foi verificada maior porcentagem de protrusão da raiz primária para o lote A3 (68%) e menor para o lote A5 (38%); a 20 °C/ 34 h, os lotes A2 e A3 obtiveram o melhor desempenho, enquanto que o lote A4 apresentou o pior; no tratamento a 25 °C/ 32 h, os melhores comportamentos foram observados para os lotes A2 (93%) e A3 (92%) e o pior foi observado para o lote A6 (69%).

A combinação 20 °C/ 34 h para avaliação da protrusão da raiz primária ranqueou os lotes do cultivar Aleppo de maneira semelhante aos testes de primeira contagem de

germinação, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl e índice de velocidade de emergência (Tabela 2), identificando A2 como o de maior vigor e lote A4 como o de menor vigor. Para os parâmetros avaliados pelo SVIS[®] (Tabela 3), o comprimento de plântulas e o índice de vigor na combinação de 20 °C aos quatro dias, também apresentou a mesma tendência de classificação dos lotes.

Para o cultivar Kalifa, a 20 °C/ 34 h não houve diferença significativa entre os lotes quanto à análise visual da protrusão da raiz primária. Porém, os demais tratamentos ranquearam os lotes em dois níveis de vigor, com o lote K5 demonstrando-se superior (Tabela 4). Essa melhor performance do lote K5 também foi evidenciada nas avaliações de germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (Tabela 2) e nos parâmetros de comprimento de plântulas e índice de vigor da análise SVIS[®] (Tabela 3). Destaca-se que a discriminação dos lotes do cultivar Kalifa observada em 20 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h foi idêntica entre os dois tratamentos e também semelhante ao índice de vigor observado em 25 °C / 4 dias (Tabela 3), em que apenas o lote K3 foi diferenciado dos demais, como pior.

Segundo Nascimento et al. (2016), a temperatura ótima para a germinação das sementes de grão-de-bico situa-se entre 20 °C e 30 °C. Para ambos cultivares, o maior percentual de protrusão da raiz primária pela análise visual se deu a 25 °C/ 34 h. No caso do cultivar Aleppo, esse tratamento não foi sensível para a diferenciação dos lotes quanto ao vigor, porém, para o cultivar Kalifa, foi possível identificar o lote K3 como o menos vigoroso em relação aos demais lotes.

Tabela 4. Porcentagem de plântulas com protrusão da raiz primária (P.R.P.) obtidas na análise visual após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

P.R.P. (%)						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	48 bc*	68 a	61 ab	64 a	83 b	86 a
A2	53 b	68 a	71 a	79 a	93 a	89 a
A3	68 a	66 a	71 a	67 a	90 a	89 a
A4	52 b	60 a	51 b	71 a	83 b	83 a
A5	38 c	59 a	61 ab	81 a	75 bc	84 a
A6	41 bc	68 a	59 ab	69 a	69 c	93 a
CV (%)	26,50	18,61	22,08	20,80	18,20	9,05
Cultivar Kalifa						
K1	38 b	53 a	63 a	55 b	61 b	71 a
K2	37 b	56 a	59 a	73 a	69 ab	78 a
K3	37 b	32 b	56 a	54 b	56 b	56 b
K4	42 b	61 a	60 a	65 ab	59 b	73 a
K5	54 a	56 a	77 a	75 a	81 a	84 a
CV (%)	28,31	30,07	25,20	23,07	22,76	20,72

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

A germinação é considerada a fase mais crítica do ciclo de vida da planta e este processo inclui eventos começando com a absorção de água pela semente seca e madura e terminando com a protrusão da raiz primária através dos tecidos da semente (RAJJOU et al., 2012). A temperatura influenciaria a germinação tanto por agir sobre a velocidade de absorção de água como também sobre as reações bioquímicas que determinam todo o processo (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Assim, a maior temperatura (25 °C) teria contribuído para acelerar esses processos e proporcionar um percentual mais elevado de protrusão da raiz primária, em sementes viáveis.

Os resultados apresentados nas Tabelas 5 a 10 referem-se às alterações nos parâmetros morfológicos de perímetro, área, circularidade, relação de aspecto, redondeza e solidez obtidos pelo *software* ImageJ®, visando a caracterização da protrusão da raiz primária.

Com relação aos resultados de perímetro do cultivar Aleppo (Tabela 5), não foram observadas diferenças significativas nos tratamentos 20 °C/ 34 h e 25 °C / 30 h. Nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h foi observado desempenho superior para o lote A3. Já na combinação de 20 °C/ 32 h, o lote A4 apresentou o valor mais baixo de

perímetro das sementes, enquanto os lotes A1 e A2 apresentaram valores superiores de perímetro.

Para o cultivar Kalifa não foram observadas diferenças significativas para os resultados de perímetro nos tratamentos 20 °C/ 30 h e 25 °C/ 30 h. O tratamento de 25 °C/ 32 h diferenciou o lote K5 com o maior perímetro em relação aos demais lotes e o tratamento de 25 °C/ 34 h evidenciou o lote K3 com o menor perímetro entre os lotes. Nos tratamentos de 20 °C/ 32 h e 20 °C/ 34 h o ranqueamento dos lotes se deu em três níveis de vigor, apontando maiores valores de perímetro para os lotes K4 e K5 e menores perímetro para os lotes K2 e K3. Essa separação dos lotes foi semelhante ao observado nos testes de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado tradicional e com solução saturada de NaCl, e ainda com todos os parâmetros analisados na análise pelo SVIS[®]. Dessa forma, para esse cultivar, o perímetro seria útil para classificar os lotes de maneira eficiente.

Tabela 5. Resultados de perímetro das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ[®] após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Lote	Perímetro (cm)					
	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	4,55 b*	4,61 a	4,41 a	5,00 a	4,95 c	5,51 bc
A2	4,57 b	4,55 ab	4,47 a	5,19 a	5,28 ab	5,54 bc
A3	4,78 a	4,49 abc	4,55 a	5,26 a	5,50 a	5,82 a
A4	4,61 b	4,35 c	4,36 a	5,27 a	5,31 ab	5,37 c
A5	4,62 b	4,41 bc	4,43 a	5,38 a	5,07 bc	5,48 bc
A6	4,57 b	4,46 bc	4,40 a	5,24 a	4,81 c	5,69 ab
CV (%)	2,44	3,37	3,42	5,86	5,41	4,76
Cultivar Kalifa						
K1	4,03 a	4,09 b	4,21 bc	4,31 a	4,68 b	4,96 a
K2	3,93 a	3,98 c	4,09 c	4,37 a	4,76 b	4,93 a
K3	4,01 a	4,02 bc	4,12 c	4,24 a	4,58 b	4,62 b
K4	4,06 a	4,21 a	4,29 ab	4,40 a	4,77 b	4,95 a
K5	4,03 a	4,21 a	4,43 a	4,49 a	5,45 a	5,23 a
CV (%)	2,42	2,49	3,38	5,29	6,00	6,05

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Em relação aos resultados de área, não houve diferença estatística entre os lotes dos dois cultivares nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 20 °C/ 34 h e 25 °C/ 30 h (Tabela 6). Porém, no tratamento de 20 °C / 32 h os lotes dos dois cultivares foram ranqueados em dois níveis de

vigor, com maior valor de área para o lote A1 do cultivar Aleppo, assim como aconteceu na germinação (Tabela 2) em que A1 foi superior aos demais. Os tratamentos 25 °C / 32 h e 25 °C / 34 h permitiram a discriminação dos lotes do cultivar Aleppo, com maiores valores de área para o lote A3, conforme foi observado na avaliação visual da protrusão da raiz primária no tratamento de 20 °C/ 32 h (Tabela 4).

Para o cultivar Kalifa, o tratamento de 20 °C/ 32 h apontou menor valor de área para o lote K2, no tratamento de 25 °C/ 32 h o lote K5 apresentou maior valor de área em relação a K2 e K3, que foram os piores. Resultados semelhantes também foram evidenciados na caracterização fisiológica dos lotes pela primeira contagem e no envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (Tabela 2), no comprimento de plântulas a 20 °C/ 5 dias (Tabela 3) e na avaliação visual da protrusão da raiz primária a 25°/ 32 h (Tabela 4).

Tabela 6. Resultados de área das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Lote	Área (cm ²)					
	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	1,24 a*	1,18 a	1,07 a	1,29 a	1,15 bc	1,16 c
A2	1,24 a	1,11 b	1,07 a	1,29 a	1,18 b	1,16 c
A3	1,27 a	1,12 b	1,10 a	1,32 a	1,22 a	1,21 a
A4	1,24 a	1,00 b	1,06 a	1,31 a	1,19 ab	1,17 bc
A5	1,27 a	1,10 b	1,06 a	1,32 a	1,17 b	1,17 bc
A6	1,24 a	1,10 b	1,07 a	1,32 a	1,11 c	1,19 ab
CV (%)	2,32	4,69	2,76	3,48	3,45	2,29
Cultivar Kalifa						
K1	1,00 a	1,01 a	1,03 a	1,02 a	1,22 ab	1,23 a
K2	0,98 a	0,97 b	1,01 a	1,00 a	1,19 b	1,20 a
K3	1,02 a	1,03 a	1,04 a	1,04 a	1,21 b	1,22 a
K4	1,00 a	1,02 a	1,04 a	1,02 a	1,22 ab	1,20 a
K5	0,98 a	1,01 a	1,05 a	1,00 a	1,26 a	1,23 a
CV (%)	3,53	3,25	3,41	3,51	3,42	3,98

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Em relação aos resultados de circularidade do cultivar Aleppo (Tabela 7), diferenças significativas entre os lotes foram observadas nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 20 °C/ 32 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h. No tratamento de 20 °C/ 32 h o melhor desempenho, ou seja, menor circularidade foi observada para o lote A2 e o pior, com maior circularidade foi apresentado pelo lote A4. Em 20 °C/ 30 h o lote A3 foi melhor em relação aos demais lotes, a 25 °C/ 32 h

os lotes A2 e A3 foram superiores, enquanto os lotes A1 e A6 foram inferiores e em 25 °C/ 34 h os lotes A3 e A6 foram os de maior vigor e os lotes A4 e A5 com baixo vigor.

Para o parâmetro de circularidade, o tratamento 20 °C/ 32 h foi o que diferenciou os lotes de forma mais coerente com os testes de vigor (primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, índice de velocidade de emergência e comprimento de plântulas a 25 °C / 4 dias), em que o lote A4 apresentou valores mais altos, ou seja, mais próximo de 1 e o lote A2 menores valores de circularidade. Assim, valores inferiores a 1 indicam relação oposta à circularidade e, conseqüentemente, sinalizam a protrusão da raiz primária.

Por outro lado, com o cultivar Kalifa foram observadas diferenças de circularidade entre os lotes para todas as combinações de períodos de germinação e temperatura. Nos tratamentos 20 °C/ 30 h e 20 °C/ 32 h os lotes com K4 e K5 apresentaram os menores valores de circularidade e o lote K3 o maior valor de circularidade, resultados semelhantes foram obtidos para comprimento de plântulas e índice de vigor SVIS[®] nos tratamentos de 20 °C/ 4 dias e 25 °C/ 5 dias. No tratamento de 20 °C/ 34 h a menor circularidade foi observada para o lote K5 e os lotes com maiores valores de circularidade foram K2 e K3. Nos tratamentos de 25 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h a menor e a maior circularidade foram observadas para os lotes K5 e K3, respectivamente.

Tabela 7. Resultados de circularidade das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Lote	Circularidade					
	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	0,76 b*	0,71 ab	0,70 a	0,67 a	0,63 c	0,53 ab
A2	0,76 b	0,69 a	0,69 a	0,63 a	0,58 a	0,52 ab
A3	0,71 a	0,71 abc	0,68 a	0,64 a	0,55 a	0,50 a
A4	0,74 b	0,74 c	0,72 a	0,63 a	0,58 ab	0,56 b
A5	0,75 b	0,73 bc	0,70 a	0,61 a	0,62 bc	0,54 b
A6	0,75 b	0,71 ab	0,71 a	0,64 a	0,64 c	0,50 a
CV (%)	3,40	3,92	4,33	8,12	6,70	6,99
Cultivar Kalifa						
K1	0,78 ab	0,77 b	0,74 bc	0,72 bc	0,72 bc	0,66 b
K2	0,80 bc	0,77 bc	0,76 c	0,68 ab	0,68 b	0,65 ab
K3	0,80 c	0,80 c	0,77 c	0,74 c	0,74 c	0,74 c
K4	0,77 a	0,73 a	0,73 b	0,69 ab	0,70 bc	0,65 ab
K5	0,76 a	0,73 a	0,69 a	0,66 a	0,58 a	0,61 a
CV (%)	2,24	4,30	4,16	6,66	7,13	7,55

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Todos os tratamentos do parâmetro circularidade foram eficientes para definir o lote K5 como o mais vigoroso e o lote K3 como o de mais baixo vigor, esses resultados também foram observados na primeira contagem de germinação, no envelhecimento acelerado tradicional, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (Tabela 2), no comprimento de plântulas e índice de vigor obtidos a partir da análise pelo SVIS® (Tabela 3). No caso da análise visual da protrusão da raiz primária, todos os tratamentos classificaram o lote K5 como o melhor.

