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

**Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de sementes
de soja**

Mayara Rodrigues

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

**Piracicaba
2019**

**Mayara Rodrigues
Engenheira Agrônoma**

**Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de
sementes de soja**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **JULIO MARCOS FILHO**

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

**Piracicaba
2019**

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

Rodrigues, Mayara

Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de sementes de soja / Mayara Rodrigues. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2019.

65 p.

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

1. *Glycine max* 2. SVIS® 3. Controle de qualidade 4. Potencial fisiológico I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Mauricio Rodrigues e Maria Isete Salvadego, por uma vida de dedicação, confiança e amor incondicional. Serei sempre grata por tudo o que fizeram e fazem por mim.

Ao meu irmão Mauricio Rodrigues Junior, pelo amor, incentivo e cuidado de sempre.

A toda minha família, por serem a minha motivação, meu refúgio e minha maior torcida. Sem vocês, nada disso faria sentido.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre presente em minha vida, por me dar conforto e sabedoria mesmo nos momentos mais difíceis.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ) pela oportunidade de fazer Pós-Graduação em uma das melhores Universidades do País.

Ao Prof. Dr. Julio Marcos Filho, pela valiosa orientação, paciência, confiança, preocupação quanto à qualidade do conhecimento adquirido, pelos conselhos e experiências compartilhadas. Sinto-me privilegiada pela oportunidade de ser orientada por alguém que tanto admiro, e que me proporciona tanto crescimento.

Ao Eng. Agr. Dr. Francisco Guilhien Gomes Junior, pela grande contribuição na condução do trabalho, pela dedicação, ensinamentos e amizade. Muito obrigada por tudo!

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, em especial aos professores Dr. Silvio Moure Cicero e Dra. Ana Dionisia da Luz Coelho Novembre, pelos ensinamentos transmitidos na área de sementes.

Aos pesquisadores do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos da Embrapa soja, em especial ao Dr. Francisco Carlos Krzyzanowski e Dr. José de Barros França Neto, pela cessão das sementes para realização deste trabalho, pelo carinho, conhecimentos transmitidos e pelas diversas oportunidades de aprimoramento que me proporcionaram. Agradeço ao Dr. Francisco pela dedicação e preocupação com a minha formação.

Aos professores Dr. Marco Eustáquio de Sá da UNESP campus de Ilha Solteira e Dra. Gisele Herbst Vazquez, pelo carinho, por despertarem em mim o desejo de trabalhar com sementes e pelo incentivo.

Ao professor Klaus Reichardt, pela disponibilidade em colaborar com o enriquecimento da redação do “Abstract”.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida no período de fevereiro de 2017 a abril de 2017.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela bolsa concedida (processo 2016/21594-4) no período de maio de 2017 a dezembro de 2018, e demais auxílios financeiros.

À Eng. Agr. Ms. Helena M. C. P. Chamma pela dedicação, amizade, paciência e apoio constante durante a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Adilson, David, Hodair, João e Luis Claudio pela amizade e apoio necessário.

A todos os funcionários do Núcleo de Tecnologia de Sementes e Grãos da Embrapa soja, pela recepção sempre muito acolhedora, pela amizade, momentos de descontração e conhecimentos transmitidos. Agradeço em especial à Vilma C. L. Stroka, pela contribuição para a realização deste trabalho.

À secretária do programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Luciane Lopes Toledo, por sempre nos ouvir com muito carinho, pelo cuidado e auxílio durante todo o período de Mestrado.

Aos funcionários da Biblioteca Central da ESALQ, pelo atendimento e atenção dispensada.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia de Sementes Aline Neves, Ana Dognini, Andres Trujillo, Artur Silva, Bruno Cardillo, Carina Oliveira, Carlos Henrique Rego, Clíssia Barboza, Danielle Castan, Deborah Bueno, Evelyn Koch, Fabiano França, Fábio Diniz, Gabriela Possati, Gustavo Fonseca, Haynna Abud, Lucas Capelaro, Maicon Javorski, Marcos Altomani, Maria Beatriz Piedade, Natália Arruda, Patricia Galletti, Plinio Duarte e Rayssa Fernanda, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho, amizade e momentos compartilhados. Todos vocês proporcionaram experiências e aprendizados que levarei para a vida.

Aos amigos, Daniele Fontana, Henrique Placido, Isabella Sabrina, Jackellyne Bruna, João Paulo Sá Dantas, Luis Fernando Merloti, Marcela Sant’Anna, Rachel Tonhati, Rafaela Migliavacca, Rony Sampaio, Ruan Firmano, Thaise Engroff, Vitor Damião e Walquíria Fernanda, pela amizade, por contribuírem de alguma maneira com este trabalho, ou simplesmente estarem presentes neste momento da minha vida. Sempre levarei boas lembranças de cada um.

Às minhas companheiras Isabella Sabrina, Marcela Sant’Anna, Rafaela Migliavacca e Walquíria Fernanda, por terem dividido comigo um teto e muitas histórias. Muito obrigada pelo companheirismo, por serem a minha família em Piracicaba e tornarem os meus dias mais leves.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho, para o meu crescimento pessoal e profissional, meus sinceros agradecimentos.

“A persistência é o caminho do êxito”.

Charles Chaplin

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. AVALIAÇÕES DO DESEMPENHO DAS SEMENTES.....	21
3.1.1. Teor de água	21
3.1.2. Germinação	22
3.1.3. Envelhecimento acelerado	22
3.1.4. Tetrazólio	22
3.1.5. Emergência de plântulas em campo	23
3.1.6. Análise computadorizada de imagens de plântulas (SVIS® e Vigor-S)	24
3.1.7. Análise Estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	27
4.1. CULTIVAR BMX POTÊNCIA RR (CULTIVAR 1)	27
4.1.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes	27
4.1.2. Avaliação do potencial fisiológico das sementes por meio de recursos de análise de imagens de plântulas (softwares SVIS® e Vigor-S)	33
4.1.3. Correlação entre os dados obtidos nos testes de germinação e de vigor	37
4.2. CULTIVAR 7166 RSF IPRO (CULTIVAR 2).....	39
4.2.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes	39
4.2.2. Avaliação do potencial fisiológico das sementes por meio da análise de imagens de plântulas (softwares SVIS® e Vigor-S)	44
4.2.3. Correlação entre os dados obtidos nos testes de germinação e de vigor	48
5. CONSIDERAÇÕES GERAIS	51
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS.....	55

RESUMO

Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de sementes de soja

O uso de sistemas computadorizados de análise de imagens de sementes ou de plântulas pode ser uma alternativa para diminuir a subjetividade e aumentar a rapidez da avaliação do potencial fisiológico de sementes. O objetivo desta pesquisa foi verificar a eficiência do sistema Análise Automatizada do Vigor de Sementes (Vigor-S) na identificação de diferenças de vigor de lotes de sementes de soja, em comparação ao Seed Vigor Imaging System – SVIS[®] e outros testes recomendados (envelhecimento acelerado e tetrazólio) para avaliação do vigor de sementes de soja. Foram utilizados dois cultivares de soja, BMX Potência RR e 7166 RSF IPRO, cada um representado por dez lotes de sementes com germinação superior à mínima estabelecida para comercialização e diferenças de vigor. As sementes foram avaliadas quanto à germinação e vigor (primeira contagem do teste de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado tradicional - EAT - e com solução saturada de NaCl – EASS), emergência de plântulas em campo e análises SVIS[®] e Vigor-S, em três épocas experimentais. Os dados foram submetidos a análise da variância, em delineamento inteiramente casualizado (testes em laboratório) e em blocos ao acaso (testes em campo); as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados indicaram que a análise automatizada de imagens de plântulas com o uso do sistema Vigor-S é eficiente para a determinação do potencial fisiológico de sementes de soja. O teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl durante 48 e 72 horas é sensível para estimar o potencial de emergência de plântulas de soja em campo.

Palavras-chave: *Glycine max*; SVIS[®]; Controle de qualidade; Potencial fisiológico

ABSTRACT

Vigor-S: system for automated evaluation of soybean seed vigor

The use of computerized systems for seed or seedling imaging analyzes is an alternative to reduce subjectivity and improve the speed of the seed physiological potential evaluation. The objective of this research was to verify the efficiency of the Automated Seed Vigor Analysis system (Vigor-S) in identifying differences in the vigor of soybean seed lots, compared to the Seed Vigor Imaging System - SVIS[®] and other recommended tests (accelerated aging and tetrazolium) to evaluate the vigor of soybean seeds. Two cultivars of soybean (BMX Power RR and 7166 RSF IPRO) were used, each represented by ten seed lots with acceptable germination for seed commercialization and differences in vigor. Seeds were evaluated for germination and vigor (germination first count, tetrazolium, traditional and saturated salt accelerated aging), field seedling emergence, SVIS[®] and Vigor-S analyzes, in three experimental periods. Data were submitted to analysis of variance, in a completely randomized design (laboratory tests) and in randomized blocks (field tests); mean values were compared by the Tukey's test ($p \leq 0.05$). Results indicated that the computerized analysis of seedlings using the Vigor-S system is efficient for the evaluation of the physiological potential of soybean seeds. The saturated salt accelerated aging test for 48 and 72 hours is sensitive to estimate the seedling emergence potential of soybeans.

Keywords: *Glycine max*; SVIS[®]; Seed quality control; Physiological potential

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja ocupa atualmente cerca de 57% da área cultivada para a produção de grãos no Brasil, situando-se no primeiro lugar no País e o segundo quanto à produção mundial (CONAB, 2018). Dessa maneira, é imprescindível a utilização de sementes com alto potencial fisiológico para o estabelecimento da população adequada de plantas no campo, contribuindo significativamente para a obtenção de altos rendimentos.

A avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja é realizada pelas empresas produtoras de sementes por meio dos testes de germinação e vigor. Embora os resultados de testes de vigor não sejam componentes dos padrões para comercialização, são muito importantes para compor programas internos de qualidade, avaliar o desempenho de lotes de sementes durante o armazenamento e após a semeadura em campo, auxiliando na tomada de decisões quanto ao manejo dos lotes.

Procedimentos com o auxílio de recursos computadorizados para análise de imagens de sementes e plântulas vêm sendo desenvolvidos como alternativa adicional à avaliação do potencial fisiológico de sementes; a comparação de seus resultados ao de testes já recomendados é necessária para identificar a consistência das informações obtidas e a possibilidade de padronização.

O Vigor-S (Análise Automatizada do Vigor de Sementes) é um sistema desenvolvido por pesquisadores brasileiros para a avaliação do vigor de sementes com base no desempenho de plântulas, poucos dias após a semeadura. O princípio desse sistema é o mesmo concebido para o SVIS[®] (Seed Vigor Imaging System), desenvolvido pela Ohio State University que tem revelado grande eficiência, mas possui limitações para utilização devido às características da patente. O objetivo desta pesquisa foi verificar a eficiência do sistema Análise Automatizada do Vigor de Sementes (Vigor-S) na identificação de diferenças de vigor de lotes de sementes de soja, em comparação ao Seed Vigor Imaging System – SVIS[®] e outros testes recomendados (envelhecimento acelerado e tetrazólio) para avaliação do vigor de sementes de soja.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A qualidade de sementes envolve a interação de atributos genéticos, físicos, fisiológicos e/ou sanidade (Marcos-Filho, 2015); a semeadura de lotes com deficiência em algum desses atributos pode comprometer o desempenho das plântulas e o futuro desenvolvimento e produção da cultura.

O potencial fisiológico, um dos atributos da qualidade de sementes, é influenciado diretamente pelo genótipo, sendo o máximo atingido na maturidade fisiológica, quando cessa o acúmulo de matéria seca (TeKrony; Egli, 1995). Além da herança genética, os atributos da qualidade das sementes são influenciados pelas condições a que foram expostas a produção, envolvendo procedimentos adotados pré e pós-colheita. Hampton (2002) destacou que, os atributos da qualidade de sementes devem se manifestar tanto após a semeadura e desenvolvimento inicial da planta, como ao final do ciclo fenológico, pois as sementes produzidas devem estar aptas a iniciar uma nova geração.

A avaliação do potencial fisiológico das sementes é efetuada conduzindo-se testes de germinação e vigor. O teste de germinação permite avaliar a habilidade de um lote de sementes para produzir plântulas normais sob condições ótimas para a espécie considerada (Brasil, 2009); esse teste geralmente acusa apenas diferenças acentuadas no grau de deterioração (Bias et al., 1999), um processo degenerativo, inexorável, contínuo e irreversível, que se inicia após a maturidade fisiológica, culminando com a morte das sementes (Delouche et al., 1973). Por outro lado, estimar o desempenho do lote de sementes sob variação do ambiente em campo e durante o armazenamento é o objetivo principal dos testes de vigor de sementes (TeKrony et al., 1987), permitindo identificar os que possuem maior ou menor probabilidade de apresentar o desempenho desejado.

Os testes de vigor têm ainda como função facilitar o manejo de lotes de sementes quanto ao destino e descarte, além de evidenciar o comportamento das sementes em situações específicas como a secagem, beneficiamento e armazenamento, auxiliando na tomada de decisões durante todas as etapas de produção das sementes (Marcos-Filho, 2015); consequentemente, esses testes são de uso cada vez mais rotineiro pelas instituições de pesquisa e indústria de sementes.