A redondeza apresenta uma relação inversa à relação de aspecto, de forma que valores maiores ou mais próximos de 1 indicam sementes mais redondas e, conseqüentemente, ausência de protrusão da raiz primária. Já na relação de aspecto, valores mais altos remetem a sementes com protrusão da raiz primária, devido ao acréscimo no tamanho do maior eixo da elipse que circunscribe a semente.

Quanto aos resultados da relação de aspecto das sementes dos lotes do cultivar Aleppo foram observadas diferenças significativas nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 25 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h (Tabela 8). No tratamento de 20 °C/ 30 h o lote A3 apresentou maior relação de aspecto em relação aos demais lotes; no tratamento de 25 °C/ 30 h os lotes A3, A4 e A5 obtiveram maior relação de aspecto e o lote A1 a menor relação de aspecto. No

tratamento de 25 °C/ 32 h, o lote A3 foi o de melhor desempenho (maior relação de aspecto) em relação aos lotes A1, A5 e A6. Já, a 25 °C/ 34 h o lote A3 apresentou maior relação de aspecto e, conseqüentemente, melhor.

Para o cultivar Kalifa foram observadas diferenças significativas em todos os tratamentos. Nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 20 °C/ 34 h e 25 °C/ 32 h os lotes foram diferenciados em dois níveis de vigor e o lote K5 foi o melhor, com o valor mais alto de relação de aspecto. No tratamento 20 °C/ 32 h o lote K5 apresentou o maior índice de relação de aspecto e os lotes K1 e K3 os índices mais baixos. Nos tratamentos de 25 °C/ 30 h e 25 °C/ 34 h o melhor e o pior desempenho foram observados para os lotes K5 e K3, respectivamente.

Tabela 8. Resultados de relação de aspecto das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Relação de Aspecto						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	1,20 b*	1,26 a	1,26 a	1,30 b	1,41 c	1,69 b
A2	1,19 b	1,28 a	1,29 a	1,37 ab	1,56 ab	1,67 b
A3	1,26 a	1,27 a	1,31 a	1,40 a	1,64 a	1,82 a
A4	1,20 b	1,23 a	1,25 a	1,42 a	1,59 ab	1,60 b
A5	1,20 b	1,24 a	1,27 a	1,46 a	1,50 bc	1,64 b
A6	1,20 b	1,26 a	1,27 a	1,38 ab	1,40 c	1,70 ab
CV (%)	2,64	3,24	3,47	6,71	7,63	6,54
Cultivar Kalifa						
K1	1,16 b	1,19 c	1,23 b	1,23 bc	1,24 b	1,35 b
K2	1,16 b	1,21 bc	1,22 b	1,30 abc	1,32 b	1,40 ab
K3	1,15 b	1,18 c	1,21 b	1,23 c	1,24 b	1,24 c
K4	1,17 b	1,25 a	1,24 b	1,31 ab	1,28 b	1,37 b
K5	1,20 a	1,24 ab	1,30 a	1,37 a	1,54 a	1,48 a
CV (%)	2,10	3,64	4,23	6,23	7,18	7,38

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Em relação aos resultados de redondeza dos lotes do cultivar Aleppo foram observadas diferenças significativas nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 25 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h (Tabela 9). No tratamento de 20 °C/ 30 h, o lote A3 apresentou o índice mais baixo de redondeza. A 25 °C/ 30 h os lotes A4 e A5 apresentaram os índices mais baixos e o lote A1 o índice mais alto de redondeza. A 25 °C/ 32 h, o lote A3 e A6 foram respectivamente, os de menor e maior índice de redondeza. No tratamento de 25 °C/ 34 h

novamente o lote A3 apresentou o menor índice de redondeza e para o lote A4 foi observado o maior índice. Esse resultado para A4 é semelhante aos obtidos no teste de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, emergência de plântulas em campo, índice de velocidade de emergência (Tabela 2) e protrusão da raiz primária no tratamento de 20 °C/ 34 h (Tabela 4).

Para o cultivar Kalifa, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre os lotes de sementes. Os tratamentos de 20 °C/ 30 h e 20 °C/ 34 h destacaram o melhor desempenho para o lote K5, com menor índice de redondeza. O tratamento de 20 °C/ 32 h indicou os lotes K4 e K5 como melhores e K1 e K3 os piores. O tratamento de 25 °C por 34 h ranqueou os lotes da mesma maneira para relação de aspecto e redondeza e foi mais semelhante aos testes de caracterização do potencial fisiológico dos lotes, comprimento de plântulas e índice de vigor (Tabela 2 e 3). Em 25 °C/ 32 h, o lote K5 obteve o melhor comportamento e os lotes K1 e K3 os piores, assim como foi observado na avaliação visual da protrusão da raiz primária em 25 °C/ 30 h (Tabela 4).

Tabela 9. Resultados de redondeza das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação.

Redondeza						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	0,84 b*	0,81 a	0,80 a	0,79 b	0,74 b	0,65 bc
A2	0,85 b	0,80 a	0,79 a	0,76 ab	0,68 ab	0,65 bc
A3	0,81 a	0,80 a	0,78 a	0,75 ab	0,66 a	0,61 a
A4	0,84 b	0,82 a	0,81 a	0,74 a	0,67 ab	0,67 c
A5	0,84 b	0,82 a	0,80 a	0,72 a	0,71 bc	0,66 bc
A6	0,84 b	0,81 a	0,80 a	0,75 ab	0,75 c	0,63 ab
CV (%)	2,49	2,76	3,10	5,72	5,98	5,23
Cultivar Kalifa						
K1	0,87 b	0,85 b	0,82 b	0,83 b	0,82 c	0,77 b
K2	0,87 b	0,84 ab	0,83 b	0,79 a	0,78 b	0,75 ab
K3	0,87 b	0,86 b	0,84 b	0,83 b	0,82 c	0,82 c
K4	0,86 b	0,81 a	0,82 b	0,79 a	0,80 bc	0,77 b
K5	0,84 a	0,82 a	0,78 a	0,76 a	0,70 a	0,72 a
CV (%)	1,96	3,16	3,46	4,50	4,96	5,86

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Em relação aos resultados de solidez dos lotes do cultivar Aleppo foram observadas diferenças significativas para os tratamentos 20 °C/ 30 h e 25 °C/ 32 h. No tratamento 20 °C/ 30 h o lote A3 diferenciou-se dos demais lotes, com menor valor de solidez, sendo o melhor. Já no tratamento a 25 °C / 32 h, o menor valor de solidez foi observado para o lote A3 e os maiores valores para os lotes A1, A5 e A6. Com relação aos lotes do cultivar Kalifa, foram observadas diferenças nos resultados de solidez em todos os tratamentos. No tratamento de 20 °C/ 30 h os lotes K1, K4 e K5 apresentaram os valores mais baixos de solidez e os lotes K2 e K3 os mais altos; a 20 °C/ 32 h os lotes K4 e K5 se diferenciaram dos demais com o índice mais baixo de solidez; já no tratamento de 20 °C/ 34 h ocorreu o ranqueamento dos lotes em três níveis, em que os índices mais altos foram observados para os lotes K2 e K3 e mais baixos para o lote K5. Para os tratamentos de 25 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h, o lote K3 apresentou o maior índice de solidez e o lote K5 apresentou os índices mais baixos de solidez.

Quanto ao cultivar Kalifa, em todos os tratamentos, o lote K3 foi classificado como o pior com os índices mais altos de solidez e o lote K5 como melhor e índices mais baixos. O tratamento 20 °C / 30 h classificou os lotes igual ao comprimento de plântulas a 25 °C / 4 dias (Tabela 3) e 25 °C/ 30 h, 25 °C / 32h, 25 °C / 34 h, foram igualmente eficientes para definir o lote K5 como melhor e o lote K3 como pior.

Tabela 10. Resultados de solidez das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ[®] após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na primeira época de avaliação. Piracicaba, 2022.

Solidez						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	0,93 b*	0,91 a	0,91 a	0,89 a	0,86 c	0,81 a
A2	0,93 b	0,90 a	0,90 a	0,87 a	0,83 ab	0,80 a
A3	0,91 a	0,91 a	0,90 a	0,87 a	0,82 a	0,79 a
A4	0,92 b	0,92 a	0,91 a	0,87 a	0,83 ab	0,82 a
A5	0,93 b	0,91 a	0,90 a	0,86 a	0,85 bc	0,82 a
A6	0,93 b	0,91 a	0,91 a	0,87 a	0,87 c	0,80 a
CV (%)	1,14	1,39	1,51	2,91	2,78	2,93
Cultivar Kalifa						
K1	0,93 a	0,93 b	0,92 ab	0,90 bc	0,91 bc	0,88 b
K2	0,94 b	0,93 b	0,93 c	0,89 ab	0,89 b	0,87 ab
K3	0,94 b	0,94 b	0,93 c	0,92 c	0,92 c	0,92 c
K4	0,93 a	0,91 a	0,91 b	0,89 ab	0,90 bc	0,87 ab
K5	0,93 a	0,91 a	0,89 a	0,87 a	0,83 a	0,85 a
CV (%)	0,70	1,51	1,46	2,68	2,96	2,74

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

A partir dos parâmetros morfológicos do cultivar Aleppo, no tratamento de 25 °C/ 32 h ocorreu a classificação que mais coincidiu com a análise visual da protrusão da raiz primária também a 25°C / 32 h e com os parâmetros avaliados pelo SVIS[®] a 25°C / 4 dias, onde os lotes A2 e A3 apresentaram-se como os melhores, enquanto o lote A6 caracterizou-se pior.

Para o cultivar Kalifa, K5 foi o melhor lote e K3 o pior. Essa classificação foi evidenciada pelos parâmetros circularidade, relação de aspecto, redondeza e solidez, de maneira que 25 °C/ 32 h proporcionou a maior sensibilidade para diferenciar os lotes a partir da protrusão da raiz primária.

4.2. Segunda época de avaliação

4.2.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes

Na Tabela 11 encontram-se os resultados das avaliações de potencial fisiológico dos lotes de sementes de grão-de-bico cultivares Aleppo e Kalifa. O teor de água inicial das sementes do cultivar Aleppo variou de 8,1% a 8,9% e do cultivar Kalifa de 7,6% a 8,2%.

Após o envelhecimento acelerado tradicional os valores variaram de 23,6% a 24,6% para Aleppo e de 23,4% a 25,1% para Kalifa. Para o envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl a variação foi de 13,7% a 13,9% no cultivar Aleppo e de 13,0% a 13,6% no cultivar Kalifa. Assim, os resultados de grau de umidade inicial das sementes e após o envelhecimento acelerado não apresentaram variações maiores que dois pontos percentuais, assegurando a uniformidade da umidade das sementes e a confiabilidade dos resultados.