Os testes de vigor são capazes de detectar variações relativamente estreitas no estágio de deterioração de lotes de sementes com germinação semelhante (Baalbaki et al., 2009). No entanto, a adoção de um único teste, seja fisiológico, bioquímico ou de resistência a estresse, pode gerar informações incompletas, pois é muito difícil apenas um teste indicar, com certa precisão, o potencial de desempenho das sementes expostas a variadas situações (TeKrony, 2003; Marcos-Filho, 2005); nem sempre o teste mais indicado para avaliar o potencial de emergência das plântulas em campo é o mais adequado para detectar diferenças entre o potencial de armazenamento dos lotes de sementes de determinada espécie (Marcos-Filho, 1999).

Diversos testes têm sido recomendados para a avaliação do vigor de sementes de soja, destacando-se os de envelhecimento acelerado, tetrazólio, condutividade elétrica e crescimento de plântulas (Vieira et al., 2003), além de observações sobre a emergência de plântulas em campo, que permite avaliar a porcentagem e velocidade de emergência. No entanto, por ser conduzido em condições naturais de ambiente, há dificuldade para padronização de procedimentos, face às diferenças das condições entre regiões e épocas do ano, em uma mesma região (Nakagawa, 1999).

O teste de envelhecimento acelerado é um dos mais utilizados para avaliação do potencial fisiológico de sementes de várias espécies, proporcionando informações com alto grau de consistência (TeKrony, 1995). É um teste de resistência a estresse desenvolvido por Delouche (1965), consistindo no aumento da taxa de deterioração das sementes pela sua exposição a temperatura e umidade relativa do ar elevadas, ou seja, os fatores ambientais de maior influência na intensidade e velocidade de deterioração (TeKrony, 1995; Marcos-Filho, 1999a), simulando condição inadequada de armazenamento. Desse modo, lotes de sementes com alto vigor mantém porcentagem de germinação próxima à obtida no teste de germinação após serem submetidos a esse estresse, enquanto os de baixo vigor terão sua germinação reduzida de maneira mais acentuada (Baalbaki et al., 2009).

Esse teste tem sido conduzido com diferentes objetivos, dentre os quais a classificação de lotes de sementes quanto ao vigor (Menon et al., 1993; Rossetto e Marcos-Filho, 1995), avaliação do potencial de armazenamento, composição de programas de controle de qualidade, seleção de lotes para a semeadura (com base

no potencial de emergência de plântulas em campo) e auxílio na seleção de cultivares durante o melhoramento de plantas (Marcos-Filho, 1999), podendo auxiliar, ainda, na indicação de materiais para serem enviados a locais onde os produtores não dispõem de infraestrutura adequada para armazenamento das sementes (Silva et al., 2010).

Outro aspecto a ser considerado no teste de envelhecimento acelerado, são as diferenças na absorção de água pelas sementes que, expostas à atmosfera úmida, podem apresentar variações acentuadas no teor de água (Torres, 2005), podendo interferir na consistência dos resultados, fato observado principalmente em sementes relativamente pequenas (Powell, 1995). A atividade de microrganismos durante o teste de envelhecimento acelerado é outro inconveniente, pois prejudica a germinação e o desenvolvimento de plântulas, provocando incertezas quanto à sua normalidade e dificultando a interpretação do teste (Marcos-Filho, 2015).

Por esses motivos, Jianhua e McDonald (1997) desenvolveram um procedimento de envelhecimento com a exposição das sementes a soluções saturadas de sais, em substituição à água; nesse caso, a umidade relativa nos compartimentos individuais (NaCl: 76%, KCl: 87% ou NaBr: 55% de U.R.) é inferior à mantida no teste tradicional, uniformizando e reduzindo a velocidade de absorção de água pelas sementes e intensidade da deterioração. Dentre as vantagens do envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, destaca-se a uniformização do teor de água das sementes, atingindo em torno de 11% a 14% ao final do período de envelhecimento, ou seja, mais próximo do verificado durante o armazenamento das sementes da maioria das espécies cultivadas (Marcos-Filho, 2015).

A literatura documenta vários trabalhos comprovando a eficiência do teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl para avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja (Marcos-Filho et al., 2001; Marcos-Filho et al., 2009; Yagushi et al., 2014), feijão caupi (Dourado et al., 2013), trigo (Fanan et al., 2006), milho doce (Bennett et al., 2001; Alvarenga et al., 2012), amendoim (Rossetto et al., 2004), beterraba (Silva; Vieira, 2006), pepino (Bhéring et al., 2000), couve-flor (Kikuti; Marcos-Filho, 2008) e melão (Marcos-Filho et al., 2006).

O teste de tetrazólio se destaca, principalmente para a soja, devido à sua rapidez, precisão e também pelo grande número de informações fornecidas (França-Neto et al., 1988). Os autores ressaltam que, além de avaliar a viabilidade e o vigor

dos lotes de sementes, serve de base para elaboração de diagnósticos, identificando possíveis causas responsáveis pela redução do potencial fisiológico, como danos mecânicos, deterioração por “umidade” e danos provocados por percevejos, problemas que comumente afetam o potencial fisiológico de sementes de soja. Além desses, os danos provocados durante a secagem, por estresse hídrico ou ocorrência de geada podem também ser determinados na interpretação desse teste.

A semente é imersa em solução incolor de cloreto de 2,3,5 trifenil tetrazólio, que se difunde através dos tecidos e, nas células vivas, ocorre a reação de redução, resultando na formação de um composto vermelho, estável e não difusível, conhecido como trifenilformazan; isso indica atividade respiratória, principalmente em mitocôndrios e, conseqüentemente, que o tecido é viável (vivo). Tecidos não viáveis não reagem com a solução e permanecem incolores (França-Neto et al., 1988). O teste de tetrazólio tem sido o mais utilizado no Brasil, em função do grau de detalhamento das informações obtidas e do volume de análises realizadas anualmente com sementes de soja, podendo ser aplicado em diversas etapas do sistema de produção para diagnosticar possíveis causas da perda do potencial fisiológico de sementes. Costa et al. (1988) trabalhando com 10 lotes de sementes de soja, constataram que o vigor, avaliado pelo teste de tetrazólio, apresentou relação positiva com os valores de emergência das plântulas em campo e com os resultados do teste de envelhecimento acelerado.

A avaliação do desenvolvimento de plântulas também é considerada eficiente para identificar o potencial fisiológico de sementes, pois as mais vigorosas originam plântulas com maior taxa de crescimento, por apresentarem maior eficiência na atuação de mecanismos de reparo de membranas e mobilização de reservas para o eixo embrionário (Marcos-Filho, 2015). Dessa maneira, Matthews et al. (2007, 2010) verificaram que o período e a quantidade de energia consumidos para a reativação do metabolismo, atividade de mecanismos de reparo de membranas e retomada da síntese de DNA e de proteínas, influenciam o momento da protrusão da raiz primária, podendo ser precoce (semente vigorosa) ou mais tardia (semente menos vigorosa).

Testes que avaliam o desenvolvimento de plântulas são sugeridos pelas duas principais associações internacionais que reúnem tecnologistas de sementes (ISTA - International Seed Testing Association e AOSA - Association of Official Seed Analysts) e pela Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes (ABRATES). No

entanto, se as determinações do comprimento total das plântulas ou de suas partes forem realizadas com o auxílio de régua, a análise demanda tempo excessivo e os resultados são menos precisos; esse procedimento também pode produzir resultados variáveis entre laboratórios e analistas. A fim de minimizar as limitações existentes nos testes de vigor, procedimentos com o auxílio de recursos computadorizados passaram a ser desenvolvidos como alternativa na análise do desenvolvimento de plântulas; que, além de tornar o teste mais rápido, traria também resultados mais precisos (Marcos-Filho, 2015b).

Um dos primeiros trabalhos sobre análise automatizada do crescimento de plântulas foi desenvolvido por McCormac et al. (1990), em sementes de alface e cenoura. Posteriormente, Sako et al. (2001) desenvolveram na Universidade Estadual de Ohio, nos EUA, um sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas, o Seed Vigor Imaging System (SVIS[®]), que permitiu avaliação mais eficiente do vigor de plântulas de alface. Esse sistema também foi adaptado para avaliação do vigor de sementes de outras espécies como soja (Hoffmaster et al., 2003; Marcos-Filho et al., 2009; Santos et al., 2011), milho (Otoni; McDonald, 2005; Mondo et al., 2011), melão (Marcos-Filho et al., 2006), milho doce (Gomes-Junior et al., 2009; Alvarenga et al., 2012), mamona (Kobori et al., 2010), amendoim (Marchi et al., 2011), crotalária (Silva et al., 2012), pepino (Chiquito et al., 2012), algodão (Alvarenga e Marcos-Filho, 2014), feijão (Gomes-Junior et al., 2014), girassol (Rocha et al., 2015) e café (Samboni, 2018).

O SVIS[®] tem sido utilizado em laboratórios de entidades certificadoras de sementes e de empresas produtoras nos EUA, sendo considerado eficiente para avaliação do vigor de sementes de várias espécies (Marcos-Filho et al., 2009). No Brasil, o SVIS[®] não está disponível para utilização, sendo que as pesquisas com esse software têm sido coordenadas ou conduzidas exclusivamente no Laboratório de Análise de Imagens do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo (USP), devido à autorização de uso estabelecida em convênio firmado entre a Universidade de Ohio e a ESALQ, garantindo o direito de uso do software para fins científicos.

Com base nos princípios do sistema SVIS[®], pesquisadores da Universidade de São Paulo – USP/ESALQ e Embrapa/Instrumentação Agropecuária se uniram para o desenvolvimento de um sistema acessível aos profissionais da área de tecnologia de sementes no Brasil. Dessa parceria, foi desenvolvido com apoio

financeiro da Fapesp (projeto temático “Análise de imagens na pesquisa em tecnologia de sementes”) o sistema Análise Automatizada do Vigor de Sementes (Vigor-S), inicialmente para avaliação de plântulas de soja e de milho.

Assim como o SVIS[®], o Vigor-S fornece informações referentes aos índices de vigor, uniformidade de desenvolvimento e comprimento médio de plântulas. Esses sistemas avaliam o índice de vigor com base na rapidez e uniformidade de desenvolvimento das plântulas da amostra, em relação ao máximo valor estimado para plântulas com idade pré-estabelecida na programação do software. A uniformidade de desenvolvimento é um parâmetro avaliado com base nos desvios de comprimento de cada plântula da amostra em relação ao comprimento máximo de plântula pré-estabelecido.

Os dois sistemas automatizados têm vantagens quanto à obtenção rápida dos resultados, eliminação do erro humano, aumentando a confiabilidade dos dados, e a possibilidade de arquivar as imagens para posterior análise. Porém, o Vigor-S apresenta vantagens adicionais em relação ao SVIS[®], pois fornece resultados individualizados do comprimento do hipocótilo e da raiz primária e, portanto, detecta diferenças no grau de desenvolvimento (vigor) das plântulas. Além disso, os resultados referentes aos índices de vigor, de uniformidade e de comprimento de plântulas fornecidos pelo Vigor-S, podem ser exportados em extensões de Excel, permitindo melhor organização e armazenamento das informações obtidas e maior facilidade para posterior interpretação dos resultados pelo analista de sementes; graças à aquisição das imagens com maior resolução (300 dpi), em comparação ao SVIS[®] (100 dpi), há maior precisão das análises, como na identificação das partes das plântulas, com menor interferência do analista para corrigir imperfeições na marcação das plântulas pelo software (Castan et al., 2018).

Diferentemente do SVIS[®], o sistema Vigor-S está disponível gratuitamente, via “link” de fácil acesso pela internet, o que torna sua utilização viável a todos os interessados. De acordo com Carvalho (2010), a rapidez na detecção de imagens digitais e no processamento de dados informatizados e a crescente diminuição dos custos tem tornado os sistemas de análise de imagens mais atraentes na avaliação automática de diferentes aspectos da qualidade e classificação de produtos agrícolas.

Para que o sistema Vigor-S possa ser considerado eficiente na identificação de diferenças de vigor entre lotes de sementes e introduzido em programas de

controle de qualidade adotados por empresas produtoras de sementes, é necessário que haja continuidade da pesquisa, visando referendar o grau de precisão e vantagens de utilização para sementes de outras espécies de importância econômica. Silva e Gomes-Junior (2014) e Castan et al. (2018), trabalhando com análise computadorizada de imagens de plântulas de soja e milho, respectivamente, concluíram que o Vigor-S foi sensível para detectar diferenças no vigor dos lotes, originando resultados equivalentes aos obtidos em análises SVIS[®] e em testes convencionalmente utilizados para avaliação do vigor de sementes.

O controle de qualidade de sementes deve ser cada vez mais eficiente, incluindo testes que avaliem rapidamente o potencial fisiológico e que permitam diferenciação precisa entre lotes (Fessel et al., 2010; Minuzzi et al., 2010), favorecendo a padronização, a objetividade e a consistência das informações proporcionadas (Marcos-Filho, 2010). Assim, o sistema Vigor-S pode representar ferramenta para obter informações importantes visando à tomada de decisões rápidas e consistentes, contribuindo para a composição de programas de controle de qualidade adotados na indústria de sementes.

Vale ressaltar que, mesmo sabendo que um lote apresenta alto vigor, não há garantia total de um desempenho superior ou favorável. Há, apenas, maior probabilidade de melhor desempenho em relação a lotes menos vigorosos. Se as condições de estresse durante a germinação, desenvolvimento de plântulas ou durante o armazenamento forem drásticas, mesmo o lote mais vigoroso pode fracassar (Peres, 2010).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida 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”, Universidade de São Paulo (USP/ESALQ), em Piracicaba, SP.

Foram utilizados dois cultivares de soja, BMX Potência RR e 7166 RSF IPRO, cada um representado por dez lotes de sementes não submetidas a tratamento químico, com germinação semelhante e diferenças de vigor. Para determinar a distribuição do tamanho das sementes nos lotes de cada cultivar foi realizado o teste de uniformidade (Brasil, 2009). Para tanto, duas amostras de 200 g de cada lote e cultivar foram separadas em uma sequência de peneiras de crivos oblongos, superpostas em ordem decrescente, de 18x3/4” (7,14x19,05 mm) a 10x3/4” (3,96x19,05 mm), respeitando-se a diferença de 1/64” (0,4 mm) entre a largura dos crivos de cada peneira. Completadas essas separações, efetuou-se a pesagem das sementes retidas em cada peneira (precisão de 0,1 g), a determinação das percentagens de retenção e tamanho médio das sementes de cada lote. O trabalho foi conduzido com materiais de tamanho 16x3/4” (6,35x19,05 mm) +/- 1/64” (0,4 mm), escolhidos a partir das informações fornecidas por essa análise.

A condução da pesquisa foi realizada em três épocas experimentais, com intervalos aproximadamente trimestrais, visando verificar a consistência dos resultados. As sementes permaneceram armazenadas em sacos de papel, em câmara fria e seca, a 10 °C e 30% de umidade relativa do ar durante todo o período experimental, visando não permitir o progresso acentuado da deterioração.

3.1. Avaliações do desempenho das sementes

3.1.1. Teor de água

Determinado pelo método da estufa a 105 ($\pm$ 3 °C) durante 24 horas (Brasil, 2009), com duas amostras com 5 g de sementes para cada lote. Os resultados foram expressos em porcentagem média (base úmida) por lote. Essa determinação também foi realizada após a exposição das sementes às condições do teste de

envelhecimento acelerado (procedimento tradicional e com solução saturada de NaCl).

3.1.2. Germinação

Avaliada em quatro repetições de 50 sementes cada, em rolos de papel-toalha umedecidos com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco, a 25 °C. As avaliações foram efetuadas aos quatro (primeira contagem de germinação) e aos sete dias após a semeadura; a interpretação do teste foi realizada de acordo com os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem média de plântulas normais para cada lote.

3.1.3. Envelhecimento acelerado

Foram utilizadas caixas de plástico (11 cm x 11 cm x 3 cm) como compartimentos individuais. A umidade relativa no interior dessas caixas resultou da adição de 40 ml de água (para a obtenção de, aproximadamente, 100% U.R. do ar) ou de solução saturada de cloreto de sódio (ambiente com 76% U.R.) ao fundo de cada caixa, conforme descrição efetuada por Marcos-Filho et al. (2000). As amostras de cada lote foram distribuídas de modo a constituir camada única, tomando toda a superfície da tela metálica suspensa no interior de cada caixa. O envelhecimento acelerado tradicional (EAT) e com solução saturada de sal (EASS) foi conduzido a 41 °C; as sementes permaneceram durante 48 horas (EAT e EASS) e 72 horas (EASS) no interior da câmara jaquetada de água, seguindo-se, em ambas as situações, a condução de teste de germinação a 25 °C, durante quatro dias; foi computada a porcentagem média de plântulas normais para cada lote e cultivar (Marcos-Filho et al., 2000).

3.1.4. Tetrazólio

Foram utilizadas 150 sementes (3 subamostras com 50 sementes cada, para cada lote e cultivar). As sementes foram pré-condicionadas em papel-toalha,

previamente umedecido com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca e, posteriormente, mantidas em germinador, a 25 °C durante 16 horas. Em seguida, as amostras foram colocadas em copos de plástico contendo 50 ml de solução de cloreto de 2,3,5 trifenil tetrazólio a 0,075%, e mantidas em estufa, a 40 °C, durante três horas, para o desenvolvimento de coloração (França-Neto et al., 1998). Vencido esse período, as sementes foram lavadas com água corrente e permaneceram submersas em água, em ambiente refrigerado a 5 °C, até o momento da avaliação.

O teste foi interpretado a partir da classificação de sementes proposta por Moore (1967) e adaptada por França-Neto et al. (1988), onde cada semente é enquadrada nas classes de 1 a 5, caso viáveis, e de 6 a 8, se não viáveis; o nível de viabilidade é identificado de acordo com a ordem crescente de “defeitos” apresentados pelas sementes. O índice de vigor considera as porcentagens de sementes incluídas nas classes 1 a 3 (França-Neto et al., 1999) e, a viabilidade, nas classes 1 a 5.

3.1.5. Emergência de plântulas em campo

Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes cada, distribuídas de maneira equidistante em sulcos com cerca de 7 cm de profundidade e 4 m de comprimento, espaçados entre si de 40 cm; a cobertura foi efetuada com, aproximadamente, 3 cm de terra, após a semeadura. A área foi irrigada por aspersão com uma lâmina de 7 mm.dia⁻¹, a fim de garantir emergência adequada das plântulas. Foi registrado diariamente o número de plântulas emersas para determinar o índice de velocidade de emergência (Maguire, 1962). Foram computadas as plântulas que atingiram o estágio VC, ou seja, com os cotilédones acima da superfície do solo e folhas unifoliadas com as margens não mais se tocando, de acordo com a caracterização realizada por Costa e Marchezan (1982). Aproximadamente aos 15 dias após a semeadura, quando a emergência de plântulas se estabilizou, foi calculada a porcentagem de emergência, obtendo-se valores médios por lote e cultivar.

3.1.6. Análise computadorizada de imagens de plântulas (SVIS[®] e Vigor-S)

Foram utilizadas cinco repetições de 20 sementes cada por lote de cada cultivar, distribuídas em duas fileiras com 10 sementes no terço superior, sobre duas folhas de papel-toalha e cobertas com uma terceira folha. O substrato foi umedecido previamente com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa seca.

Para utilização do software Vigor-S, os rolos contendo as sementes foram mantidos em germinador a 25 °C durante três dias. Finalizado esse período, as plântulas de cada repetição foram transferidas do rolo de papel-toalha para uma folha de E.V.A (etil vinil acetato) de coloração azul com dimensões de 30 cm x 22 cm (correspondentes ao tamanho da área útil do escâner), a fim de proporcionar o contraste necessário para análise pelo sistema. Em seguida, foi realizada a digitalização das imagens de plântulas por meio de escâner HP Scanjet 200, instalado em posição invertida no interior de uma caixa de alumínio (60 x 50 x 12 cm), ajustado na resolução de 300 dpi e acoplado a um computador Core i7 (3.50 GHz, 16 GB de memória RAM, HD de 1 TB e monitor de 23 polegadas).

As imagens foram processadas pelo software, que registra comprimento máximo de plântulas pré-fixado (12,7 cm, para soja) em seu sistema operacional. Assim, foram obtidos os valores médios de índices de vigor e uniformidade de desenvolvimento, compreendendo valores de 0 a 1000, além de comprimento médio de hipocótilo, raiz e total de plântulas (Figura 1); o vigor das sementes é diretamente proporcional a esses valores. De acordo com o parâmetro de enquadramento dos sistemas, a contribuição do valor do crescimento e da uniformidade para o cálculo do índice de vigor foi de 70% e 30%, respectivamente. Ainda, para o sistema Vigor-S, a contribuição do valor do hipocótilo e da raiz primária para o cálculo do crescimento de plântula foi de 10% e 90%, respectivamente.

Figura 1. Aspecto geral da janela de análise do software Vigor-S após o processamento de imagem de plântulas.

As etapas de avaliação de imagens de plântulas pelo sistema Vigor-S podem ser observadas em Castan et al. (2018) que trabalharam com sementes de milho.

Para a obtenção dos resultados pelo Seed Vigor Imaging System (SVIS®), as imagens com resolução de 300 dpi utilizadas no sistema Vigor-S foram transformadas para 100 dpi, por meio do programa Photoshop, e analisadas pelo SVIS®. O tamanho máximo das plântulas foi fixado em cinco polegadas (12,7 cm). Assim, foram gerados os índices médios de uniformidade de desenvolvimento e de vigor e o comprimento médio de plântulas para cada lote, conforme descrito por Hoffmaster et al. (2003) e Marcos-Filho et al. (2006). A contribuição do valor do crescimento e da uniformidade para o cálculo do índice de vigor também foi de 70% e 30%, respectivamente.

3.1.7. Análise Estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e, quando necessário, os dados expressos em porcentagem foram transformados em $\arcsin(x/100)^{1/2}$ e os expressos em índices ou centímetros foram transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$. A análise da variância para os dados referentes a cada cultivar e teste, foi conduzida de acordo com delineamento inteiramente

casualizado (Tabela 1), com exceção para os dados de emergência de plântulas, analisados de acordo com delineamento blocos ao acaso (Tabela 2). A análise estatística foi realizada utilizando o software AgroEstat (Barbosa e Maldonado-Junior, 2010) e, as médias, comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Posteriormente, determinou-se o coeficiente de correlação de Pearson entre os dados de todos os testes conduzidos.

Tabela 1. Esquema da análise da variância para os testes conduzidos em laboratório

Causas de variação	Graus de liberdade		
	TZ*	G, EA**	SVIS® e Vigor-S
Lotes (L)	9	9	9
Épocas (E)	2	2	2
L x E	18	18	18
Resíduo	60	90	120
Total	89	119	149

* TZ = teste de tetrazólio

** G = teste de germinação; EA = teste de envelhecimento acelerado

Tabela 2. Esquema da análise da variância para o teste de emergência de plântulas em campo

Causas de variação	Graus de liberdade
Lotes (L)	9
Épocas (E)	2
L x E	18
Blocos	3
Resíduo	87
Total	119

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Cultivar BMX Potência RR (Cultivar 1)

4.1.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes

A análise da variância dos dados indicou valores de F significativos para efeitos de lotes em todos os testes realizados. Os valores de F foram significativos para os efeitos de épocas sobre a germinação, envelhecimento acelerado, porcentagem e velocidade de emergência de plântulas. Efeitos da interação lotes x épocas foram significativos apenas para os dados obtidos nos dois procedimentos do teste de envelhecimento. As médias obtidas nos testes de germinação, viabilidade (tetrazólio) e vigor (primeira contagem de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas) e os respectivos coeficientes de variação encontram-se na Tabela 3.

Os resultados obtidos no teste de germinação identificaram superioridade significativa dos lotes L6, L7, L8 e L10, em relação aos demais lotes, que não diferiram entre si. Isto indica que esse teste não detectou diferenças entre os lotes, de modo que o agrupamento das médias pode ter sido consequência das condições favoráveis de temperatura e umidade sob as quais o teste é conduzido. Vale ressaltar que todos os lotes superaram a germinação mínima estabelecida para a comercialização de sementes de soja no Brasil ($G \geq 80\%$); materiais com porcentagem de germinação inferior a 80% são considerados “grãos”, não sendo coerente a avaliação do vigor de lotes não comercializáveis.

A comparação entre as médias dos lotes na primeira contagem de germinação indicou valores superiores para os lotes L6, L7 e L8, em relação aos demais, com exceção de L10; L5 e L9 foram os de menor vigor, embora não diferissem de L1, L2 e L3.

Os dados do teste de tetrazólio (1-3) confirmaram o maior vigor de L7, não diferindo de L10; também, L9 foi identificado como o de menor vigor, não diferindo de L2 e L5. Quanto à viabilidade (1-5), o lote L7 obteve o maior desempenho, não diferindo de L8; por outro lado, L5 e L9 foram identificados como lotes de menor desempenho, sendo estatisticamente iguais ao L2. De acordo com França-Neto et al. (1998), no teste de tetrazólio, valores superiores a 85% caracterizam lotes com vigor muito alto; entre 84% e 75% de vigor alto, entre 74 e 60%, vigor médio, entre

59% e 50%, vigor baixo e valores inferiores correspondem a lotes com vigor muito baixo. Nesse contexto, aqui não foram identificados lotes com vigor baixo ou muito baixo, pois L2, L5 e L9, identificados com o menor vigor, apresentaram valores de 66%, 65% e 61%, respectivamente.