Tabela 11. Germinação (G), primeira contagem da germinação (PC), envelhecimento acelerado tradicional (EAT), envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (EASS), condutividade elétrica (CE), emergência de plântulas em campo (EC) e índice de velocidade de emergência (IVE) de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Lote	G	PC	EAT	EASS	CE	EC	IVE
	%		$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}\cdot\text{g}^{-1}$			%	
Cultivar Aleppo							
A1	90 ab*	76 a	44 c	75 abc	71,3 a	79 ab	12,6 abc
A2	93 a	83 a	65 a	84 a	71,1 a	83 a	13,4 a
A3	90 ab	79 a	41 c	78 ab	100,3 b	79 ab	12,8 ab
A4	81 c	71 a	49 bc	67 c	69,2 a	72 b	11,2 d
A5	83 bc	72 a	55 ab	70 bc	71,8 a	76 ab	12,1 bcd
A6	83 bc	70 a	47 bc	74 bc	68,9 a	74 b	11,6 cd
CV (%)	9,19	13,97	21,55	12,2	5,41	8,83	9,45
Cultivar Kalifa							
K1	76 bc	69 ab	55 b	78 a	69,0 b	85 b	15,3 a
K2	72 c	63 bc	15 c	65 b	88,1 c	82 b	12,5 bc
K3	79 abc	56 c	6 d	57 b	68,4 b	77 c	10,7 c
K4	85 a	75 a	70 a	79 a	62,5 a	83 b	13,7 ab
K5	82 ab	75 a	49 b	86 a	69,7 b	90 a	14,9 a
CV (%)	10,00	11,07	20,67	11,56	6,89	5,94	13,92

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Com relação à germinação foram observadas diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os lotes de sementes dos dois cultivares. Para o cultivar Aleppo, o lote A2 apresentou melhor performance em relação aos lotes A4, A5 e A6. Para o cultivar Kalifa, o lote K4 apresentou a germinação mais alta, enquanto que o lote K2 foi o pior.

Com relação à primeira contagem de germinação não houve diferenças significativas entre os lotes do cultivar Aleppo. Para o cultivar Kalifa, os lotes K4 e K5 apresentaram maior percentual de plântulas normais na primeira contagem, enquanto que o lote K3 apresentou o pior.

Quanto ao envelhecimento acelerado tradicional das sementes do cultivar Aleppo, o lote A2 apresentou o melhor desempenho em relação aos lotes A1, A3, A4 e A6. Já para o envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, o melhor e o pior foram os lotes A2 e A4, respectivamente. Quanto ao cultivar Kalifa, no teste de envelhecimento acelerado tradicional o lote K4 foi o de melhor comportamento e o lote K3 apresentou o pior. No teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, os lotes K2 e K3 apresentaram-se piores em relação aos demais lotes.

Quanto à condutividade elétrica das sementes do cultivar Aleppo, o lote A3 apresentou-se como pior, ou seja, maior liberação de exsudatos e menor organização das membranas celulares no processo de embebição das sementes, em relação aos outros lotes, que não diferiram entre si, mas apresentaram menor perda de lixiviados. Para o cultivar Kalifa o melhor e o pior foram os lotes K4 e K2, respectivamente.

Quanto à emergência de plântulas em campo do cultivar Aleppo, o lote A2 apresentou desempenho superior em relação aos demais lotes, com 83% de plântulas emersas. Já para o índice de velocidade de emergência de plântulas, os lotes foram diferenciados em quatro níveis de vigor, sendo o melhor e o pior os lotes A2 e A4, respectivamente. Para o cultivar Kalifa, na emergência de plântulas em campo, o lote K5 apresentou melhor performance, com 90% de plântulas emersas, enquanto o lote K3 apresentou a pior com 77% de plântulas emersas. Já para o índice de velocidade de emergência de plântulas os lotes K1 e K5 apresentaram-se igualmente superiores e o lote K3 o pior.

No geral, conforme observado na primeira época experimental, para o cultivar Aleppo o lote A2 apresentou-se o melhor e o lote A4 o pior em relação aos demais lotes. Já para o cultivar Kalifa, os lotes K4 e K5 apresentaram-se os melhores e os lotes K2 e K3 os piores.

4.2.2. Análise computadorizada de imagens de plântulas

Na Tabela 12 estão apresentados os resultados da análise computadorizada de imagens de plântulas (software SVIS[®]) para as temperaturas de 20 °C e 25 °C e períodos de quatro e cinco dias de germinação. Na segunda época experimental também não foi avaliado o período de cinco dias para a temperatura de 25 °C, já que as plântulas cresceram muito inviabilizando a aquisição de imagens devido à limitação da área útil de digitalização do escâner.

Tabela 12. Comprimento médio de plântulas (CP) e índices de vigor (IV) obtidos em análises com o *software* SVIS® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Lote	CP (cm)			IV		
	20 °C		25 °C	20 °C		25 °C
	4 dias	5 dias	4 dias	4 dias	5 dias	4 dias
Cultivar Aleppo						
A1	3,8 cd*	7,1 a	7,2 bc	601 ab	885 a	887 ab
A2	4,3 ab	7,6 a	8,4 a	646 ab	926 a	945 a
A3	4,3 a	6,8 a	8,2 ab	652 a	848 a	937 a
A4	3,8 bcd	6,2 a	7,1 c	600 b	817 a	862 b
A5	4,1 abc	7,2 a	6,8 c	622 ab	873 a	863 b
A6	3,4 d	6,7 a	7,4 abc	545 c	867 a	902 ab
CV (%)	13,44	13,26	13,49	8,39	8,23	7,07
Cultivar Kalifa						
K1	3,9 b	6,1 bc	5,8 bc	593 ab	794 bc	784 ab
K2	3,9 c	5,7 cd	4,6 d	537 bc	756 cd	680 c
K3	3,1 c	5,0 d	5,2 cd	519 c	700 d	711 bc
K4	4,0 ab	7,0 b	6,8 ab	603 ab	844 b	861 a
K5	4,6 a	8,7 a	7,0 a	652 a	939 a	868 a
CV (%)	16,11	15,91	17,64	11,69	9,16	12,56

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Para o cultivar Aleppo não foram observadas diferenças estatísticas na avaliação do comprimento de plântulas após cinco dias de germinação a 20 °C. Na análise de plântulas com quatro dias de idade a 20 °C os lotes A3 e A6 apresentaram o melhor e pior comportamento, respectivamente. Já na análise de plântulas com quatro dias de idade a 25 °C o lote A2 apresentou o maior comprimento de plântulas e os lotes A4 e A5 os menores comprimentos de plântulas; resultados semelhantes foram observados nos testes de germinação, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl e índice de velocidade de emergência (Tabela 11). Com relação ao índice de vigor nas análises de plântulas com cinco dias de idade a 20 °C não houve diferenças estatísticas entre os lotes. Porém, na análise de plântulas com quatro dias de idade a 20 °C, assim como no comprimento de plântulas, os lotes A3 e A6 apresentaram, respectivamente, o melhor e o pior desempenho. Já na análise de plântulas com quatro dias de idade a 25 °C os lotes foram ranqueados em apenas dois níveis de vigor, sendo os lotes A2 e A3 superiores e os lotes A4 e A5 inferiores em relação aos demais lotes.

Quanto ao cultivar Kalifa, na avaliação de plântulas com quatro dias de idade a 20 °C, o lote K5 apresentou o maior valor de comprimento de plântulas e os menores valores foram observados para os lotes K2 e K3; na combinação de 20 °C com cinco dias de idade, o lote K5 manteve-se o melhor e o pior foi o lote K3. Na avaliação de plântulas com quatro dias de idade a 25 °C o melhor e o pior desempenho foram dos lotes K5 e K2, respectivamente. Para o índice de vigor, as avaliações de plântulas com quatro e cinco dias de idade a 20 °C, os lotes K5 e K3 apresentaram-se o melhor e o pior, respectivamente. Já na análise de plântulas com quatro dias de idade a 25 °C, os maiores índices de vigor foram dos lotes K4 e K5 e o menor índice foi observado no lote K2.

Observou-se que na avaliação SVIS[®] de plântulas com quatro dias a 25 °C, tanto para o comprimento de plântulas quanto para o índice de vigor, os lotes do cultivar Aleppo foram classificados de maneira semelhante às avaliações de germinação, envelhecimento acelerado (tradicional e com solução saturada de NaCl) e índice de velocidade de emergência de plântulas, ou seja, o lote A2 apresentou maior vigor e os lotes A4 e A5 apresentaram menor vigor.

Para o cultivar Kalifa, a análise SVIS[®] em plântulas com quatro dias de idade a 25 °C possibilitou a separação dos lotes de maneira semelhante à primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, evidenciando os lotes K4 e K5 como melhores e o lote K3 como o pior. Trabalhos com sementes de melão e pepino também apresentaram resultados mais consistentes com a análise das plântulas no SVIS[®] aos quatro dias (MARCOS FILHO et al., 2006; CHIQUITO et al., 2012)

Em estudo semelhante com sementes de feijão Gomes-Júnior et al. (2014) avaliaram o melhor período de germinação, ou seja, a melhor idade das plântulas para a análise automatizada com o software SVIS[®]. Os resultados obtidos foram semelhantes para os períodos de 3 e 4 dias de idade das plântulas, porém os autores recomendam a metodologia aos três dias devido ao ganho de tempo e agilidade com o teste.

4.2.3. Avaliação da protrusão da raiz primária

Os resultados da avaliação visual da protrusão da raiz primária (≥ 1 mm) estão apresentados na Tabela 13. Para o cultivar Aleppo, nos tratamentos de 20 °C/ 32 h e 20 °C/ 34 h os lotes não diferiram estatisticamente ($p \leq 0,05$); para 20 °C/ 30 h houve diferença entre os lotes, com o lote A3 (51%) apresentando o melhor desempenho e os lotes A1 (32%) e A6 (32%) os piores desempenhos, porém esses resultados não foram verificados nos testes de

caracterização do potencial fisiológico dos lotes de sementes. No tratamento a 25 °C/ 30 h foi verificada maior porcentagem de protrusão da raiz primária para o lote A2 (82%) e menor para o lote A5 (58%). No tratamento a 25 °C/ 32 h o melhor resultado foi observado para o lote A2 (87%) e os lotes A4 (69%) e A6 (70%) obtiveram os piores; já em 25 °C/ 34 h, os lotes A2 (94%) e A3 (94%) foram igualmente classificados como melhores, enquanto o lote A4 (75%), o pior.

O tratamento de 25 °C/ 34 h para avaliação visual da protrusão da raiz primária classificou os lotes do cultivar Aleppo de maneira semelhante aos testes de germinação, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl e índice de velocidade de emergência (Tabela 11), em que se observou o lote A2 como de mais alto vigor e o lote A4 como de mais baixo vigor.

A avaliação visual da protrusão da raiz primária resultou em diferença significativa entre os lotes para todos os tratamentos do cultivar Kalifa. Em todos os tratamentos foi observado resultado superior para o lote K5 (Tabela 13) e o lote K3 com o pior. Esse melhor comportamento apresentado para o lote K5 também foi observado nas avaliações de primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl e emergência de plântulas em campo (Tabela 11) e nos parâmetros de comprimento de plântulas e índice de vigor da análise SVIS[®] (Tabela 12).

Entre todos os tratamentos, o de 25 °C / 34 h, ou seja, maior temperatura e maior período de germinação, foi o que apresentou maior percentual de protrusão da raiz primária pela análise visual.

Tabela 13. Porcentagem de plântulas com protrusão da raiz primária (P.R.P.) obtidas na análise visual após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

P.R.P. (%)						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	32 c*	54 a	53 a	76 ab	76 bc	83 b
A2	46 ab	56 a	53 a	82 a	87 a	94 a
A3	51 a	57 a	59 a	74 ab	80 ab	94 a
A4	38 bc	47 a	53 a	70 bc	69 c	75 c
A5	36 bc	46 a	56 a	58 d	73 bc	79 bc
A6	32 c	41 a	41 a	64 cd	70 c	86 b
CV (%)	27,82	26,21	25,43	14,53	11,77	7,91
Cultivar Kalifa						
K1	33 b	35 b	41 bc	49 b	61 b	68 bc
K2	23 bc	34 b	39 bc	66 a	68 b	76 ab
K3	15 c	19 c	31 c	47 b	55 b	64 c
K4	30 b	35 b	53 b	55 ab	67 b	78 a
K5	48 a	58 a	68 a	67 a	82 a	83 a
CV (%)	39,93	31,30	29,95	20,89	19,00	12,50

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Os resultados apresentados nas Tabelas 14 a 19 referem-se às alterações nos parâmetros morfológicos de área, perímetro, circularidade, relação de aspecto, redondeza e solidez obtidos pelo *software* ImageJ[®], visando a caracterização da protrusão da raiz primária.

Com relação ao perímetro (Tabela 14) das sementes do cultivar Aleppo, no tratamento de 20 °C/ 32 h não houve diferença estatística entre os lotes; em 20 °C/ 30 h o lote A3 apresentou maior perímetro e o lote A6 o menor perímetro. Isso não ocorreu nos testes de avaliação do potencial fisiológico das sementes (Tabela 11); porém, foi observado resultado semelhante para comprimento de plântulas e índice de vigor obtidos no SVIS[®] no tratamento de 20 °C / 4 dias (Tabela 12). O tratamento 25 °C/ 32 h foi o único capaz de classificar o lote A2 com maior vigor a partir dos valores mais altos de perímetro, resultado que foi observado na maioria dos testes realizados.