Quanto aos resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado tradicional (EAT), os lotes L7 e L8 foram identificados como superiores aos demais, nas três épocas de avaliação, com exceção de L10 na terceira época. Assim como na primeira contagem de germinação e no teste de tetrazólio, os lotes L5 e L9 foram os de menor potencial fisiológico. Ao comparar os dados de envelhecimento acelerado com os de germinação, verifica-se que L7 e L8 foram os que mantiveram a porcentagem de plântulas normais mais próxima à obtida no teste de germinação, apresentando maior tolerância a situações adversas. Sementes de baixo potencial fisiológico deterioram-se mais rapidamente do que as mais vigorosas no teste de envelhecimento acelerado tradicional, apresentando queda acentuada da viabilidade (Baalbaki et al., 2009), fato observado para os lotes L5 e L9, além de L2, L3 e L4.

Informações semelhantes quando à separação de lotes em diferentes níveis de vigor foram proporcionadas pelo teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (durante 48 e 72 horas), também com destaque positivo para L6 e L10, que não diferiram de L7 e L8 nas três épocas de avaliação, exceto na terceira época do EASS/48h (L6) e na primeira época do EASS/72h (L10). Os lotes L5 e L9 foram os de menor vigor, não diferindo de L1, L2 e L4 na segunda época do EASS/48h e de L10 na primeira época do EASS/72h.

Apesar dos resultados similares quanto à separação de lotes, a redução de vigor de sementes provocadas pelas condições do teste de envelhecimento acelerado tradicional foi mais acentuada que no EASS, devido ao maior estresse provocado pelo EAT. Isso ocorreu porque a umidade relativa no interior das caixas de plástico com solução saturada de NaCl (76%) é inferior à mantida no teste tradicional (próxima a 100%), permitindo uniformizar e reduzir a velocidade de absorção de água pelas sementes e intensidade da deterioração (Jianhua e McDonald, 1996). A eficiência do procedimento com utilização de sal foi verificada em sementes de soja por Marcos-Filho et al. (2000), Marcos-Filho et al. (2009) e Yagushi et al. (2014).

Tabela 3. Germinação, primeira contagem de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado tradicional (EAT 48h) e com solução saturada de NaCl (EASS 48h e EASS 72h), porcentagem e velocidade de emergência de plântulas, em 10 lotes de sementes de soja, cultivar BMX Potência RR (Cultivar 1), em três épocas de avaliação.

Lotes	Germinação (%) ¹				1ª Contagem (%) ¹				Tetrazólio (%)								
									Vigor ¹				Viabilidade ¹				
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	
L1	87	87	87	87 B	84	80	82	82 CD	84	85	88	86 BC	87	90	92	90 CD	
L2	86	91	84	87 B	79	88	79	82 CD	67	65	65	66 EF	82	83	79	81 EF	
L3	86	88	89	87 B	81	88	83	84 CD	67	72	75	71 DE	90	84	87	87 DE	
L4	90	93	89	91 B	89	89	88	88 BC	73	75	75	74 D	88	91	91	90 CD	
L5	90	90	84	88 B	83	79	79	80 D	70	59	65	65 EF	82	72	79	78 F	
L6	98	99	93	97 A	97	97	91	95 A	83	84	84	84 C	93	94	94	94 BC	
L7	100	99	97	98 A	98	97	96	97 A	96	96	90	94 A	100	98	96	98 A	
L8	97	99	93	96 A	94	96	91	94 A	87	90	90	89 BC	98	97	97	98 AB	
L9	88	86	85	86 B	83	76	80	79 D	63	56	65	61 F	79	68	83	77 F	
L10	95	99	94	96 A	91	96	93	93 AB	90	91	90	90 AB	92	95	94	94 BC	
Média	92 a	93 a	90 b		88 a	88 a	86 a		78 a	77 a	79 a		89 a	87 a	89 a		
CV (%)	6,2				6,5				4,3				4,3				
Lotes	EAT 48h (%) ¹			EASS 48h (%) ¹			EASS 72h (%) ¹			Emergência de plântulas							
										Porcentagem ¹				Velocidade (índice) ²			
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média
L1	77 Ca	59 BCb	59 BCb	78 Ba	77 CDa	81 CDa	80 Ba	82 BCda	75 BCa	89	56	83	76 BC	5,53	2,54	5,00	4,36 AB
L2	58 Da	23 DEb	24 Db	80 Ba	76 CDab	69 DEb	76 BCda	79 CDa	70 Ca	71	59	57	62 D	4,23	2,67	3,32	3,41 CD
L3	51 Da	14 EFc	27 Db	79 Ba	83 BCa	73 Da	79 BCa	74 Da	68 Ca	79	63	66	69 CD	4,71	2,84	3,89	3,81 BC
L4	61 Da	32 Db	17 Dc	85 Ba	80 CDab	72 Db	81 Ba	74 Da	78 BCa	75	63	71	70 CD	4,42	2,77	4,26	3,82 BC
L5	24 Ea	10 Fb	7 Eb	73 Ba	71 CDa	50 Fb	54 Ea	51 Ea	41 Da	64	59	55	59 D	3,66	2,48	3,11	3,08 D
L6	80 Ca	68 Bb	45 Cc	95 Aa	91 ABa	89 BCa	93 Aa	92 ABCa	85 ABa	89	75	78	80 AB	5,42	3,45	4,62	4,50 AB
L7	95 ABa	88 Aab	80 Ab	99 Aa	97 Aa	98 Aa	99 Aa	98 Aa	94 Ab	95	79	91	88 A	5,91	3,71	5,53	5,05 A
L8	97 Aa	89 Ab	82 Ab	98 Aa	94 Ab	92 ABb	95 Aa	97 Aa	93 Aa	97	80	86	88 A	6,06	3,76	5,19	5,00 A
L9	17 Ea	3 Gb	1 Fb	80 Ba	67 Db	55 EFc	63 DEa	53 Ea	37 Db	70	54	53	59 D	3,98	2,21	2,96	3,05 D
L10	86 BCa	52 Cc	71 ABb	97 Aa	92 ABb	91 ABCb	63 DEb	92 ABa	88 ABa	92	79	86	85 AB	5,76	3,64	5,15	4,85 A
Média	65 a	44 b	41 b	86 a	83 b	77 c	78 a	79 a	73 b	82 a	67 c	73 b		4,97 a	3,01 c	4,30 b	
CV (%)	8,6			6,1			7,3			9,1				6,0			

¹ Dados transformados em $\arcsen(x/100)^{1/2}$, ² dados transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$. Letras maiúsculas: comparações entre médias dentro de cada coluna; letras minúsculas, comparações dentro de cada linha, separadamente para cada teste conduzido (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

O teor de água das sementes do cultivar BMX Potência RR no início das avaliações e após os testes de envelhecimento acelerado tradicional e com solução saturada de NaCl encontram-se na Tabela 4. Considerando o conjunto das três épocas, a variação do teor de água inicial foi de 7,7% a 10,0%. Após o período de EAT, a variação foi de 24,1% a 27,4%; após o EASS/48h a variação foi de 11,9% a 13,0% e, após o EASS/72h, foi de 11,9% a 13,2%. Vale ressaltar que em cada época a variação do teor de água não foi superior a dois pontos percentuais.

Tabela 4. Teor de água de sementes do cultivar BMX Potência RR antes do início das avaliações (T.A. Inicial) e após o envelhecimento acelerado tradicional (T.A. EAT) e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, durante 48 horas (T.A. EASS48h) e 72 horas (T.A. EASS72h), nas três épocas de avaliação.

	T.A. Inicial			T.A. EAT			T.A. EASS48h			T.A. EASS72h		
	-----%-----											
Lotes	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
L1	9,1	9,3	7,8	25,6	25,5	24,9	12,3	11,9	12,0	11,9	12,2	12,4
L2	9,1	8,8	8,0	24,2	25,8	25,4	12,5	12,0	12,1	12,1	12,3	12,3
L3	9,1	9,7	7,7	24,1	25,6	25,1	12,6	12,5	12,2	12,4	12,2	13,0
L4	9,0	8,7	8,2	24,2	25,5	25,9	12,0	12,6	12,3	12,0	12,1	12,7
L5	9,1	10,0	8,2	25,1	27,4	25,9	12,6	13,0	12,5	12,3	12,3	12,5
L6	9,0	8,2	8,1	25,6	26,3	25,2	12,2	12,7	12,5	12,4	12,6	12,7
L7	9,1	8,0	8,3	25,5	27,3	26,8	12,3	12,7	12,4	12,4	12,2	12,7
L8	9,1	8,1	7,7	24,2	27,2	24,7	12,8	12,4	12,1	12,3	12,4	12,8
L9	9,0	8,0	8,1	24,1	27,2	25,8	13,0	12,6	12,4	12,9	12,6	13,2
L10	9,2	10,0	8,3	24,4	25,7	26,2	12,3	12,1	12,2	12,6	12,2	12,8

A uniformização do teor de água das sementes antes da avaliação do potencial fisiológico é imprescindível para a padronização de procedimentos e obtenção de resultados consistentes (Marcos-Filho et al., 1987); o teor de água deve ser determinado antes e após o período de envelhecimento, a fim de verificar a consistência dos resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado (Marcos-Filho, 1999). Diferenças acentuadas podem interferir negativamente na intensidade de deterioração das sementes durante o envelhecimento; assim, para assegurar a uniformidade do teste, é recomendado que as variações entre as amostras não sejam superiores a 2,0 pontos percentuais no teor de água das sementes antes e após o envelhecimento (Marcos-Filho, 1999). Esse limite tolerável de dois pontos percentuais não foi excedido, de modo que o teor de água não interferiu no desempenho de lotes de sementes durante as avaliações de germinação e vigor.

A Tabela 3 também apresenta os resultados referentes ao teste de emergência de plântulas em campo. A comparação entre as médias de lotes da porcentagem de emergência permitiu classificar L7 e L8 como os de maior vigor, não diferindo de L6 e L10; por outro lado, os lotes L2, L5 e L9 foram os menos vigorosos, não diferindo de L3 e L4. Quanto à velocidade de emergência, os lotes L7, L8 e L10 atingiram o maior vigor, não diferindo de L1 e L6; os lotes menos vigorosos foram L5 e L9, mas não diferiram estatisticamente do lote L2. De maneira geral, não houve divergência quanto à separação dos lotes de maior e menor potencial fisiológico entre os testes de vigor realizados; no entanto, os dados de primeira contagem do teste de germinação (exceto L1) e teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (durante 48 e 72 horas) foram os que se relacionaram de maneira mais próxima com os dados de emergência em campo.

O destino final das sementes é o campo, objetivando-se estabelecimento rápido e uniforme do estande; dessa maneira, os resultados dos testes de vigor devem ser associados aos de emergência das plântulas em campo, avaliando se a separação de lotes é feita de maneira semelhante, para monitoramento de sua eficiência. No entanto, a capacidade dos testes de laboratório para estimar o potencial de emergência das plântulas diminui à medida que as condições de ambiente vão se desviando das mais adequadas e, em condições muito desfavoráveis de ambiente, não há teste eficiente (Marcos-Filho, 1999).

Com relação aos efeitos de épocas, observou-se nos dados de porcentagem e velocidade de emergência de plântulas que o maior potencial fisiológico foi identificado na primeira época de avaliação e, o menor, na segunda; como esse teste na segunda e terceira épocas foi conduzido sob condições ambientais adequadas e em períodos próximos, esse pior desempenho de lotes na segunda época em relação à terceira pode ter sido pontual.

A temperatura adequada para a semeadura de soja varia entre 20 °C e 30 °C, sendo 25 °C a temperatura ideal para emergência rápida e uniforme (Farias et al., 2007). Na Figura 2 encontram-se os dados climáticos referentes às três épocas de avaliação. As condições de ambiente durante a condução do teste apresentaram temperaturas médias adequadas para a germinação e emergência de plântulas, variando entre 20 e 25 °C nas três épocas de avaliação. Nesses estádios, a disponibilidade hídrica constitui fator limitante e, devido à ausência de chuvas, principalmente na fase inicial do desenvolvimento das plântulas na segunda e

terceira época, foi utilizado sistema de irrigação por aspersão para suprir as necessidades durante esse estágio.

Ainda que haja diferenças na sensibilidade entre os testes para identificar diferenças do potencial fisiológico de sementes, foi observada separação de lotes do cultivar BMX Potência RR de forma coerente.

Figura 2. Variáveis climáticas: temperaturas máximas, médias e mínimas, umidade relativa do ar e precipitação pluvial durante a condução do teste no campo na primeira, segunda e terceira época de avaliação. Fonte – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (2018).

4.1.2. Avaliação do potencial fisiológico das sementes por meio de recursos de análise de imagens de plântulas (softwares SVIS® e Vigor-S)

A análise da variância dos dados obtidos nas avaliações SVIS® e Vigor-S revelou valores significativos para os efeitos de lotes e de épocas sobre todos os parâmetros avaliados, exceto para os efeitos de épocas sobre o índice de uniformidade (SVIS®) e comprimento do hipocótilo (Vigor-S). Efeitos da interação lotes x épocas também foram significativos para os dados obtidos em todos os parâmetros avaliados (índice de vigor, índice de uniformidade de plântulas, comprimento de plântulas, comprimento de hipocótilo e comprimento de raiz), com exceção para o índice de uniformidade de desenvolvimento (SVIS®). As médias obtidas na análise computadorizada de imagens de plântulas, SVIS® e Vigor-S, aos três dias de germinação, encontram-se na Tabela 5.

As informações obtidas em análises SVIS® (índice de vigor e comprimento de plântulas) tiveram a mesma sensibilidade na identificação dos lotes L5 e L9 como os de menor vigor nas três épocas, além de L4 na segunda. Quanto aos lotes mais vigorosos, segundo esses dois parâmetros, houve destaque para L7, L8 e L10 na primeira época, sem diferir de L6; na segunda época, L8 foi o lote mais vigoroso, não diferindo de L7 e L10 no índice de vigor, e na terceira época, os lotes de maior vigor foram L7 e L8, sem diferir de L1 e L10.

Pesquisas realizadas com sementes de soja (Hoffmaster et al., 2003; Sekharan, 2005; Marcos-Filho et al., 2009; Wendt et al., 2014), amendoim (Marchi et al., 2011), feijão (Gomes-Junior et al., 2014) e várias outras espécies, também demonstraram a sensibilidade das análises SVIS® na separação dos lotes quanto ao vigor.

A Universidade Estadual de Ohio, nos EUA, propôs uma escala de classificação do vigor de sementes segundo o software SVIS® em que sementes de vigor excepcional apresentam índice de vigor entre 800 e 1000, as de alto vigor, índice de 600 e 799, de bom vigor entre 400 e 599 e, baixo vigor, índice de 200 a 399. No presente trabalho, os lotes de sementes do cultivar BMX Potência RR classificados com o maior e o menor índice de vigor nas três épocas, atingiram valores superiores a 900 e inferiores a 599 (mínimo de 503), respectivamente.

O índice de uniformidade de desenvolvimento (SVIS[®]) indicou que sementes dos lotes L6, L7, L8 e L10 originaram plântulas com desenvolvimento mais uniforme, coincidindo com lotes de maior vigor nos testes de germinação e de vigor (primeira contagem do teste de germinação, EASS e emergência de plântulas); diferenças entre os demais lotes não foram identificadas. Marcos-Filho et al. (2009) não identificaram diferenças consistentes entre lotes de sementes de soja por meio dos dados de uniformidade de desenvolvimento. Por outro lado, em estudo com café Bourbon, Samboni (2018) observou que lotes de sementes com baixa uniformidade de desenvolvimento das plântulas (com 20 dias de germinação) resultaram em menor índice de vigor pelo SVIS[®]; este resultado não foi observado no presente estudo com sementes do cultivar BMX Potência RR.

O índice de uniformidade representa informação muito importante, pois a formação de um estande inicial adequado depende da emergência rápida e uniforme de plântulas normais. No entanto, esse índice isolado não é suficiente para afirmar que um lote que origine plantas com alto índice de uniformidade é composto apenas por sementes de alto vigor, pois lotes compostos apenas por plântulas pouco desenvolvidas também podem gerar alto índice de uniformidade.

Ainda na Tabela 5, a separação de lotes indicada nas análises Vigor-S (índice de vigor, comprimento de plântulas, comprimento de hipocótilo e comprimento de raiz) foi semelhante ao SVIS[®] (índice de vigor e comprimento de plântulas); os lotes L5 e L9 foram identificados como os de mais baixo vigor nas três épocas de avaliação, não diferindo apenas de L4 na segunda. A identificação dos lotes de maior vigor diferiu entre as épocas, destacando-se L6, L7, L8 e L10 na primeira, L8 na segunda e, na terceira, L7 e L8, que não diferiram de L1 e L10 para comprimento de plântulas. Os dados do comprimento de hipocótilo ainda mostraram que houve destaque para L1, L7 e L10 nas três épocas de avaliação, além de L6 na terceira época; esse desempenho de L1 também foi observado nos dados de velocidade de emergência de plântulas e nos parâmetros do SVIS[®] (terceira época).

Como observado para o sistema SVIS[®], é importante que as empresas produtoras de sementes definam um padrão de classificação conforme os índices gerados pelo Vigor-S, possibilitando a separação de lotes adequada ao controle de qualidade adotado e comparável à efetuada pelos resultados de outros testes de vigor.

Alta uniformidade de plântulas (índice de uniformidade superior a 800) foi observada para os lotes L7 e L8, não diferindo de L6 e L10; esses lotes também foram identificados pelos outros parâmetros (índice de vigor e comprimento de plântulas, comprimento de hipocótilo e comprimento de raiz) como de alto potencial fisiológico. Da mesma maneira, o lote identificado pela menor uniformidade de desenvolvimento de plântulas (L5), nas três épocas, coincidiu com o resultado de menor vigor, mas não diferiu de L1 e L9 na primeira época e, de L2, L3, L4 e L9 na segunda e terceira épocas.

Diferentemente do SVIS[®], o Vigor-S tem maior sensibilidade à variação do índice de uniformidade entre os lotes de sementes; provavelmente isso ocorre porque a fórmula utilizada para o cálculo desse índice no sistema Vigor-S foi adaptada da desenvolvida para o SVIS[®]. Assim, foi possível verificar que a classificação de lotes nas duas últimas épocas foi semelhante à observada para a porcentagem de emergência de plântulas em campo; essa pode ser outra vantagem do software brasileiro.

De modo geral, as análises automatizadas SVIS[®] e Vigor-S e os testes recomendados (primeira contagem do teste de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado e emergência de plântulas) identificaram, de maneira consistente, os lotes de maior (L7, L8 e L10) e de menor (L5 e L9) vigor, nas três épocas de avaliação. Também, observou-se que o desempenho superior do lote L6 na primeira época das análises Vigor-S e SVIS[®] foi identificado na porcentagem e na primeira contagem de germinação, no envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (durante 48 e 72 horas) e emergência de plântulas; ainda, a avaliação do comprimento de hipocótilo (Vigor-S) indicou L1 como lote de maior vigor, fato também verificado nos dados de velocidade de emergência de plântulas em campo. Diante do exposto, pode-se afirmar que a sensibilidade do sistema Vigor-S para separação (“ranqueamento”) de lotes do cultivar BMX Potência RR foi comparável à obtida no software SVIS[®] e nos testes recomendados para avaliação do vigor de sementes de soja.

A eficiência do sistema SVIS[®] para a separação de lotes foi enfatizada em diversos trabalhos e, apesar do uso do sistema Vigor-S ser mais recente, sua eficiência comparada ao SVIS[®] e a testes convencionalmente utilizados também foi constatada por Silva e Gomes-Junior (2014), em sementes de soja, e Castan et al. (2018), em sementes de milho.

Tabela 5. Índices de vigor (IV) e de uniformidade de desenvolvimento (IU) e comprimento de plântulas (CP) obtidos em análises SVIS® e Vigor-S; comprimento de hipocótilo (CH) e comprimento de raiz (CR) sistema Vigor-S, em 10 lotes de sementes de soja, cultivar BMX Potência RR (Cultivar 1), em três épocas de avaliação

SVIS®										
Lotes	IV ¹			IU ¹			Média	CP (cm) ¹		
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3		Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3
L1	853 BCa	845 Ba	917 ABa	852	840	867	853 B	8,62 BCb	8,62 Bb	9,82 ABa
L2	776 Ca	665 Cb	708 Cb	851	825	850	842 B	7,58 Ca	6,08 Cb	6,53 Cb
L3	770 Ca	629 CDb	713 Ca	831	863	858	851 B	7,44 Ca	5,38 CDb	6,62 Ca
L4	789 Ca	586 CDEb	724 Ca	856	834	844	845 B	7,76 Ca	4,86 DEb	6,79 Ca
L5	554 Da	518 Ea	527 Da	820	846	870	845 B	4,42 Da	3,88 Ea	3,83 Da
L6	950 ABa	867 Bb	846 Bb	909	897	873	893 A	9,94 ABa	8,68 Bb	8,50 Bb
L7	979 Aa	928 ABa	978 Aa	930	905	930	922 A	10,86 Aa	9,58 Bb	11,06 Aa
L8	976 Aa	977 Aa	971 Aa	920	923	904	916 A	11,18 Ab	12,60 Aa	10,94 Ab
L9	532 Dab	573 DEa	503 Db	840	847	856	848 B	4,06 Dab	4,70 DEa	3,60 Db
L10	958 Aa	904 ABa	917 ABa	906	887	893	896 A	10,16 Aa	9,54 Ba	9,48 ABa
Média	814 a	749 c	780 b	872 a	867 a	875 a		8,20 a	7,39 c	7,72 b
CV (%)		3,0				1,8			4,2	

Vigor-S															
Lotes	IV ¹			IU ¹			CP (cm) ¹			CH (cm) ¹			CR (cm) ¹		
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3
L1	632 Ba	636 Ca	712 BCa	631CDEa	708 BCDA	716BCDA	9,52 BCb	9,58 Bab	10,80 ABa	3,74ABCb	4,27 ABa	4,40 Aa	5,74 Bab	5,33 Cb	6,41 Ba
L2	603 Ba	483 Db	497 Db	712 BCa	614 DEab	599 DEb	8,32 Ca	7,00 Cb	7,26 Cab	3,26 Ca	3,31 Ca	3,29 Ba	5,06 Ba	3,69 Db	3,99 Cb
L3	596 Ba	446 DEb	514 Db	685 CDa	623 CDEa	643CDEa	8,36 Ca	6,16 CDb	7,34 Ca	3,26 Ca	3,01 Ca	3,30 Ba	5,10 Ba	3,16 DEc	4,02 Cb
L4	607 Ba	396 DEFc	495 Db	685 CDa	555 Eb	570 Eb	8,78 Ca	5,52 DEc	7,56 Cb	3,56 BCa	2,74 CDb	3,54 Ba	5,22 Ba	2,79 EFc	4,01 Cb
L5	379 Ca	330 Fa	336 Ea	502 Ea	503 Ea	567 Ea	5,08 Da	4,42 Ea	4,28 Da	2,14 Da	2,26 Da	2,38 Ca	2,92 Ca	2,15 Fb	1,92 Db
L6	780 Aa	674 BCb	652 Cb	829 ABa	752 ABCa	727ABCDa	11,12ABa	9,88 Bab	9,44 Bb	4,16 ABa	4,10 Ba	3,85 ABa	6,98 Aa	5,75 BCb	5,60 Bb
L7	852 Aa	761 Ba	846 Aa	876 Aa	840 ABa	874 Aa	12,16 Aab	10,84 Bb	12,20 Aa	4,34 Aa	4,22 ABa	4,50 Aa	7,82 Aa	6,64 Bb	7,71 Aa
L8	865 Aab	941 Aa	835 ABb	874 Aa	859 Aa	814 ABa	12,38 Ab	14,02 Aa	12,16 Ab	4,34 Aa	4,82 Aa	4,30 Aa	8,04 Ab	9,20 Aa	7,86 Ab
L9	362 Ca	383 EFa	339 Ea	552 DEa	610 DEa	611 DEa	4,68 Dab	5,10 DEa	4,00 Db	2,24 Db	2,79 CDa	2,20 Cb	2,40 Ca	2,32EFab	1,80 Db
L10	785 Aa	708 BCa	713 BCa	824 ABa	733ABCDa	772 ABCa	11,42 Aa	10,70 Ba	10,50 ABa	4,36 Aa	4,43 ABa	4,28 Aa	7,02 Aa	6,28 BCa	6,21 Ba
Média	646 a	576 b	594 b	717 a	680 b	689 ab	9,18 a	8,32 b	8,55 b	3,54 a	3,60 a	3,60 a	5,63 a	4,73 b	4,95 b
CV (%)		4,6			4,9			4,3			4,0			4,8	

¹ Dados transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$. Letras maiúsculas: comparações entre médias dentro de cada coluna; letras minúsculas, comparações dentro de cada linha, separadamente para cada teste conduzido (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

4.1.3. Correlação entre os dados obtidos nos testes de germinação e de vigor

Os atributos da magnitude das correlações foram atribuídos segundo a designação estabelecida por Davis (1971), em que os valores de r entre 0,01 e 0,09 correspondem a correlações “desprezíveis”; r entre 0,10 e 0,29, “baixas”; r entre 0,30 e 0,49 “moderadas”; r entre 0,50 e 0,69, “substanciais”; r entre 0,70 e 0,99, “muito altas” e $r=1,0$ é a correlação “perfeita”. Os coeficientes de correlação simples, para as três épocas de avaliação do cultivar BMX Potência RR encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) entre as variáveis relacionadas, nas três épocas de avaliação do cultivar BMX Potência RR.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 TG *	1,000																
2 1ª Cont.	0,943	1,000															
3 TZvigor	0,759	0,795	1,000								0,000	a	0,699				
4 TZviab.	0,749	0,834	0,916	1,000							0,700	a	1,000				
5 EAT	0,700	0,708	0,857	0,819	1,000												
6 EASS48	0,843	0,847	0,806	0,790	0,854	1,000											
7 EASS72	0,662	0,753	0,730	0,788	0,749	0,703	1,000										
8 EP	0,655	0,706	0,779	0,763	0,874	0,832	0,643	1,000									
9 IVE	0,406	0,495	0,622	0,633	0,747	0,633	0,482	0,930	1,000								
10 SVIS-IV	0,678	0,718	0,892	0,850	0,935	0,842	0,787	0,851	0,729	1,000							
11 SVIS-IU	0,772	0,775	0,763	0,696	0,757	0,723	0,657	0,730	0,600	0,775	1,000						
12 SVIS-CP	0,691	0,717	0,878	0,846	0,931	0,837	0,783	0,837	0,702	0,988	0,793	1,000					
13 VigS-IV	0,720	0,741	0,874	0,851	0,946	0,856	0,783	0,850	0,715	0,981	0,827	0,994	1,000				
14 VigS-IU	0,726	0,740	0,824	0,801	0,896	0,824	0,734	0,786	0,658	0,920	0,892	0,925	0,952	1,000			
15 VigS-CP	0,704	0,732	0,881	0,853	0,934	0,846	0,790	0,837	0,697	0,988	0,794	0,999	0,995	0,925	1,000		
16 VigS-CH	0,649	0,688	0,871	0,817	0,858	0,785	0,778	0,736	0,583	0,970	0,735	0,965	0,944	0,881	0,965	1,000	
17 VigS-CR	0,709	0,730	0,865	0,847	0,945	0,853	0,780	0,857	0,723	0,976	0,802	0,994	0,997	0,926	0,995	0,935	1,000