Para o cultivar Kalifa, em todos os tratamentos foram observadas diferenças significativas entre os lotes. Os tratamentos de 20 °C/ 34 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h

destacaram o lote K5 com maior perímetro. No tratamento de 20 °C/ 32 h os lotes K2 e K3 apresentaram-se piores, com valores mais baixos de perímetro das sementes.

Quanto aos tratamentos 20 °C / 34 h, 25 °C / 32 h e 25 °C / 34 h os lotes foram classificados em três níveis de vigor, mas não houve coincidência com os resultados das avaliações do potencial fisiológico. Apenas no tratamento de 20 °C / 32 h ocorreu a mesma classificação observada no teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (Tabela 11).

Tabela 14. Resultados de perímetro das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ[®] após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Perímetro (cm)						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	4,23 abc*	4,29 a	4,38 b	4,92 a	5,13 b	5,31 b
A2	4,26 ab	4,33 a	4,45 ab	4,85 a	5,60 a	5,79 a
A3	4,30 a	4,35 a	4,53 ab	4,91 a	5,31 ab	5,76 a
A4	4,19 bc	4,32 a	4,45 ab	4,89 a	5,04 b	5,22 b
A5	4,23 abc	4,26 a	4,45 ab	4,57 b	0,06 b	5,39 b
A6	4,18 c	4,30 a	4,36 b	4,76 ab	5,14 b	5,44 b
CV (%)	1,70	2,78	2,44	4,06	6,46	5,21
Cultivar Kalifa						
K1	4,29 ab	4,44 a	3,91 c	4,65 b	4,88 c	4,99 c
K2	4,21 b	4,29 b	3,86 c	4,67 b	4,80 c	5,07 c
K3	4,24 b	4,32 b	3,89 c	4,55 b	4,65 c	4,87 c
K4	4,34 a	4,46 a	4,06 b	4,92 a	5,15 b	5,41 b
K5	4,37 a	4,54 a	4,19 a	5,08 a	5,52 a	5,72 a
CV (%)	2,11	2,38	2,29	4,49	4,79	4,62

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Em relação aos resultados de área (Tabela 15) das sementes do cultivar Aleppo, nos tratamentos de 20 °C/ 32 h e 25 °C/ 30 h não houve diferença estatística entre os lotes, para 25 °C/ 32 h as diferenças se deram em dois níveis de vigor, o lote A2 se destacou positivamente em relação aos demais lotes, conforme observado na caracterização do potencial fisiológico dos lotes e no comprimento de plântulas a 25 °C com quatro dias de idade. Nos tratamentos de 20 °C/ 34 h e 25 °C/ 34 h o lote A3 apresentou-se superior aos demais, semelhante aos parâmetros do SVIS[®] em 20 °C aos quatro dias de idade (Tabela 12) e à análise visual da protrusão da raiz primária no tratamento de 20 °C/ 30 h (Tabela 13).

Com relação aos resultados de área das sementes do cultivar Kalifa, não foram observadas diferenças significativas para o tratamento 25 °C/ 32 h. Porém, a 25 °C/ 30 h a classificação dos lotes se deu igual ao obtido na germinação (Tabela 11), em que o lote K4 apresentou melhor performance e o lote K2 a pior. O tratamento 25 °C/ 34 h foi eficiente no sentido de destacar o lote K5 como superior.

Tabela 15. Resultados de área das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Área (cm ²)						
Lote	20 °C			25 °C		
Cultivar Aleppo						
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
A1	1,12 a*	1,10 a	1,11 b	1,17 a	1,20 b	1,20 c
A2	1,11 ab	1,11 a	1,12 b	1,15 a	1,25 a	1,25 ab
A3	1,10 bc	1,12 a	1,15 a	1,18 a	1,22 ab	1,26 a
A4	1,09 c	1,12 a	1,13 ab	1,16 a	1,19 b	1,20 c
A5	1,09 c	1,10 a	1,12 b	1,14 a	1,19 b	1,22 bc
A6	1,09 c	1,10 a	1,12 b	1,15 a	1,18 b	1,24 ab
CV (%)	1,87	2,19	2,02	2,37	3,34	2,45
Cultivar Kalifa						
K1	1,15 abc	1,18 ab	0,93 a	1,20 bc	1,23 a	1,23 c
K2	1,13 c	1,12 c	0,90 b	1,18 c	1,20 a	1,22 c
K3	1,18 a	1,19 ab	0,95 a	1,21 abc	1,23 a	1,24 bc
K4	1,17 ab	1,19 a	0,95 a	1,24 a	1,25 a	1,27 ab
K5	1,14 bc	1,16 b	0,93 ab	1,22 ab	1,25 a	1,29 a
CV (%)	3,09	2,98	3,17	2,51	3,52	3,05

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Com relação à circularidade (Tabela 16), os tratamentos de 20 °C/ 30 h, 25 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h classificaram os lotes em dois níveis de vigor. Em 20 °C/ 30 h o menor índice de circularidade foi observado para o lote A3, em 25 °C/ 30 h foi observado maior circularidade para o lote A5. No tratamento de 25 °C/ 32 h o lote A2 destacou-se como menos circular em relação aos demais lotes e no tratamento de 25 °C/ 34 h os lotes A2 e A3 apresentaram juntos menor circularidade.

O tratamento mais coincidente com os testes de caracterização do potencial fisiológico foi 25 °C / 32 h, pois foi o único em que A2 se diferiu de todos os lotes, apontando valores menores que 1, indicando prostração da raiz primária e alto vigor.

Para o cultivar Kalifa em todos os tratamentos foram observadas diferenças significativas entre os lotes de sementes. Em todos os tratamentos o lote K5 demonstrou o melhor desempenho com o menor índice de circularidade em relação aos demais lotes e o lote K3 o pior, evidenciando pelos valores mais altos de circularidade.

Em 20 °C / 30 h e 20 °C / 32 h a classificação foi a mesma observada no teste de emergência de plântulas em campo (Tabela 11), em que K5 obteve menores índices de circularidade, indicando protrusão da raiz primária e alto vigor, enquanto o lote K3 apresentou resultados próximos de 1, demonstrando-se mais circular e com mais baixo vigor. Assim, neste cultivar os resultados obtidos com o parâmetro circularidade confirmaram a tendência existente em todos os testes anteriores em relação ao melhor e o pior lote.

Tabela 16. Resultados de circularidade das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Circularidade						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	0,79 b*	0,76 a	0,74 a	0,64 a	0,61 b	0,58 b
A2	0,78 b	0,75 a	0,72 a	0,64 a	0,54 a	0,51 a
A3	0,75 a	0,75 a	0,72 a	0,65 a	0,59 ab	0,52 a
A4	0,78 b	0,76 a	0,73 a	0,65 a	0,63 b	0,60 b
A5	0,77 b	0,77 a	0,73 a	0,70 b	0,62 b	0,58 b
A6	0,78 b	0,76 a	0,75 a	0,67 ab	0,61 b	0,57 b
CV (%)	2,43	3,76	3,51	5,85	8,41	7,49
Cultivar Kalifa						
K1	0,79 b	0,76 b	0,77 cd	0,72 bc	0,68 c	0,65 cd
K2	0,80 b	0,77 b	0,76 c	0,70 b	0,68 c	0,64 c
K3	0,82 c	0,80 c	0,79 d	0,74 c	0,73 d	0,69 d
K4	0,78 b	0,76 b	0,74 b	0,68 b	0,64 b	0,59 b
K5	0,75 a	0,72 a	0,68 a	0,64 a	0,57 a	0,55 a
CV (%)	2,63	2,92	3,41	5,68	6,09	6,18

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Com relação ao resultado de relação de aspecto para o cultivar Aleppo (Tabela 17) todos os tratamentos, exceto 20 °C/ 32 h apresentaram diferenças significativas. No tratamento de 20 °C/ 30 h, o lote A3 apresentou os maiores valores de relação de aspecto, enquanto A1 e A6 obtiveram os índices mais baixos; em 20 °C/ 34 h o lote A3 novamente apresentou o maior índice de relação de aspecto e o lote A1 o mais baixo. No tratamento de

25 °C/ 30 h, os lotes A1, A3 e A4 apresentaram juntos os índices mais altos de relação de aspecto e o lote A5 o índice mais baixo. No tratamento de 25 °C/ 32 h o lote A2 obteve o melhor, com a maior relação de aspecto observada e no tratamento de 25 °C/ 34 h, os lotes A2 e A3 apresentaram-se juntos como os melhores em relação aos demais lotes.

No tratamento de 25 °C/ 32 h, observou-se mesma tendência da área, do perímetro e da circularidade, destacando o alto vigor do lote A2, com alto índice de relação de aspecto em função do formato elíptico das sementes caracterizando a protrusão da raiz primária. Assim como foi observado na germinação, no envelhecimento acelerado tradicional, no envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, na emergência de plântulas em campo e no índice de velocidade de emergência (Tabela 11), no comprimento de plântulas a 25 °C/ 4 dias (Tabela 12) e na avaliação visual da protrusão da raiz primária em 25 °C/ 30 h e 25 °C/ 32 h (Tabela 13).

Para o cultivar Kalifa, em todos os tratamentos foram observadas diferenças significativas entre os lotes; a maior relação de aspecto foi observada para o lote K5. Nos tratamentos de 20 °C/ 30 h e 20 °C/ 32h o índice mais baixo de relação de aspecto foi observado para o lote K3. No tratamento de 20 °C/ 34 h o lote K1 apresentou o índice mais baixo de relação de aspecto. Na combinação de 25 °C/ 30 h os valores mais baixos foram dos lotes K1 e K3. Nos tratamentos de 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h o ranqueamento dos lotes se deu de forma idêntica e a menor relação de aspecto ocorreu com o lote K3.

Em todos os tratamentos, o lote K5 apresentou o melhor desempenho, assim como foi observado na análise visual da protrusão da raiz primária e em todos os parâmetros avaliados pelo SVIS[®]. Nos tratamentos de 20 °C/ 34 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h os lotes foram classificados em quatro níveis, mas não houve correspondência com os testes iniciais. Para ambos os casos, 20 °C/ 32 h foi o tratamento que se mostrou mais eficiente, pois apresentou semelhança também com a emergência a campo (Tabela 11).

Tabela 17. Resultados de relação de aspecto das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Relação de Aspecto						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	1,18 c*	1,19 a	1,23 c	1,41 a	1,50 b	1,54 b
A2	1,19 bc	1,21 a	1,25 abc	1,36 ab	1,67 a	1,73 a
A3	1,22 a	1,22 a	1,28 a	1,40 a	1,57 ab	1,77 a
A4	1,20 b	1,20 a	1,24 bc	1,39 a	1,45 b	1,54 b
A5	1,20 b	1,21 a	1,26 ab	1,30 b	1,47 b	1,58 b
A6	1,17 c	1,21 a	1,23 bc	1,35 ab	1,51 b	1,60 b
CV (%)	1,97	2,77	2,43	4,64	9,09	7,74
Cultivar Kalifa						
K1	1,17 bc	1,20 bc	1,18 d	1,25 c	1,32 cd	1,36 cd
K2	1,17 b	1,20 b	1,22 bc	1,32 b	1,36 bc	1,42 bc
K3	1,15 c	1,17 c	1,19 cd	1,24 c	1,27 d	1,33 d
K4	1,17 bc	1,21 b	1,23 b	1,34 b	1,42 b	1,50 b
K5	1,22 a	1,26 a	1,31 a	1,43 a	1,61 a	1,66 a
CV (%)	2,28	2,54	2,72	5,71	5,53	5,58

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Quanto aos resultados de redondeza das sementes do cultivar Aleppo (Tabela 18), todos os tratamentos, exceto 20 °C/ 32 h apresentaram diferenças significativas entre os lotes. Nos tratamentos de 20 °C/ 30 h e 20 °C/ 34 h a menor redondeza e, conseqüentemente, melhor ocorreu para o lote A3 e os maiores índices de redondeza foram dos lotes A1 e A6, semelhante ao comprimento de plântulas a 20 °C/ 4 dias (Tabela 12) e à análise visual da protrusão da raiz primária em 20 °C/ 30 h (Tabela 13). Em 25 °C/ 30 h os lotes A1, A3 e A4 se destacaram com baixos índices de redondeza em relação aos demais lotes. No tratamento de 25 °C/ 32 h, o lote A2 se destacou como o melhor, assim como nos testes de caracterização do potencial fisiológico (Tabela 11), no comprimento de plântulas a 25 °C com quatro dias de idade (Tabela 12) e na análise visual da protrusão da raiz primária a 25 °C/ 30 h e 25 °C/ 32 h (Tabela 13) e no tratamento de 25 °C/ 34 h os lotes A2 e A3 obtiveram baixos índices de redondeza.