(*) TG (teste de germinação); 1ªCont (primeira contagem do teste de germinação); TZvigor (teste de tetrazólio – Vigor); TZviab (teste de tetrazólio – viabilidade); EAT (envelhecimento acelerado tradicional); EASS48 (envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl - durante 48 horas); EASS72 (envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl - durante 72 horas); EP (porcentagem de emergência de plântulas); IVE (índice de velocidade de emergência); SVIS-IV (índice de vigor - sistema SVIS); SVIS-IU (índice de uniformidade - sistema SVIS); SVIS-CP (comprimento de plântulas - sistema SVIS); VigS-IV (índice de vigor - sistema Vigor-S); VigS-IU (índice de uniformidade - sistema Vigor-S); VigS-CP (comprimento de plântulas - sistema Vigor-S); VigS-CH (comprimento de hipocótilo - sistema Vigor-S); VigS-CR (comprimento de raiz - sistema Vigor-S). Os números no eixo horizontal da tabela referem-se aos testes indicados no eixo vertical, na mesma sequência.

O uso exclusivo de análises de correlação para a avaliação da eficiência comparativa dos testes de vigor pode contribuir para a obtenção de informações pouco consistentes (Marcos-Filho et al., 1984), pois os dados podem apresentar alta correlação positiva ou negativa apenas porque apresentam tendências de variação comparáveis entre si (Marcos-Filho, 1999). Por essa razão, foram realizadas

correlações lineares simples (correlação de Pearson) dos dados coletados nos diferentes testes; a interpretação dessa análise foi relacionada às informações provenientes da comparação entre médias (Tabelas 3 e 5), procurando verificar a consistência dos diferentes testes utilizados para avaliação do potencial fisiológico.

Foi observada existência de correlação “muito alta” entre os dados de primeira contagem do teste de germinação e os de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (durante 48 e 72 horas), confirmando as informações provenientes da comparação de médias (Tabela 3). A correlação dos dados de primeira contagem de germinação e EASS com os da porcentagem de emergência de plântulas também foi considerada “muito alta”, exceto para os dados de EASS/72h. Correlação inferior a 0,700 foi verificada entre os dados do índice de velocidade de emergência de plântulas e os de primeira contagem de germinação (0,495), EASS/48h (0,633) e EASS/72h (0,482).

Correlação “muito alta” foi observada entre os dados obtidos nas análises Vigor-S e SVIS[®], que também apresentaram correlação “muito alta” com os dados dos testes de vigor já recomendados. A correlação foi considerada “substancial” quando comparados os dados das análises Vigor-S (comprimento de plântulas e comprimento de hipocótilo) com os do índice de velocidade de emergência de plântulas em campo (IVE); nos testes de comparação de médias (Tabelas 3 e 5), o IVE promoveu separação de lotes (“ranqueamento”) de maneira similar ao sistema Vigor-S, ainda que a correlação tenha sido inferior a 0,700.

Correlação “substancial” também foi observada entre os dados Vigor-S (comprimento de hipocótilo) com os da primeira contagem do teste de germinação. Ainda que a primeira contagem do teste de germinação seja menos sensível para detectar diferenças no potencial fisiológico, apresentou a mesma tendência de separação de lotes que o comprimento de hipocótilo (Vigor-S), exceto pelos lotes L1, L2 e L3; esse fato possivelmente permite explicar o menor coeficiente de correlação entre os dados desses testes.

O índice de uniformidade do SVIS[®] foi menos sensível na identificação de diferenças entre lotes, destacando apenas os lotes de maior vigor, diferentemente do mesmo índice no sistema Vigor-S, que promoveu maior separação de lotes. Os resultados da Tabela 6 permitem essa constatação, pois, o coeficiente de correlação entre os dados no índice de uniformidade e os obtidos nas demais análises Vigor-S

foi maior que o coeficiente de correlação entre os dados do índice de uniformidade e os obtidos nas demais análises SVIS®.

4.2. Cultivar 7166 RSF IPRO (Cultivar 2)

4.2.1. Avaliação do potencial fisiológico das sementes

A análise da variância dos dados indicou valores de F significativos para efeitos de lotes sobre os dados de todos os testes conduzidos; quanto aos efeitos de épocas, os valores de F foram significativos para os dados de envelhecimento acelerado (EAT e EASS), porcentagem e velocidade de emergência de plântulas. Efeitos da interação lotes x épocas foram significativos apenas para os dados obtidos nos dois procedimentos do teste de envelhecimento acelerado. As médias obtidas nos testes de germinação e vigor e os respectivos coeficientes de variação encontram-se na Tabela 7.

A maior porcentagem de germinação de sementes foi observada para o lote L10 (97%), não diferindo significativamente de L3 (95%); em contrapartida, a germinação de L1 (79%) e L7 (80%) foi estatisticamente inferior às dos demais lotes avaliados. Observa-se que, inicialmente (época 1), todos os lotes atenderam aos padrões para comercialização de sementes no Brasil ($G \geq 80\%$). O teste de germinação é importante, pois fornece informações sobre o potencial de uma amostra para germinar sob condições ótimas de ambiente (Marcos-Filho, 1999); condições desfavoráveis para a semente no campo podem prejudicar a emergência de plântulas.

Assim como no teste de germinação, a classificação de lotes com base nos dados da primeira contagem de germinação permitiu identificar os lotes de maior (L3 e L10) e de menor (L1 e L7) potencial fisiológico. De acordo com Nakagawa (1999), o teste de primeira contagem permite, indiretamente, uma avaliação da velocidade de germinação, pois, maior porcentagem nessa primeira contagem significa que as sementes desta amostra germinaram mais rapidamente. No entanto, a manifestação do vigor das sementes responde diretamente à influência do meio ambiente; assim, testes baseados no desenvolvimento de plântulas, como a primeira contagem de germinação, podem não apresentar sensibilidade suficiente para acusar diferenças pouco acentuadas no potencial fisiológico (Marcos-Filho, 1999).

A tendência de separação dos lotes de maior e menor desempenho no teste de tetrazólio quanto à viabilidade foi a mesma observada para germinação e primeira contagem de germinação. Quanto ao vigor, L10 foi o lote de maior destaque, não diferindo significativamente de L3 e L9; o menor vigor foi observado para o lote L7.

Os resultados do teste de envelhecimento acelerado tradicional revelaram os lotes de maior vigor (L2 e L9) nas três épocas de avaliação, não diferindo de L3 (primeira época) e L10 (primeira e terceira épocas). Da mesma maneira, L8 foi indicado com o menor vigor, além de L1 (primeira época), L6 (terceira época) e L7 (primeira e terceira épocas). O decréscimo no número de plântulas normais observadas após o teste de envelhecimento acelerado tradicional é explicado pela exposição de sementes às condições de alta temperatura e umidade relativa, que causam alterações metabólicas em relação à taxa de respiração e à ineficiência das enzimas de eliminação de radicais livres (Tian et al., 2008). Além disso, as sementes no envelhecimento artificial são submetidas a modificações anatômicas na camada hipodérmica da testa e a um colapso das células hipodérmicas, que está associado à redução da capacidade de germinação (Silva et al., 2008).

Diferentemente do envelhecimento acelerado tradicional, a separação de lotes realizada pelo teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (durante 48 e 72 horas) foi menos uniforme entre as épocas. De maneira geral, os lotes L3 e L10 foram indicados como os de maior vigor e, L7, o de menor, nas três épocas; o lote L9 também teve destaque na segunda e terceira épocas de avaliação. Em duas das três épocas, os resultados permitiram classificar L1 entre os lotes de menor vigor e, L2, como maior. Também, o menor vigor de lotes foi identificado para L4 (terceira época), além de L8 na segunda e terceira épocas do EASS realizado durante 72 horas e 48 horas, respectivamente.

O efeito da temperatura associada à umidade relativa em cada procedimento de envelhecimento acelerado permitiu a separação dos lotes em diferentes níveis de vigor. A redução da germinação de sementes foi mais acentuada no EAT em relação ao EASS; como destacado anteriormente, esse resultado pode ser explicado devido às condições de maior estresse a que as sementes são submetidas no EAT. A classificação de lotes obtida com base nos resultados do EASS/48h e EASS/72h foi similar e, apesar da menor uniformidade dos resultados entre épocas, também foi coerente com a separação de lotes efetuada pelo EAT; dessa maneira, é possível

afirmar que o uso de solução salina torna o teste de envelhecimento acelerado menos severo, mas não reduz sua eficiência em relação ao procedimento tradicional; resultado também verificado por Marcos-Filho et al. (2000) e Marcos-Filho et al. (2009).

Tabela 7. Germinação, primeira contagem de germinação, tetrazólio, envelhecimento acelerado tradicional (EAT 48h) e com solução saturada de NaCl (EASS 48h e EASS 72h), porcentagem e velocidade de emergência de plântulas, em 10 lotes de sementes de soja, cultivar 7166 RSF IPRO (Cultivar 2), em três épocas de avaliação.

Lotes	Germinação (%) ¹				1ª Contagem (%) ¹				Tetrazólio (%)								
									Vigor				Viabilidade ¹				
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	
L1	83	81	74	79 D	75	75	68	72 D	70	60	60	63 E	84	73	72	76 EF	
L2	94	92	93	93 BC	89	88	88	88 BC	77	80	78	78 BC	90	83	88	87 BC	
L3	93	97	95	95 AB	92	90	94	92 AB	86	88	86	87 AB	92	96	93	94 A	
L4	92	92	84	89 C	81	85	81	82 C	65	71	64	67 DE	76	83	72	77 DEF	
L5	94	90	93	92 BC	87	83	89	86 BC	71	74	79	75 CD	82	88	92	87 BC	
L6	94	91	91	92 BC	86	84	87	86 BC	67	74	71	71 CDE	85	86	85	85 CDE	
L7	83	81	75	80 D	66	72	68	68 D	51	58	53	54 F	73	79	72	75 F	
L8	92	92	89	91 BC	85	85	85	85 C	69	67	70	69 DE	81	85	86	84 CDEF	
L9	91	93	91	92 BC	86	90	90	88 BC	78	80	81	80 ABC	84	86	89	86 CD	
L10	99	97	96	97 A	98	95	91	95 A	91	87	86	88 A	94	95	92	94 AB	
Média	92 a	91 a	88 a		85 a	85 a	84 a		73 a	74 a	73 a		84 a	85 a	84 a		
CV (%)	6,6				7,2				6,3				5,3				
Lotes	EAT 48h (%) ¹			EASS 48h (%) ¹			EASS 72h (%) ¹			Emergência de plântulas							
										Porcentagem				Velocidade (índice) ²			
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média
L1	44 DEa	35 Cab	26 BCDb	76 DEa	75 Ca	60 Db	91 ABCa	66 CDb	54 DEb	63	40	26	43 D	3,62	1,72	1,44	2,26 D
L2	80 Aa	75 Aa	70 Aa	83 CDEa	84 ABCa	85 ABa	87ABC Da	83 ABab	75 BCb	83	63	59	68 A	5,09	2,96	3,39	3,81 A
L3	74 ABa	34 Cb	35 BCb	97 Aa	90 ABab	87 ABb	95 Aa	86 ABb	85 ABb	83	64	48	65 AB	4,83	2,91	2,75	3,50 AB
L4	51 CDa	32 Cb	30 BCb	85 CDa	75 Cb	66 CDb	73 Ea	76 BCa	56 DEb	69	42	34	48 CD	3,87	1,87	1,88	2,54 CD
L5	61 BCa	52 Ba	39 Bb	85 CDab	89 ABa	81 Bb	79 CDEa	79 BCa	74 BCa	81	54	36	57 ABC	4,65	2,44	2,03	3,04 ABC
L6	58 CDa	26 Cb	22 CDEb	89 BCa	83 BCab	79 BCb	83BCDEa	80 BCa	79 BCa	75	49	38	54 BCD	4,30	2,06	2,14	2,83 BCD
L7	47 CDEa	34 Cb	15 DEc	71 Ea	57 Db	54 Db	54 Fa	51 Da	43 Ea	58	36	34	43 D	3,38	1,62	1,92	2,31 CD
L8	33 Ea	6 Db	11 Eb	87 BCDa	83 BCa	61 Db	76 DEa	67 CDab	63 CDb	70	52	31	51 CD	3,89	2,23	1,74	2,62 CD
L9	74 ABa	62 ABb	59 Ab	89 BCa	92 Aa	87 ABa	85BCDEa	87 ABa	87 ABa	83	61	59	68 A	4,98	2,75	3,49	3,74 A
L10	86 Aa	60 Bb	63 Ab	95 ABa	93 Aa	94 Aa	94 ABa	92 Aa	93 Aa	85	56	58	66 AB	5,19	2,52	3,31	3,67 A
Média	61 a	42 b	37 c	86 a	82 b	75 c	82 a	77 b	71 c	75 a	52 b	42 c		4,38 a	2,31 b	2,41 b	
CV (%)	9,2			5,8			7,0			17,9				8,5			

¹ Dados transformados em $\arcsin(x/100)^{1/2}$, ² dados transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$. Letras maiúsculas: comparações entre médias dentro de cada coluna; letras minúsculas, comparações dentro de cada linha, separadamente para cada teste conduzido (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

Os resultados da determinação do teor de água das sementes do cultivar 7166 RSF IPRO nas três épocas de avaliação encontram-se na Tabela 8. Considerando o conjunto das três épocas, a variação no teor de água inicial foi de 7,4% a 10,0%. Após o período de EAT, a variação foi de 24,1% a 27,4%; após o EASS/48h a variação foi de 11,9% a 13,3% e, após o EASS/72h, foi de 11,9% a 13,0%. Dentro de cada época a variação máxima no teor de água das sementes foi de dois pontos percentuais.

Tabela 8. Teor de água de sementes do cultivar 7166 RSF IPRO antes do início das avaliações (T.A. Inicial) e após o envelhecimento acelerado tradicional (T.A. EAT) e envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl, durante 48 horas (T.A. EASS48h) e 72 horas (T.A. EASS72h), nas três épocas de avaliação.

	T.A. Inicial			T.A. EAT			T.A. EASS-48h			T.A. EASS-72h		
	-----%-----											
Lotes	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
L1	9,1	9,2	8,1	24,9	26,1	26,1	12,3	12,3	12,4	12,9	12,6	12,5
L2	9,2	9,8	8,1	24,4	25,5	26,6	12,3	12,4	12,2	12,4	12,4	12,0
L3	9,1	9,1	7,6	25,6	26,2	26,3	13,0	12,2	12,8	12,7	12,0	12,8
L4	9,1	8,8	8,0	25,2	26,5	26,3	12,4	12,3	12,1	12,7	12,4	12,4
L5	9,0	10,0	9,4	24,1	27,4	25,3	12,1	12,4	12,5	12,7	12,4	12,9
L6	9,1	10,0	7,6	24,1	26,3	25,7	12,0	12,2	12,3	12,5	12,1	12,7
L7	9,1	8,8	7,4	24,3	26,6	24,5	12,1	12,1	12,7	12,5	12,1	12,4
L8	9,2	8,8	7,5	25,4	27,4	24,4	12,2	12,3	12,3	11,9	12,1	12,8
L9	9,2	8,0	8,1	25,6	27,1	25,2	12,4	11,9	13,3	12,5	12,4	12,5
L10	9,0	10,0	8,0	24,5	27,2	24,4	12,2	13,0	12,4	12,2	12,4	13,0

A variação no teor de água das sementes do cultivar 7166 RSF IPRO antes e depois da realização dos testes de germinação e vigor não foi suficiente para interferir na confiabilidade dos resultados. O menor teor de água das sementes ao final do envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl é atribuído à adsorção das moléculas de água ao sal, restringindo a disponibilidade do vapor d'água no interior das caixas. Com isso, a taxa de evaporação é menor, o que acarreta menor umidade relativa do ar, resultando na redução da intensidade de deterioração (Jianhua; McDonald, 1996). Além disso, o menor teor de água das sementes no EASS interrompe o crescimento dos patógenos que, quando presentes, contribuem para intensificar o processo de deterioração (Soave; Wetzel, 1987; Jianhua; McDonald, 1996).

Os dados referentes à porcentagem e velocidade de emergência de plântulas (Tabela 7) permitiram identificar, de maneira geral, os lotes de maior vigor (L2, L3, L5, L9 e L10) e de menor vigor (L1, L4, L6, L7 e L8). Os testes de vigor foram coerentes na separação de lotes, porém o teste de envelhecimento acelerado foi o mais sensível para estimar o potencial de emergência de plântulas.

Vale ressaltar que a porcentagem de emergência de plântulas em campo foi inferior à de germinação, confirmando as limitações do teste de germinação na determinação do potencial fisiológico dos lotes de sementes de soja. Na literatura é mais frequente a constatação da relação entre os resultados de emergência de plântulas em campo e dos demais testes de vigor, sensíveis à identificação de diferenças entre lotes de sementes. Avaliando lotes de sementes de soja, Wendt (2015) observou que os resultados de emergência de plântulas em campo se relacionaram com os resultados dos testes de tetrazólio, envelhecimento acelerado, condutividade elétrica e análise de concentração de CO₂ (liberado no processo de respiração de sementes); também, Yagushi et al. (2014) verificaram coerência dos dados de emergência em campo com os de envelhecimento acelerado e tetrazólio.

Quanto aos efeitos de épocas, verificou-se que tanto a porcentagem como a velocidade de emergência de plântulas foram decrescentes da primeira para a terceira época; mesmo permanecendo em ambiente controlado (10 °C e 30% de umidade relativa) durante todo o período experimental, as sementes podem ter passado por alterações entre a avaliação de uma época e outra. As condições de ambiente ocorridas durante a emergência de plântulas em campo nas três épocas foram favoráveis, com temperaturas médias variando entre 20 e 25 °C, umidade relativa do ar superior a 60% em todo o período (Figura 2), e uso de sistema de irrigação.

A análise de variância dos dados obtidos nos testes de germinação e vigor revelaram diferenças significativas entre o potencial fisiológico de sementes, permitindo a separação (“ranqueamento”) de lotes do cultivar 7166 RSF IPRO.

4.2.2. Avaliação do potencial fisiológico das sementes por meio da análise de imagens de plântulas (softwares SVIS[®] e Vigor-S)

As análises da variância dos dados obtidos com o uso de SVIS[®] e de Vigor-S revelou valores significativos para efeitos de lotes sobre todos os parâmetros

avaliados; apenas os dados referentes aos efeitos de épocas, sobre o índice de uniformidade (SVIS[®]) e à interação lotes x épocas não foram identificados. As médias obtidas na análise computadorizada de imagens de plântulas, SVIS[®] e Vigor-S, aos três dias de germinação, encontram-se na Tabela 9.

Os resultados obtidos no SVIS[®] (índice de vigor, comprimento de plântulas) mostraram a mesma sensibilidade na separação de lotes que o Vigor-S (índice de vigor, comprimento de plântulas e comprimento de hipocótilo). Nos dois sistemas, o lote identificado como de maior vigor foi L2, não diferindo de L10, além de L9 no comprimento de plântulas e comprimento de hipocótilo; o menor vigor dos lotes L1, L7 e L8 não diferiu de L4, nas análises do índice de vigor (SVIS[®]) e comprimento de hipocótilo. Os dados de comprimento de raiz indicaram apenas os lotes L2 e L10 como de maior vigor e, L8, como o menor. Sekharan (2005) também constatou eficiência das análises SVIS[®] para identificar diferenças no potencial fisiológico de sementes de soja envelhecidas artificialmente.

O Índice de uniformidade de plântulas determinado nos dois sistemas (SVIS[®] e Vigor-S) identificou o lote L7 como o de pior desempenho, não diferindo de L1 no SVIS[®]; esses lotes também foram indicados como os de menor vigor nos demais parâmetros (exceto comprimento de raiz) e testes já recomendados para avaliação do vigor de sementes de soja.

Efeitos de épocas foram significativos sobre todos os dados SVIS[®] e Vigor-S, exceto o índice de uniformidade (SVIS[®]), indicando que o desempenho dos lotes na primeira época foi superior ao verificado na terceira que, por sua vez, superou a segunda época. Quanto ao efeito de épocas sobre o comprimento de hipocótilo, os dados mostraram que não houve diferença significativa entre a segunda e terceira. As sementes permaneceram armazenadas em ambiente adequado durante a condução da pesquisa e, ainda assim, podem ocorrer alterações identificadas pelos testes nas diferentes épocas do estudo.

Os resultados das análises automatizadas SVIS[®] e Vigor-S tiveram relação mais estreita com os obtidos nos testes de envelhecimento acelerado (EAT e EASS) e emergência de plântulas em campo; em geral, destacaram o maior vigor de L2, L9 e L10 e o menor vigor de L1, L7 e L8, nas três épocas de avaliação; o desempenho inferior do lote L4 também foi detectado nas avaliações do índice de vigor (SVIS[®]), comprimento de hipocótilo (Vigor-S), envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl (terceira época), porcentagem e velocidade de emergência de

plântulas. A eficiência do comprimento total de plântulas ou de suas partes na diferenciação do vigor de lotes de sementes foi relatada por diversos autores (Marcos-Filho e Cicero, 1987; Krzyzanowski, 1991; Nakagawa 1994; Nakagawa, 1999; Vanzolini e Carvalho, 2002; Vanzolini et al., 2007; Marcos-Filho et al., 2009; Silva e Cicero, 2014a).

Pesquisas relacionando a eficiência do sistema Vigor-S e testes recomendados para avaliação do vigor de sementes ainda são muito recentes; em contrapartida, a eficiência da análise de imagens de plântulas utilizando o SVIS[®] comparada a métodos tradicionais de determinação do vigor foram constatadas em sementes de soja (Marcos-Filho et al., 2009), melão (Marcos-Filho et al., 2006), trigo (Silva et al., 2012), pepino (Chiquito et al., 2012), girassol (Rocha et al., 2015), café (Samboni, 2018), entre outras espécies. Ainda que seja um sistema novo, o Vigor-S permite avaliação detalhada e precisa de plântulas, que, entre outros, constitui argumento importante para a aceitação dos analistas de sementes (McDonald, 1975; Hampton, 1993; Marcos-Filho, 1998).

Tabela 9. Índices de vigor (IV) e de uniformidade de desenvolvimento (IU) e comprimento de plântulas (CP) obtidos em análises SVIS® e Vigor-S; comprimento de hipocótilo (CH) e comprimento de raiz (CR) sistema Vigor-S, em 10 lotes de sementes de soja, cultivar 7166 RSF IPRO (Cultivar 2), em três épocas de avaliação.

SVIS®												
Lotes	IV				IU ¹				CP (cm) ¹			
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média
L1	570	517	560	549 DE	805	828	851	828 CD	4,78	3,84	4,44	4,35 DE
L2	898	761	811	823 A	885	879	873	879 AB	9,26	7,22	7,89	8,12 A
L3	810	625	747	728 B	901	884	892	893 A	7,76	5,20	6,98	6,65 B
L4	676	523	547	582 CDE	863	847	840	850 BC	6,06	3,86	4,20	4,71 CD
L5	697	538	597	611 CD	895	887	892	891 A	6,24	3,98	4,79	5,01 CD
L6	668	592	632	631 C	882	887	852	874 AB	5,86	4,72	5,42	5,33 C
L7	601	521	523	548 DE	807	819	793	807 D	5,22	3,96	4,15	4,44 DE
L8	568	475	511	518 E	877	871	868	872 AB	4,42	3,12	3,65	3,73 E
L9	840	702	710	751 B	876	879	874	876 AB	8,40	6,38	6,52	7,10 AB
L10	874	738	748	787 AB	885	898	898	894 A	8,84	6,76	6,97	7,52 AB
Média	720 a	599 c	639 b		868 a	868 a	863 a		6,68 a	4,90 c	5,50 b	
CV (%)	8,7				1,7				6,4			

Vigor-S																				
Lotes	IV ¹				IU ¹				CP (cm) ¹				CH (cm)				CR (cm) ¹			
	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média	Ép. 1	Ép. 2	Ép. 3	Média
L1	405	356	387	383 DE	579	588	595	587 B	5,24	4,30	4,96	4,83 DE	2,34	2,09	2,42	2,28 F	2,90	2,19	2,55	2,55 C
L2	715	591	619	642 A	733	732	704	723 A	10,30	8,02	8,74	9,02 A	3,78	3,23	3,45	3,48 A	6,52	4,81	5,30	5,55 A
L3	623	462	570	552 B	740	670	701	704 A	8,64	5,92	7,88	7,48 B	3,40	2,67	3,24	3,11 BC	5,20	3,27	4,63	4,37 B
L4	485	355	380	407 CD	637	586	578	600 B	6,70	4,40	4,78	5,29 CD	3,04	2,25	2,21	2,50 EF	3,66	2,15	2,57	2,80 C
L5	527	387	425	446 C	740	683	656	693 A	7,04	4,48	5,38	5,63 CD	3,18	2,33	2,58	2,71 DE	3,84	2,17	2,80	2,93 C
L6	484	428	444	452 C	698	696	632	675 A	6,58	5,38	6,02	5,99 C	3,26	2,77	2,92	2,98 CD	3,32	2,62	3,12	3,02 C
L7	394	324	325	348 E	470	473	415	453 C	5,70	4,48	4,60	4,93 DE	2,50	2,28	2,10	2,30 F	3,20	2,19	2,50	2,63 C
L8	394	299	333	342 E	628	573	591	598 B	5,00	3,50	4,14	4,21 E	2,50	2,12	2,36	2,33 F	2,50	1,39	1,76	1,88 D
L9	656	524	518	566 B	718	681	651	683 A	9,38	7,18	7,10	7,89 AB	3,60	3,12	2,99	3,24 ABC	5,76	4,05	4,12	4,64 B
L10	702	551	580	611 AB	756	719	744	740 A	9,90	7,68	7,86	8,48 AB	3,64	3,48	3,28	3,47 AB	6,26	4,19	4,58	5,01 AB
Média	539 a	428 c	458 b		670 a	640 b	627 b		7,45 a	5,53 c	6,15 b		3,12a	2,63 b	2,76b		4,32a	2,90 c	3,39 b	
CV (%)	5,6				4,9				6,4				10,9				7,4			

¹ Dados transformados em $(x + 0,5)^{1/2}$. Letras maiúsculas: comparações entre médias dentro de cada coluna; letras minúsculas, comparações dentro de cada linha, separadamente para cada teste conduzido (Teste de Tukey, $p \leq 0,05$).