Em relação ao cultivar Kalifa, todos os tratamentos apresentaram diferenças significativas entre os lotes. No tratamento de 20 °C/ 30 h os lotes foram classificados em dois níveis de vigor, com destaque para o lote K5 com baixo índice de redondeza e bom desempenho, que também foi observado em todos os outros tratamentos e foi semelhante aos

parâmetros avaliados pelo software SVIS® e também na análise visual da protrusão da raiz primária. Em 20 °C/ 32 h o lote K3 apresentou o mais alto índice de redondeza e a 20 °C/ 34 h o lote K1 foi o de índice mais baixo de redondeza. No tratamento a 25 °C/ 30 h, os lotes K1 e K3 obtiveram os maiores índices de redondeza e nos tratamentos de 25 °C/ 32h e 25 °C/ 34 h a classificação dos lotes se deu de maneira idêntica, com o lote K3 apresentando o índice mais alto de redondeza e pior resultado.

Os resultados de redondeza reafirmaram que a 25 °C/ 32 h, a classificação dos lotes foi idêntica ao observado na relação de aspecto. Porém na redondeza a relação dos índices é o inverso, demonstrando alto vigor para A2 que obteve valor mais baixo de redondeza, e consequentemente caracterizou protrusão da raiz primária.

Tabela 18. Resultados de redondeza das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Redondeza						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	0,86 c*	0,85 a	0,82 c	0,74 a	0,71 b	0,69 b
A2	0,85 bc	0,84 a	0,81 bc	0,76 ab	0,65 a	0,62 a
A3	0,82 a	0,83 a	0,79 a	0,75 a	0,68 ab	0,61 a
A4	0,84 ab	0,84 a	0,82 bc	0,75 a	0,73 b	0,69 b
A5	0,84 b	0,84 a	0,80 ab	0,78 ab	0,72 b	0,68 b
A6	0,86 c	0,84 a	0,82 c	0,77 ab	0,71 b	0,67 b
CV (%)	1,79	2,53	2,11	3,73	6,76	6,00
Cultivar Kalifa						
K1	0,86 b	0,84 b	0,86 d	0,82 c	0,78 cd	0,77 cd
K2	0,86 b	0,84 b	0,83 bc	0,78 b	0,76 bc	0,74 bc
K3	0,88 b	0,86 c	0,85 cd	0,82 c	0,80 d	0,78 d
K4	0,86 b	0,84 b	0,82 b	0,78 b	0,75 b	0,71 b
K5	0,83 a	0,81 a	0,78 a	0,74 a	0,67 a	0,66 a
CV (%)	2,13	2,24	2,40	4,32	4,28	4,47

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

Para os resultados de solidez do cultivar Aleppo (Tabela 19) foram observadas diferenças significativas entre os lotes nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 25 °C/ 30 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h. No tratamento de 20 °C/ 30 h, o lote A3 apresentou menor solidez em relação aos demais lotes. No tratamento de 25 °C/ 30 h o maior índice de solidez foi observado para o

lote A5, em 25 °C/ 32 h o lote A2 apresentou o melhor desempenho, assim como nos testes de caracterização do potencial fisiológico (Tabela 11) e a 25 °C/ 34 h a menor solidez também foi observada para o lote A2, enquanto os maiores índices de solidez ocorreram para os lotes A1, A4, A5 e A6, conforme observado no comprimento de plântulas a 25 °C/ 4 dias (Tabela 12) e na análise visual da protrusão da raiz primária dos tratamentos de 25 °C/ 30 h e 25 °C/ 32 h (Tabela 13).

Quanto ao cultivar Kalifa, em todos os tratamentos houve diferenças significativas entre os lotes de sementes. Nos tratamentos de 20 °C/ 30 h e 20 °C/ 32h os lotes foram classificados em três níveis de vigor, com os maiores resultados de solidez para o lote K3 e os menores para o lote K5; no tratamento a 20 °C/ 34 h o lote K5 se destacou com o menor índice de solidez e os lotes K1, K2 e K3 foram igualmente classificados com valores mais altos de solidez. No tratamento de 25 °C/ 30 h o menor índice de solidez foi do lote K5. Nos tratamentos de 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 34 h os lotes foram diferenciados em quatro níveis de vigor, em que o menor valor de solidez foi do lote K5 e o maior do lote K3, para ambos tratamentos.

No tratamento de 20 °C/ 32 h o ranqueamento dos lotes do cultivar Kalifa ocorreu de forma correspondente à emergência de plântulas em campo (Tabela 11), semelhante aos parâmetros do SVIS[®] a 20 °C com cinco dias de idade (Tabela 12) e à avaliação visual da protrusão da raiz primária no tratamento de 20 °C/ 32 h (Tabela 13). Os parâmetros avaliados (circularidade, relação de aspecto, redondeza e solidez) apresentaram a mesma tendência de diferenciação para os lotes do cultivar Kalifa.

Tabela 19. Resultados de solidez das sementes obtidos pela análise no *software* ImageJ® após diferentes temperaturas e períodos de germinação de seis lotes de sementes de grão-de-bico do cultivar Aleppo e cinco lotes de sementes do cultivar Kalifa, na segunda época de avaliação.

Solidez						
Lote	20 °C			25 °C		
	30 horas	32 horas	34 horas	30 horas	32 horas	34 horas
Cultivar Aleppo						
A1	0,94 b*	0,92 a	0,92 a	0,87 a	0,85 b	0,83 c
A2	0,93 b	0,92 a	0,91 a	0,87 a	0,81 a	0,79 a
A3	0,92 a	0,92 a	0,91 a	0,87 a	0,84 ab	0,80 ab
A4	0,94 b	0,93 a	0,92 a	0,87 a	0,86 b	0,85 c
A5	0,93 b	0,93 a	0,91 a	0,90 b	0,86 b	0,83 c
A6	0,94 b	0,93 a	0,92 a	0,88 ab	0,85 b	0,83 c
CV (%)	0,75	1,26	1,26	2,36	3,47	3,06
Cultivar Kalifa						
K1	0,94 b	0,93 b	0,93 c	0,91 c	0,89 c	0,87 c
K2	0,94 b	0,93 b	0,93 c	0,90 bc	0,89 c	0,87 c
K3	0,95 c	0,94 c	0,94 c	0,92 c	0,91 d	0,89 d
K4	0,94 b	0,93 b	0,91 b	0,88 b	0,86 b	0,84 b
K5	0,92 a	0,91 a	0,89 a	0,86 a	0,82 a	0,81 a
CV (%)	0,87	1,04	1,21	2,33	2,38	2,51

*Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si (teste de LSD, $p \leq 0,05$).

De modo geral, os resultados de avaliação do potencial fisiológico das sementes do cultivar Aleppo evidenciaram o lote A2 como o de alto vigor e o lote A4 como de baixo vigor; o comprimento de plântulas analisado pelo *software* SVIS® a 25 °C / 4 dias evidenciou o mesmo resultado, incluindo A5 com baixo vigor, portanto, a análise automatizada de plântulas foi eficiente para ranquear lotes de sementes de grão-de-bico em níveis de vigor de maneira semelhante aos testes de vigor tradicionais. Os parâmetros de área, perímetro, circularidade, relação de aspecto e redondeza foram sensíveis apenas para detectar A2 como o lote mais vigoroso a 25 °C / 32 h. Já a solidez, com 25 °C / 34 h além de evidenciar o lote de alto vigor, indicou também A4 e A5 como de baixo vigor, conforme observado no comprimento de plântulas analisado pelo *software* SVIS® em 25 °C / 4 dias (Tabela 12) e na avaliação visual da protrusão da raiz primária nos tratamentos de 25 °C/ 30 h e 25 °C/ 32 h (Tabela 13).

Na avaliação do potencial fisiológico (Tabela 11), no comprimento de plântulas a 20 °C/ 4 dias e 20 °C/ 5 dias (Tabela 12) e na avaliação visual da protrusão da raiz primária a 20 °C/ 30 h, 20 °C/ 32h e 20 °C/ 34 h (Tabela 13) do cultivar Kalifa, o lote K5 foi classificado

como o de maior vigor e lote K3 como de menor vigor. Os parâmetros de área e perímetro não foram eficientes para ranquear os lotes. Por outro lado, a circularidade, a relação de aspecto, a redondeza e a solidez, no tratamento de 20 °C / 32 h evidenciaram os lotes K5 e K3 com alto e baixo vigor, respectivamente. Oliveira et al. (2021) observaram o mesmo em estudos na avaliação do vigor de sementes de tomate, em que a relação de aspecto se demonstrou eficiente para classificar os lotes em níveis de vigor, enquanto a área não foi um parâmetro capaz de inferir o mesmo.

4.3. Correlação entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos visando a caracterização da protrusão da raiz primária correspondente às duas épocas experimentais

Nas Figuras 1 a 6 estão apresentados os gráficos biplot da análise de componentes principais para cada cultivar e tratamento de temperatura e período de germinação referentes aos dados agrupados das duas épocas experimentais. As figuras mostram a correlação entre os dados da avaliação do potencial fisiológico e atributos morfológicos de perímetro, área, circularidade, relação de aspecto, redondeza e solidez obtidos pelo software ImageJ® e avaliados na caracterização da protrusão da raiz primária.

Para o cultivar Aleppo, no tratamento de 25°C/ 30 h (Figura 5), observou-se que o vetor da análise visual da protrusão da raiz primária assim como os vetores de germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado tradicional e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl ficaram posicionados do mesmo lado do lote A2, que foi o melhor lote na avaliação do potencial fisiológico. Nos tratamentos de 20 °C/ 30 h, 20 °C/ 32 h, 20 °C/ 34 h, 25 °C/ 32 h e 25 °C/ 32 h os lotes A2 e A3 foram posicionados juntos e também na mesma direção dos vetores da análise visual da protrusão da raiz primária, germinação, primeira contagem de germinação, emergência de plântulas em campo, índice de velocidade de emergência, envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, área, perímetro e relação de aspecto. Observa-se que o vetor correspondente à protrusão da raiz primária avaliada visualmente se posicionou do mesmo lado do vetor de relação de aspecto, evidenciando que o aumento desse parâmetro está associado à protrusão da raiz primária. Por outro lado, os vetores correspondentes à solidez, circularidade e redondeza estiveram sempre na direção oposta, indicando que a diminuição dos valores desses parâmetros está associada à protrusão da raiz primária.

Com relação ao cultivar Kalifa, em todos os tratamentos (Figuras 1 a 6), os lotes K4 e K5, que apresentaram o maior potencial fisiológico, se posicionaram no gráfico do mesmo lado dos vetores correspondentes à avaliação visual da protrusão da raiz primária, perímetro, relação de aspecto, primeira contagem de germinação, germinação, emergência de plântulas em campo, índice de velocidade de emergência, envelhecimento acelerado tradicional e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl. Por outro lado, os parâmetros de redondeza, circularidade e solidez estiveram sempre na direção oposta da protrusão da raiz primária e próximos do lote K3, que foi o lote de menor potencial fisiológico. As análises biplot evidenciaram que os parâmetros área e condutividade elétrica não apresentaram correlação com os lotes de sementes, pois se posicionaram mais verticalmente no plano. Para todos os tratamentos os componentes PC1 apresentaram valores próximos de 70% e os componentes PC2 próximos de 20%, explicando um total de no mínimo 90% da variabilidade entre os lotes.

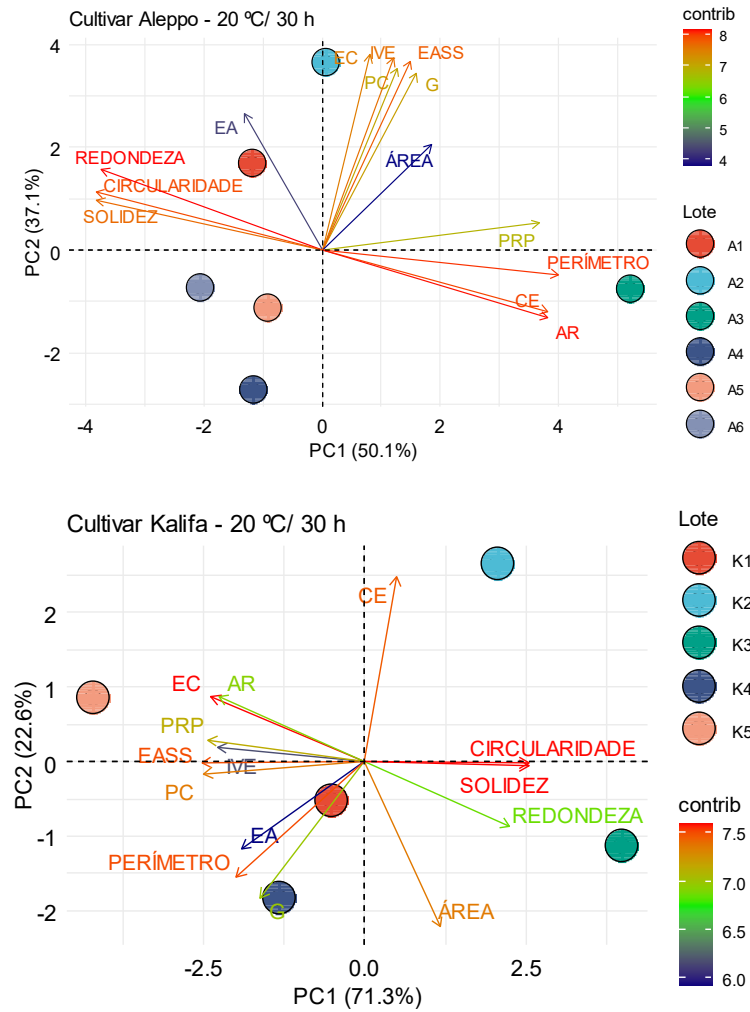


Figura 1. Gráficos biplot da análise de componentes principais entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos obtidos pelo *software* ImageJ[®] visando a caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico de seis lotes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa no tratamento a 20 °C/ 30 h referente às duas épocas experimentais. G: germinação, PC: primeira contagem de germinação, EA: envelhecimento acelerado, EASS: envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, CE: condutividade elétrica, EC: emergência de plântulas em campo, IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas, PRP: protrusão da raiz primária (análise visual).

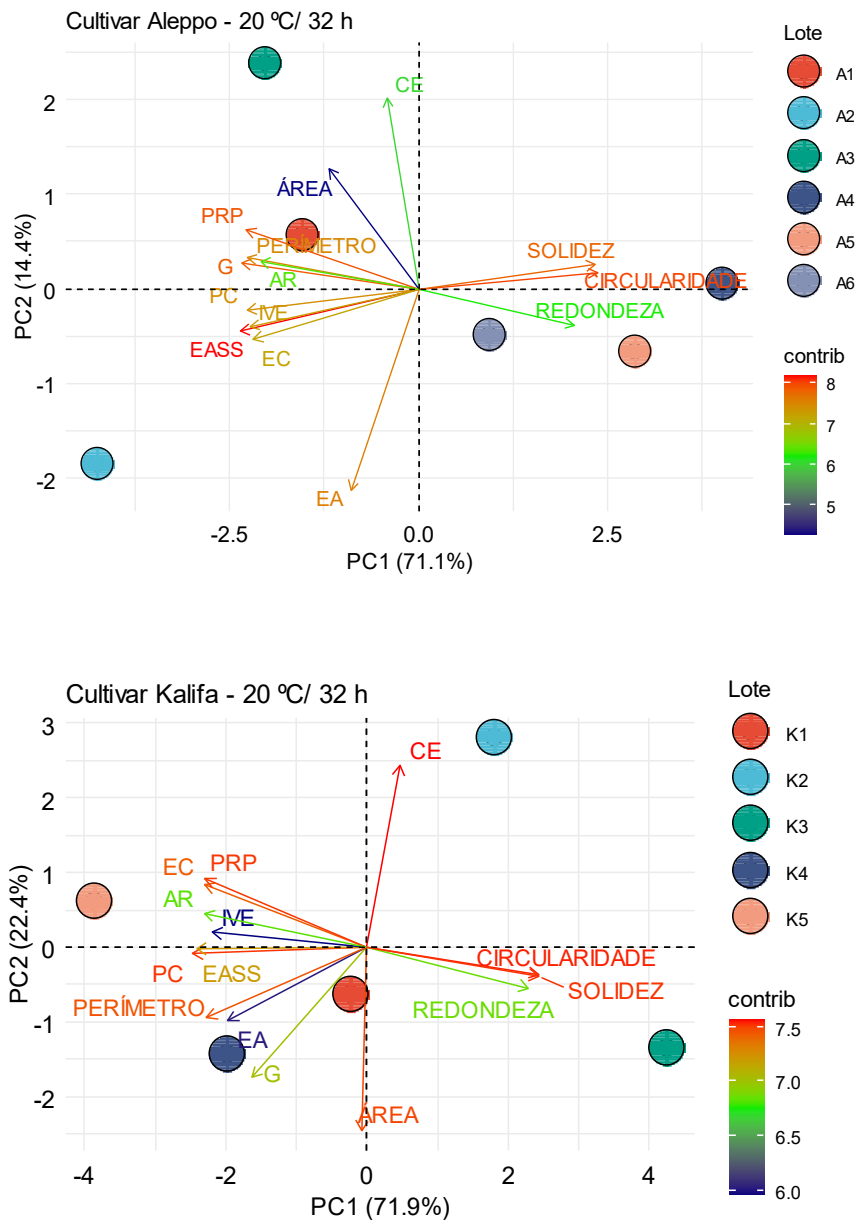


Figura 2. Gráficos biplot da análise de componentes principais entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos obtidos pelo *software* ImageJ[®] visando a caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico de seis lotes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa no tratamento a 20 °C/ 32 h referente às duas épocas experimentais. G: germinação, PC: primeira contagem de germinação, EA: envelhecimento acelerado, EASS: envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, CE: condutividade elétrica, EC: emergência de plântulas em campo, IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas, PRP: protrusão da raiz primária (análise visual).

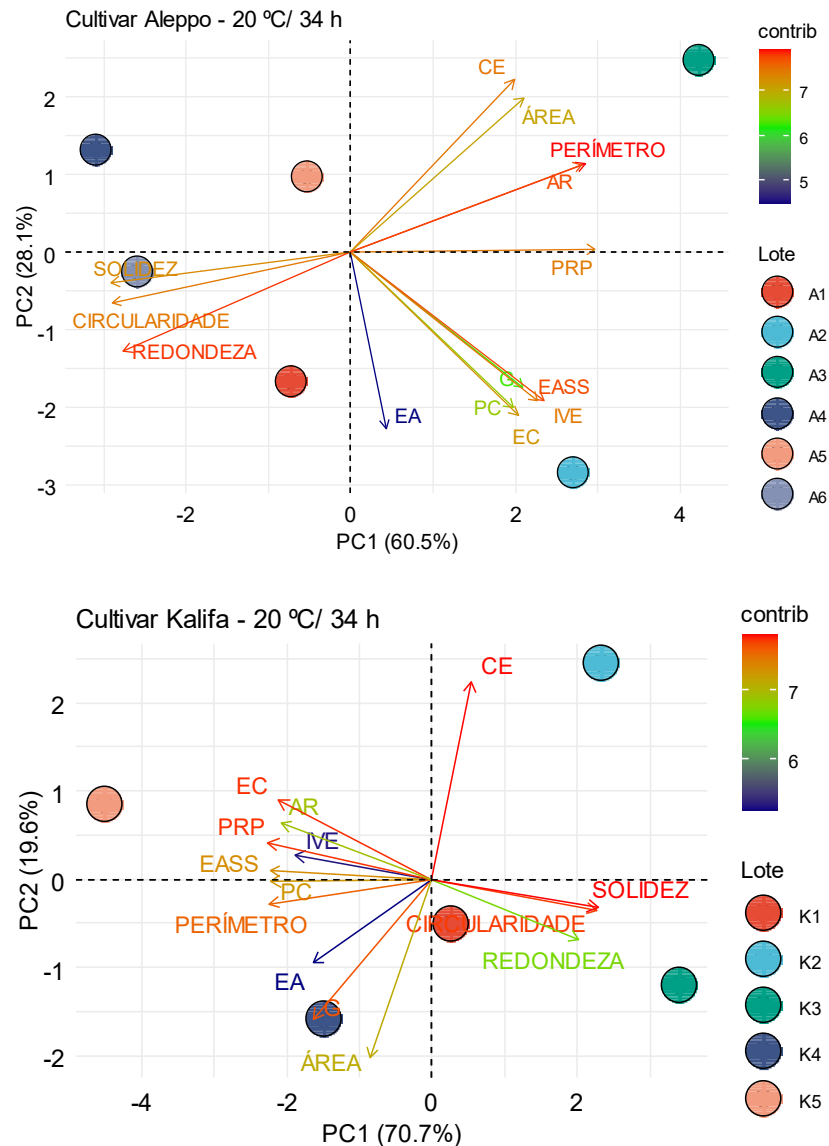


Figura 3. Gráficos biplot da análise de componentes principais entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos obtidos pelo *software* ImageJ[®] visando a caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico de seis lotes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa no tratamento a 20 °C/ 34 h referente às duas épocas experimentais. G: germinação, PC: primeira contagem de germinação, EA: envelhecimento acelerado, EASS: envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, CE: condutividade elétrica, EC: emergência de plântulas em campo, IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas, PRP: protrusão da raiz primária (análise visual).

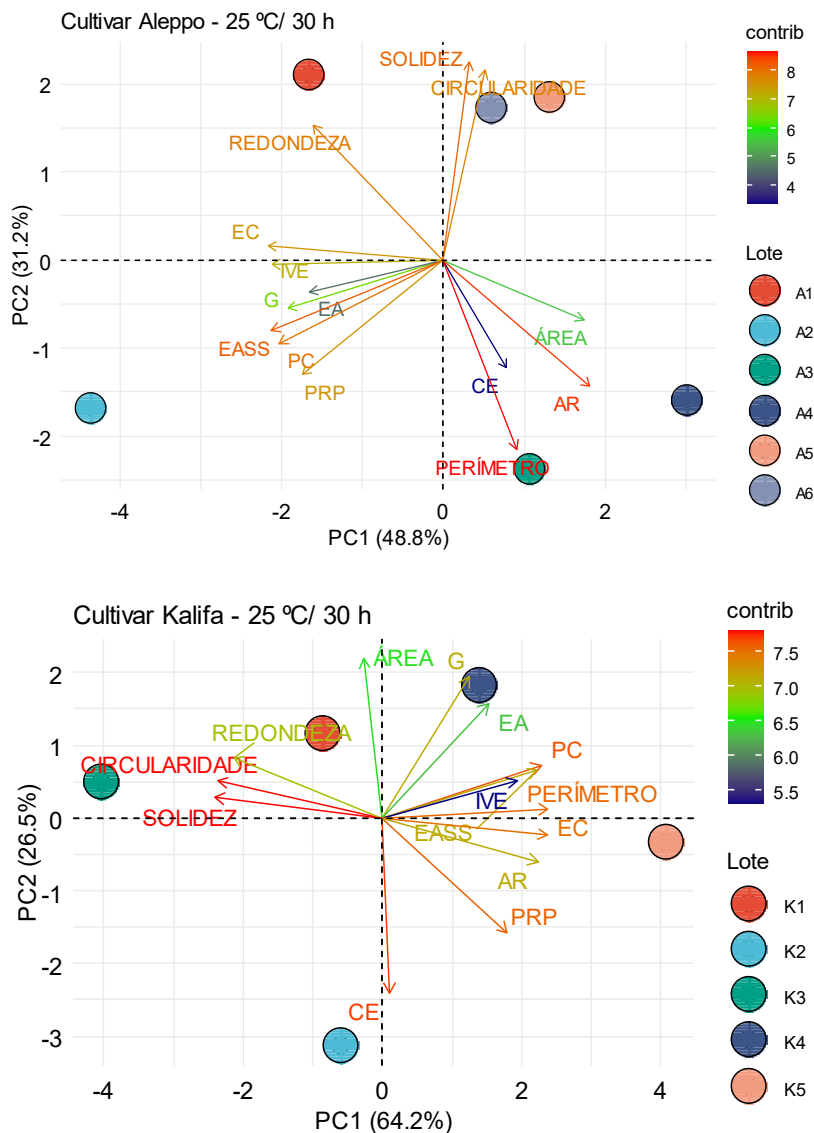


Figura 4. Gráficos biplot da análise de componentes principais entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos obtidos pelo *software* ImageJ[®] visando a caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico de seis lotes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa no tratamento a 25 °C/ 30 h referente às duas épocas experimentais. G: germinação, PC: primeira contagem de germinação, EA: envelhecimento acelerado, EASS: envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, CE: condutividade elétrica, EC: emergência de plântulas em campo, IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas, PRP: protrusão da raiz primária (análise visual).

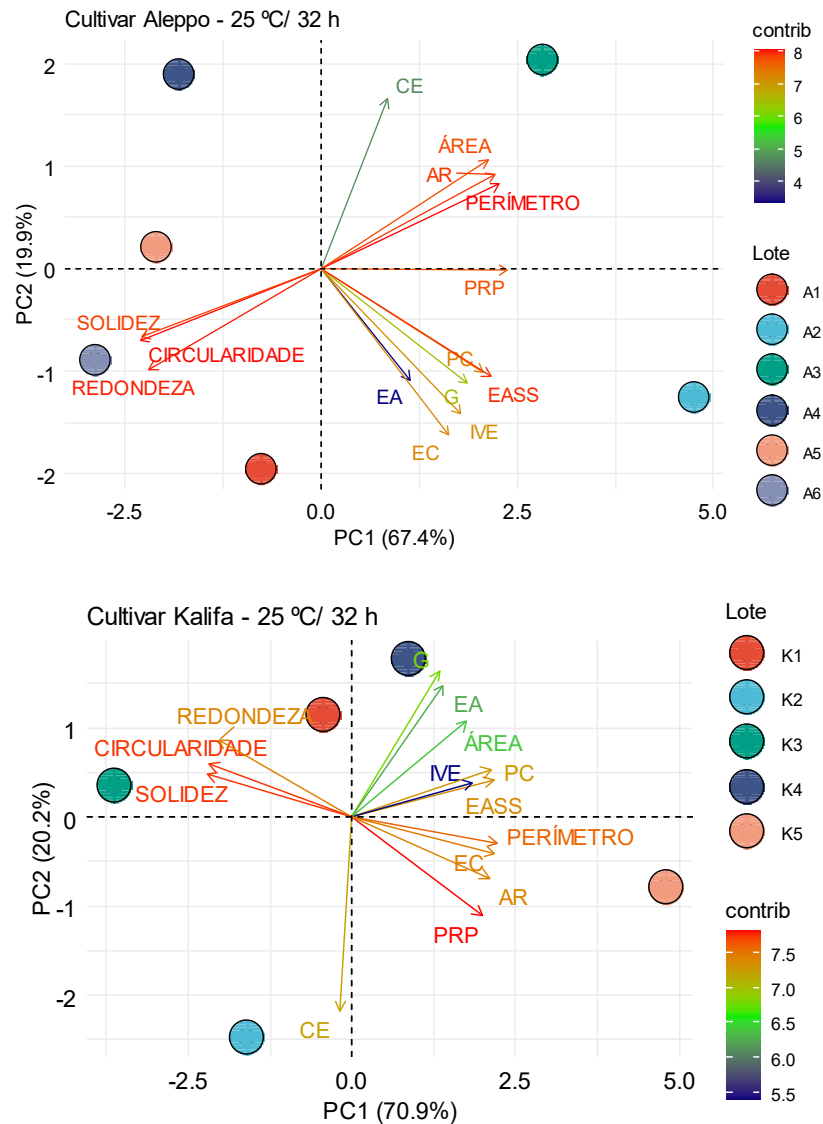


Figura 5. Gráficos biplot da análise de componentes principais entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos obtidos pelo *software* ImageJ[®] visando a caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico de seis lotes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa no tratamento a 25 °C/ 32 h referente às duas épocas experimentais. G: germinação, PC: primeira contagem de germinação, EA: envelhecimento acelerado, EASS: envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, CE: condutividade elétrica, EC: emergência de plântulas em campo, IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas, PRP: protrusão da raiz primária (análise visual).

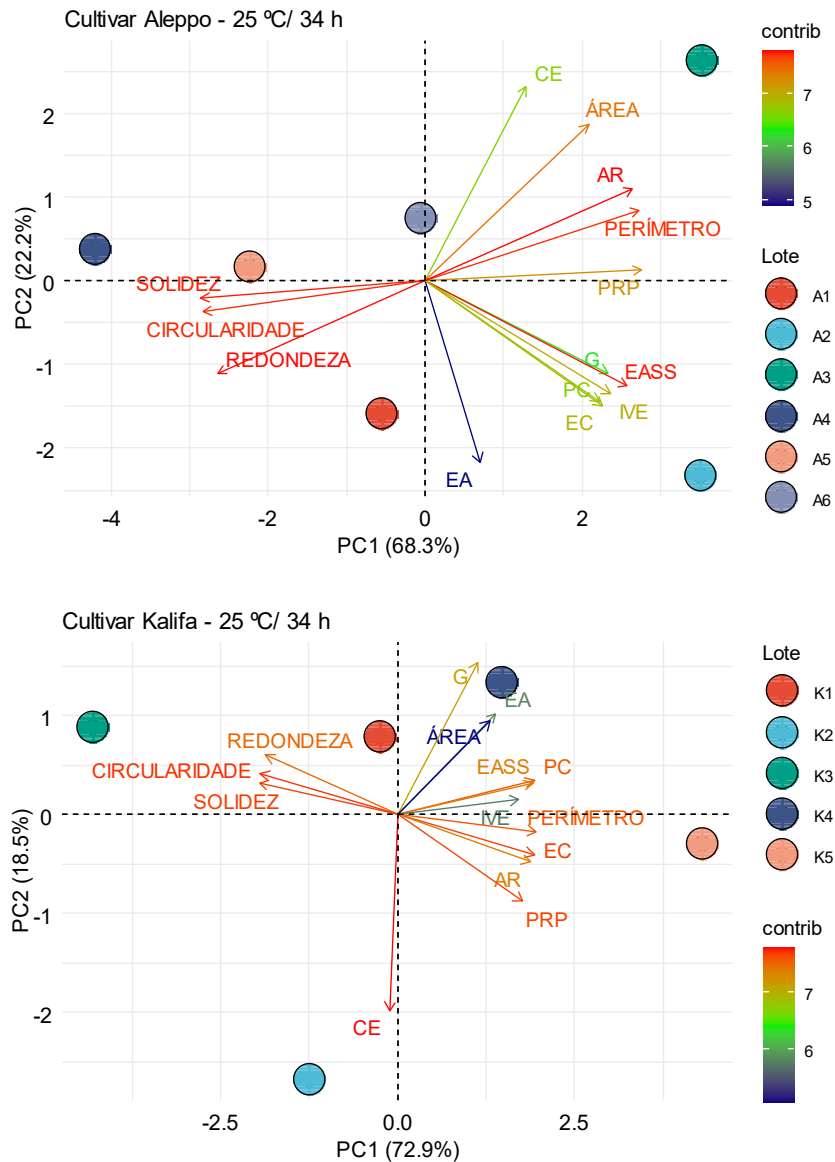


Figura 6. Gráficos biplot da análise de componentes principais entre as avaliações de potencial fisiológico e atributos morfológicos obtidos pelo *software* ImageJ[®] visando a caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico de seis lotes do cultivar Aleppo e cinco lotes do cultivar Kalifa no tratamento a 25 °C/ 34 h referente às duas épocas experimentais. G: germinação, PC: primeira contagem de germinação, EA: envelhecimento acelerado, EASS: envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, CE: condutividade elétrica, EC: emergência de plântulas em campo, IVE: índice de velocidade de emergência de plântulas, PRP: protrusão da raiz primária (análise visual).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados das duas épocas experimentais, para ambos os cultivares, verificou-se eficiência das análises pelo *software* SVIS[®] na discriminação dos lotes de sementes de grão-de-bico de maneira semelhante ao observado nos testes de vigor tradicionalmente utilizados. Os resultados evidenciaram que a avaliação de plântulas com quatro dias de idade, desenvolvidas nas temperaturas de 20 e 25 °C, permitiram a separação dos lotes de sementes.

Um ponto positivo das análises em plântulas com quatro dias de idade foi a maior facilidade de reconhecimento das partes das plântulas pelo *software*, principalmente na temperatura de 20 °C. Conseqüentemente, foram necessárias poucas correções das imperfeições durante as análises, pois o sistema ofereceu uma melhor demarcação das plântulas nesse caso. Assim, o *software* SVIS[®] pode ser considerado como um método rápido e preciso a ser utilizado em programas de controle de qualidade de sementes, sendo recomendada a temperatura de 20 °C para o desenvolvimento das plântulas.

Quanto à utilização de parâmetros morfológicos para caracterização da protrusão da raiz primária de sementes de grão-de-bico, os parâmetros de relação de aspecto, redondeza, circularidade e solidez obtidos pelo *software* ImageJ[®] foram os mais eficientes. Por outro lado, os parâmetros de perímetro e área não asseguraram a caracterização eficiente da protrusão da raiz primária dos diferentes lotes. O tratamento 25 °C/ 32 h foi o mais adequado para caracterizar a protrusão da raiz primária dos lotes dos cultivares Aleppo e Kalifa, utilizando os parâmetros morfológicos.

6. CONCLUSÃO

A análise pelo software SVIS[®] é eficiente na discriminação dos lotes de sementes de grão-de-bico quanto ao vigor, adotando-se a avaliação de plântulas com quatro dias de idade, desenvolvidas na temperatura de 20 °C.

Os parâmetros morfológicos de relação de aspecto, redondeza, circularidade e solidez fornecidos pelo *software* ImageJ[®], a partir de sementes submetidas à germinação a 25 °C por 32 h, são eficientes para caracterizar a protrusão da raiz primária e discriminar lotes de sementes de grão-de-bico quanto a vigor.

REFERÊNCIAS

- ABREU, W. E. **Análise de imagens na avaliação da morfologia interna e do vigor de sementes de *Brachiaria brizantha* cv. Xaraés**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2018.
- ALVARENGA, R. O.; MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JÚNIOR, F. G. Avaliação do vigor de sementes de milho super doce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 3, p. 488-494, 2012.
- ARAÚJO, J. DE O.; DIAS, D. C. F. D. S.; MIRANDA, R. M. DE; NASCIMENTO, W. M. Adjustment of the electrical conductivity test to evaluate the seed vigor of chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Journal of Seed Science**, v. 44, e202244003, 2022.
- ARAÚJO, J. DE O.; DIAS, D. C. F. D. S.; NASCIMENTO, W. M.; MARTINS, A. O.; LIMÃO, M. A. R. Accelerated aging test and antioxidant enzyme activity to assess chickpea seed vigor. **Journal of Seed Science**, v. 43, e202143038, 2021.
- ARAÚJO, J. O.; DIAS, D. C. F. S.; MEDEIROS, A. D.; SILVA, L. J.; NASCIMENTO, W. M. Chickpea seed vigor evaluated by computerized seedling analysis. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 71-86, 2021.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS – AOSA. **Seed vigour testing handbook**. East Lansing: AOSA, 2009. 334 p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 45, de 17 de setembro de 2013. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para a produção e a comercialização de sementes. Diário Oficial da União, n. 181, seção 1, p. 7, 2013.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Brasília: Mapa, 399p, 2009.
- BRAZ, M. R. S.; BARROS, C. S.; CASTRO, F. P.; ROSSETTO, C. A. V. Testes de envelhecimento acelerado e deterioração controlada na avaliação do vigor de aquênios de girassol. **Ciência Rural**, v. 38, n. 7, p. 1857-1863, 2008.
- CAMARGO, A. C.; FAVERO, B. T.; MORZELLE, M. C.; FRANCHIN, M.; ALVAREZ-PARRILLA, E.; DE LA ROSA, L. A.; GERALDI, M. V.; MARÓSTICA JÚNIOR, M. R.; SHAHIDI, F.; SCHWEMBER, A. R. Is chickpea a potential substitute for soybean? Phenolic bioactives and potential health benefits. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 20, n. 11, p. 1-42, 2019.

- CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: Funep, 2012. 5 ed. 590 p.
- CHEN, Y.; GHANEM, M. E.; KADAMBOT H. M.; SIDDIQUE, K. H. M. Characterising root trait variability in chickpea (*Cicer arietinum* L.) germplasm. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 8, p. 1987–1999, 2017.
- CHIQUITO, A. A.; GOMES JUNIOR, F. G.; MARCOS FILHO, J. Assessment of physiological potential of cucumber seeds using the software Seed Vigor Imaging System (SVIS). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 2, p. 255-263, 2012.
- DAN, E. L.; MELLO, V. D. C.; WETZEL, C. T.; POPINIGIS, F.; SOUZA E. P. Transferência de matéria seca como método de avaliação do vigor de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.9, n.3, p. 45-55, 1987.
- DEMIR, I.; ERTURK, N.; GOKDAS, Z. Seed vigour evaluation in petunia seed lots to predict seedling emergence and longevity. **Seed Science and Technology**, v. 48, n. 3, p. 391-400, 2020.
- DIAS, L. B. X.; LEÃO-ARAÚJO, É. F. Potencial fisiológico de sementes de grão-de-bico. **Scientific Electronic Archives**, v. 13, n. 12, 2020.
- DIAS, L. B. X.; QUEIROZ, P. A. M.; FERREIRA, L. B. S.; FREITAS, M. A. M.; LEÃO-ARAÚJO, É. F.; SILVA, P. F.; NASCIMENTO, W. M. Accelerated ageing as a vigour test on chickpea seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v. 14, n. 2, p.339-346, 2020.
- DIAS, L. B. X.; QUEIROZ, P. A. M.; FERREIRA, L. B. S.; SANTOS, W. V.; FREITAS, M. A. M.; SILVA, P. P.; NASCIMENTO, W. M.; LEÃO-ARAÚJO, É. F. Teste de condutividade elétrica e embebição de sementes de grão-de-bico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.14, n.2, p.1-8, 2019.
- DINIZ, F. O.; REIS, M. S.; DIAS, L. A. S.; ARAÚJO, E. F.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.A. Physiological quality of soybean seeds of cultivars submitted to harvesting delay and its association with seedling emergence in the field. **Journal of Seed Science**, v. 35, p. 147-152, 2013.
- DOURADO, W. S. BELO, A. P. M.; MATOSO, A. O.; SILVA, H. D.; SILVA, G. D.; SOUZA, E. R. B. Envelhecimento acelerado com soluções salinas para avaliação do vigor de sementes de feijão caupi. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n. 17, p. 1274-1284, 2013.
- DUTRA, A. S.; VIEIRA, R. D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, v. 34, p. 715-721, 2004.

- FERREIRA, L. B. S.; FERNANDES, N. A.; AQUINO, L. C.; SILVA, A. R.; 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, p. 410-416, 2017.
- FESSEL, S. A.; RODRIGUES, T. J. D. FAGIOLI, M.; VIEIRA, R. D. Temperatura e período de exposição no teste de envelhecimento acelerado em sementes de milho. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 22, n. 2, p. 163-170, 2000.
- FRANÇA-NETO, J. DE B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; PÁDUA, G. P. DE; COSTA, N. P. DA; HENNING, A. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. EMBRAPA Soja - Documentos, p. 75, 2016.
- FREITAS, R. A. DE; NASCIMENTO, W. M. Teste de envelhecimento acelerado em sementes de lentilha. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 59–63, 2006.
- GOMES-JÚNIOR, F. G. Análise computadorizada de imagens de plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (Eds.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 601p. Cap.3, p.142-183, 2020.
- GOMES-JUNIOR, F. G.; CHAMMA, H. M. C. P.; CICERO, S. M. Automated image analysis of seedlings for vigor evaluation of common bean seeds. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 2, p. 195–200, 2014.
- GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; GONÇALVES, E. P.; SANTOS, S. R. N.; LIMA, C. R. Testes de vigor na avaliação da qualidade fisiológica de sementes *Erythrina velutina* Willd. (FABACEAE - PAPILIONOIDEAE). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 5, p. 1360-1365, 2009.
- 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, p. 54-61, 2017.
- JAVORSKI, M.; CASTAN, D. O. C.; SILVA, S. S. DA; GUILHIEN GOMES-JUNIOR, F.; CICERO, S. M. Image analysis to evaluate the physiological potential and morphology of pearl millet seeds. **Journal of Seed Science**, v. 40, n. 2, p. 127–134, jun. 2018.
- JIANHUA, Z.; McDONALD, M. B. The saturated salt accelerated aging test for small-seeded crops. **Seed Science and Technology**, v.25, n.1, p.123-131, 1997.
- KAUR, R.; PRASAD, K. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*): a review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 109, p. 448-463, 2021.

- KUMAR, U.; PATEL, G. A.; PATEL, H. P.; CHUDHARI, R. P.; DARJI, S. S. Impact of frontline demonstration programme on the yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) in Patan District of Gujarat, India. **Legume Research**, v. 44, n. 2, p. 221-224, 2021.
- LEÃO, É. F.; SANTOS, J. F.; BARBOSA, R. M.; VIEIRA, R. D. Accelerated ageing as a vigour test for crambe (*Crambe abyssinica*) seeds. **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, p. 660-665, 2016.
- LIMA, K. A. P. **Análise de imagens de sementes e plântulas de carnaúba para avaliação de vigor**. 2019. 32 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2019.
- 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.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. ABRATES, Londrina. 2015. 660p.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (Ed). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 2020. 601 p.
- MARCOS-FILHO, J.; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Tamanho da semente e o teste de envelhecimento acelerado para soja. **Scientia Agricola**, v. 57, p. 473-482, 2000.
- MARCOS-FILHO, J.; NOVEMBRE, A. D. C.; CHAMMA, H. M. C. P. Testes de envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação do vigor de sementes de soja. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 421–426, 2001.
- MATHIAS, V.; PEREIRA, T.; MANTOVANI, A.; ZÍLIO, M.; MIOTTO, P.; COELHO, C. M. M. Implicações da época de colheita sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 3, p. 223-231, 2017.
- MATTHEWS, S.; POWELL, A. A. Electrical conductivity vigour test: Physiological basis and use. **Seed Testing International**, n. 131, p. 32-35, 2006.
- MONTEIRO, D. T.; TUNES, L. M.; PACHECO, C.; LEMES, E. S.; ALMEIDA, A. S.; MUNIZ, M. F. B. Envelhecimento acelerado e ocorrência de fungos para avaliação do potencial fisiológico de sementes de arroz. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40. p. 94-104, 2017.
- MOREIRA, E. G. S. **Grão-de-bico cultivado sob condições de manejo em sequeiro e irrigado**. Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal. Universidade Estadual de Goiás – UEG, Ipameri. 2020.

- MURARO, D. S.; CUTTI, L.; KULCZYNSKI, S. M.; BASSO, C. J.; PEDROSO, D. S. Teste de condutividade elétrica em sementes de painço (*Panicum miliaceum* L.). **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 490-495, 2017.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1999. p.49-85
- NASCIMENTO, W. M.; DE FREITAS, R. A.; GOMES, E. M. L.; SOARES, A. S. Metodologia para o teste de envelhecimento acelerado em sementes de ervilha. **Horticultura Brasileira**, v. 25, n. 2, p. 205–209, 2007.
- NASCIMENTO, W. M.; SILVA, P. P.; ARTIAGA, O. P.; SUINAGA, F. A. Grão-de-bico. In: NASCIMENTO, W. M. (Ed.). **Hortaliças leguminosas**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. Cap. 3, p. 89.
- NORONHA, B. G.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleifera* Lam. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 393-402, 2018.
- OLIVEIRA, G. R. F. DE; SALLES, F. K. L. DE; BATISTA, T. B.; SILVA, M. S. DA; CICERO, S. M.; GOMES-JUNIOR, F. G. Morphological parameters of image processing to characterize primary root emergence in evaluation of tomato seed vigor. **Journal of Seed Science**, v. 43, p. e202143005, 2021.
- PANOBIANCO, M.; MARCOS-FILHO, J. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de tomate. **Scientia Agricola**, v. 58, p. 525-531, 2001.
- PEDROSO, D. C.; TUNES, L. M.; BARBIERI, A. P.; BARROS, A. C. S. A.; MUNIZ, M. F. B.; MENEZES, V. O. Envelhecimento acelerado em sementes de trigo. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2389-2392, 2010.
- QUEIROGA, V. P. **Grão de bico (*Cicer arietinum* L.): tecnologias de plantio e utilização**. Organizadores, Vicente de Paula Queiroga, Ênio Giuliano Girão, Esther Maria Barros de Albuquerque. – Campina Grande: AREPB, 2021. 199 p.
- RADKE, A. K.; REIS, B. B.; GEWEHR, E.; ALMEIDA, A. S.; TUNES, L. M.; VILLELA, F. A. Alternativas metodológicas do teste de envelhecimento acelerado em sementes de coentro. **Ciência Rural**, v. 46, p. 95-99, 2016.
- RAJJOU, L.; DUVAL, M.; GALLARDO, K.; CATUSSE, J.; BALLY, J.; JOB, C.; JOB, D. Seed germination and vigor. **Annual Review of Plant Biology**, v. 63, p. 507-533, 2012.
- ROCHA, C.R.M.; SILVA, V.N.; CICERO, S.M. Avaliação do vigor de sementes de girassol por meio de análise de imagens de plântulas. **Ciência Rural**, v.45, n.6, p.970-976, 2015.

- ROCHA, T. G. F.; MEDEIROS, A. D.; PEREIRA, M. D.; FERRARI, C. S. Vigor de sementes de moringa pelo teste de emissão de raiz primária. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, v. 10, n. 5, p. 63-68, 2016.
- ROSSETTO, C. A. V.; LIMA, T. M.; GUIMARÃES, E. C. Envelhecimento acelerado e deterioração controlada em sementes de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 8, p. 795-801, 2004.
- SAKO, Y.; MCDONALD, M. B.; FUJIMURA, K.; EVANS, A. F.; BENNETT, M. A. A system for automated seed vigour assessment. **Seed Science and Technology**, v. 29, n. 3, p. 625-636, 2001.
- SCHNEIDER, C. A., RASBAND, W. S., ELICEIRI, K.W. NIH Image to ImageJ: 25 year of image analysis. **Nature Methods**, v. 9, n. 7, p. 671-675, 2012.
- SILVA, G. G.; GOMES JUNIOR, F. G. Avaliação automatizada do vigor de sementes de soja utilizando o software Vigor-S. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA USP (SIICUSP), 2014, Piracicaba. Anais do SIICUSP. Piracicaba, 2014.
- SILVA, J. A. **Análise de sementes de *Senna siamea* Lam. por meio de processamento digital de imagens**. 2020.
- SILVA, V. N.; CICERO, S. M. Sistema de análise de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Horticultura Brasileira**, v.32, n.2, p. 145-15 2014.
- SILVA, V. N.; DOTTO, L. Análise de imagens para avaliação do crescimento de plântulas de arroz. **Agrarian Academy**, v. 4, n. 7; p. 37-48, 2017.
- SILVA, V. N.; GOMES-JÚNIOR, F. G.; CÍCERO, S. M. Computerized imaging analysis of seedlings for assessment of physiological potential of wheat seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 589-596, 2012.
- SILVA, V. N.; SARMENTO, M. B.; SILVEIRA, A. C.; SILVA, C. S.; CICERO, S. M. Avaliação da morfologia interna de sementes de *Acca sellowiana* O. Berg por meio de análise de imagens. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 4, p. 1158-1169, 2013.
- SINGH, N. A.; SOROKHAIBAM, S.; YUMNAM, S.; KONSAM, J. Enhancing Pulse Productivity under rice based production system through chickpea and lentil based intercropping systems in North East India. **Legume Research**, v. 44, n. 2, p. 215-220, 2021.

- TRIVEDI, M. K.; BRANTON, A.; TRIVEDI, D.; NAYAK, G.; MONDAL, S. C.; JANA, S. Evaluation of plant growth, yield and yield attributes of biofield energy treated mustard (*Brassica juncea*) and chick pea (*Cicer arietinum*) seeds. **Agriculture, Forestry and Fisheries**, Science Publishing Group, v. 6, n. 4, p. 291-295, 2015.
- WENDT, L.; GOMES-JUNIOR, F.G.; ZORATO, M.F.; MOREIRA, G.C. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja por meio de imagens. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.44, n.3, p.280-286, 2014.
- YAGUSHI, J. T.; COSTA, D. S.; FRANÇA-NETO, J. de B. Saturated salt accelerated aging and computerized analysis of seedling images to evaluate soybean seed performance. **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 213–221, 2014.