4.2.3. Correlação entre os dados obtidos nos testes de germinação e de vigor

Foram determinados os coeficientes de correlação simples entre os dados coletados nos testes realizados, procurando verificar a consistência das informações obtidas, em relação às provenientes da comparação entre médias. Os coeficientes de correlação simples entre os dados das três épocas de avaliação encontram-se na Tabela 10.

Assim como no cultivar BMX Potência RR, a avaliação da correlação de testes do cultivar 7166 RSF IPRO foi baseada na designação estabelecida por Davis (1971).

Tabela 10. Coeficientes de correlação simples de Pearson (r) entre as variáveis relacionadas, nas três épocas de avaliação do cultivar 7166 RSF IPRO.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1 TG *	1,000																
2 1ª Cont.	0,926	1,000															
3 TZvigor	0,791	0,899	1,000								0,000	a	0,699				
4 TZviab.	0,816	0,860	0,915	1,000							0,700	a	1,000				
5 EAT	0,497	0,480	0,543	0,406	1,000												
6 EASS48	0,851	0,798	0,761	0,723	0,645	1,000											
7 EASS72	0,799	0,813	0,854	0,810	0,644	0,891	1,000										
8 EP	0,604	0,482	0,437	0,413	0,778	0,738	0,678	1,000									
9 IVE	0,506	0,417	0,374	0,342	0,775	0,626	0,600	0,957	1,000								
10 SVIS-IV	0,593	0,628	0,679	0,539	0,874	0,650	0,673	0,728	0,768	1,000							
11 SVIS-IU	0,828	0,853	0,775	0,764	0,447	0,780	0,699	0,463	0,383	0,552	1,000						
12 SVIS-CP	0,557	0,590	0,648	0,507	0,875	0,617	0,649	0,724	0,772	0,998	0,502	1,000					
13 VigS-IV	0,621	0,662	0,720	0,571	0,880	0,683	0,715	0,733	0,762	0,995	0,593	0,990	1,000				
14 VigS-IU	0,798	0,834	0,826	0,718	0,690	0,840	0,850	0,627	0,570	0,752	0,891	0,717	0,802	1,000			
15 VigS-CP	0,567	0,602	0,660	0,518	0,873	0,624	0,655	0,722	0,766	0,998	0,518	0,999	0,992	0,729	1,000		
16 VigS-CH	0,672	0,682	0,687	0,587	0,820	0,686	0,699	0,710	0,729	0,966	0,652	0,956	0,959	0,804	0,960	1,000	
17 VigS-CR	0,515	0,559	0,638	0,483	0,873	0,583	0,620	0,707	0,759	0,989	0,456	0,994	0,983	0,682	0,994	0,923	1,000

(*) TG (teste de germinação); 1ªCont (primeira contagem do teste de germinação); TZvigor (teste de tetrazólio – Vigor); TZviab (teste de tetrazólio – viabilidade); EAT (envelhecimento acelerado tradicional); EASS48 (envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl - durante 48 horas); EASS72 (envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl - durante 72 horas); EP (porcentagem de emergência de plântulas); IVE (índice de velocidade de emergência); SVIS-IV (índice de vigor - sistema SVIS); SVIS-IU (índice de uniformidade - sistema SVIS); SVIS-CP (comprimento de plântulas - sistema SVIS); VigS-IV (índice de vigor - sistema Vigor-S); VigS-IU (índice de uniformidade - sistema Vigor-S); VigS-CP (comprimento de plântulas - sistema Vigor-S); VigS-CH (comprimento de hipocótilo - sistema Vigor-S); VigS-CR (comprimento de raiz - sistema Vigor-S). Os números no eixo horizontal da tabela referem-se aos testes indicados no eixo vertical, na mesma sequência.

Quanto aos testes recomendados, os dados do teste de envelhecimento acelerado (EAT e EASS) foram os que apresentaram maior coeficiente de correlação com os de emergência de plântulas em campo; esse resultado confirma os obtidos quanto à separação de médias (Tabelas 7 e 9). Ainda é possível verificar para os dados de emergência de plântulas (EP e IVE) o maior e o menor coeficiente de correlação entre os dados de EAT e EASS/72h, respectivamente. Correlação

entre os dados do envelhecimento acelerado e emergência de plântulas foi destacada por Amaral e Bicca (1977), TeKrony e Egli (1977), Kulik e Yaklich (1982), mas não encontrada por Johnson e Wax (1978), todos trabalhando com soja.

A comparação entre médias (Tabelas 7 e 9) permitiu identificar relação mais estreita entre os dados obtidos nas análises automatizadas (SVIS[®] e Vigor-S), com exceção do índice de uniformidade, e os testes de envelhecimento acelerado (EAT e EASS) e emergência de plântulas; as condições em que o teste de germinação, primeira contagem de germinação e teste de tetrazólio são realizados, possivelmente justificam a menor sensibilidade de separação de lotes quando comparada aos testes de envelhecimento e emergência de plântulas. Na Tabela 10, foi observado índice de correlação “muito alto” entre os dados das análises automatizadas (SVIS[®] e Vigor-S) e os dos testes de envelhecimento acelerado tradicional e emergência de plântulas (porcentagem e velocidade); por outro lado, coeficiente de correlação “substancial” (entre 0,600 e 0,700) foi observado entre os dados de todas as análises automatizadas, exceto índice de vigor (Vigor-S), e o teste de envelhecimento com solução saturada de NaCl.

5. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os testes de germinação e vigor conduzidos neste estudo permitiram a separação de lotes quanto ao potencial fisiológico de sementes dos cultivares BMX Potência RR e 7166 RSF IPRO. Diferenças no desempenho de lotes foram observadas entre os testes, as quais não inviabilizaram sua utilização individual, mas confirmaram a necessidade do uso de um conjunto de testes, que avaliam diferentes atributos das sementes relacionados ao vigor.

O teste de envelhecimento acelerado foi o mais sensível para estimar a emergência de plântulas em campo, nos dois cultivares avaliados. O procedimento tradicional identificou os lotes de maior e menor vigor, mas geralmente provocou redução drástica da porcentagem de germinação pós-envelhecimento, diferentemente do procedimento com solução saturada de NaCl; este também promoveu a separação de lotes, mas submeteu as sementes a condições mais próximas às geralmente predominantes durante o armazenamento entre a colheita e a semeadura da nova safra, podendo assim ser recomendado para composição de programas internos de controle de qualidade de sementes de soja.

A separação de lotes realizada pelo sistema automatizado Vigor-S foi coerente com os resultados obtidos nos testes já recomendados, principalmente ambos os procedimentos para o teste de envelhecimento acelerado, e com a porcentagem de emergência de plântulas em campo, mostrando também vantagens em relação ao sistema SVIS[®], por ser acessível aos interessados e fornecer informações com a mesma coerência, porém, mais detalhadas.

Vale ressaltar que o uso de diferentes cultivares não interferiu no padrão de resposta das sementes ao sistema Vigor-S. A padronização de um teste de vigor deve, preferencialmente, considerar a adoção de procedimentos cujos resultados não sejam afetados significativamente pelo genótipo (Marcos-Filho et al., 2006).

Diante do exposto, ficou evidente que a análise automatizada do vigor de sementes (Vigor-S) é uma opção rápida e objetiva, constituindo alternativa viável para avaliação do vigor de sementes. Assim, como Marcos-Filho et al. (2009) destacaram para o sistema SVIS[®], o Vigor-S também pode ser usado como ferramenta complementar para a interpretação de outros testes, como envelhecimento acelerado, tetrazólio ou mesmo para identificar efeitos do tratamento químico, do condicionamento fisiológico e outras situações em que é interessante o

monitoramento da germinação e do crescimento de plântulas em intervalos regulares.

Além das vantagens quanto à avaliação de sementes, esse novo sistema pode ser facilmente incluído em programas internos de controle de qualidade, devido à sua facilidade de obtenção, baixo custo de investimento e acessibilidade.

6. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) A análise automatizada de imagens de plântulas com o uso do sistema Vigor-S é eficiente para a determinação do potencial fisiológico de sementes de soja.
- b) O teste de envelhecimento acelerado com solução saturada de NaCl durante 48 ou 72 horas é sensível para estimar o potencial de emergência de plântulas de soja em campo.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, R.O.; MARCOS-FILHO, J. Vigor evaluation of stored cotton seeds, including the Seed Vigor Imaging System (SVIS®). **Journal of Seed Science**, v. 36, n. 2, p. 222-230, 2014.
- ALVARENGA, R.O.; MARCOS-FILHO, J.; GOMES-JUNIOR, F.G. Avaliação do vigor de sementes de milho superdoce por meio da análise computadorizada de imagens de plântulas. **Journal of Seed Science**, v. 34, n. 3, p. 488-494, 2012.
- AMARAL, A.S.; BICCA, I.H.F. Influência do vigor da semente de soja no estabelecimento do stand e na produção de grãos. In: Reunião conjunta de pesquisa de soja da região sul, Pelotas, 1977. **Resultados de pesquisa em soja obtidas na Centro Nacional de Pesquisa de Trigo em 1976/77**. Passo Fundo, 1977. p.19-24.
- BAALBAKI, R.; ELIAS, S.; MARCOS-FILHO, J.; McDONALD, M.B. **Seed vigor testing handbook**. Ithaca: Association of Official Seed Analysts, 2009. 341 p. (Contribution, 32).
- BARBOSA, J. C.; MALDONADO JR, W. **AgroEstat – Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos**, Versão 1.0, Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2010. s/paginação.
- BENNETT, M.A.; EVANS, A.F.; GRASSBAUGH, E.M. Saturated salt accelerated aging (SSAA) test for assessing and comparing sh2 and se sweet corn seed lots. ISTA CONGRESS, 26., 2001, Angers. **Abstracts...** Angers: ISTA, p.11, 2001.
- BHÉRING, M.C., DIAS, D.C.F.S.; GOMES, J.M.; BARROS, D.I. Métodos para avaliação do vigor de sementes de pepino. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 22, n. 2, p. 171- 175, 2000.

BIAS, A.L.F.; TILLMANN, M.A.A.; VILLELA, F.A.; ZIMMER, G.J. Métodos para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de feijão vigna. **Scientia Agricola**, v.56, n.3, p. 651-660, 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Secretaria de defesa agropecuária. Brasília, 2009. 399p.

CARVALHO, M.L.M. Utilização da análise de imagem: conceitos, metodologias e usos. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 20, n. 3, p. 45-47, 2010.

CASTAN, D.O.C.; GOMES-JUNIOR, F.G.; MARCOS-FILHO, J. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. **Scientia Agricola**, v.75, n.2, p.167-172, 2018.

CHIKUITO, A.A.; GOMES-JUNIOR, F.G.; MARCOS-FILHO, J. Assessment of physiological potential of cucumber seeds using the software Seedling Vigor Imaging System (SVIS®). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n.2, p. 255-263, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Décimo segundo levantamento. Brasília, DF, v.5, p.16, 2018.

COSTA, J. A.; MARCHEZAN, E. **Características dos estádios de desenvolvimento da soja**. Campinas: Fundação Cargill, 1982. 30 p.

COSTA, N.P.; FRANÇA-NETO, J.B.; OLIVEIRA, M.C.N. **Padronização de testes de vigor para sementes de soja**. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. Resultados de pesquisa de soja 1986/87. Londrina, p.358-359, 1988.

DAVIS, J.A. **Elementary survey analysis**. Englewood, NJ; Prentice-Hall, 1971. 206 p.

- DELOUCHE, J.C. An accelerated aging technique for predicting relative storability of crimson clover and tall fescue seeds lots. **Agronomy Abstracts**, v.40, 1965.
- DELOUCHE, J.C.; BASKIN, C.C. Accelerated aging techniques for predicting the relative storability of seed lots. **Seed Science and Technology**, v.1, n.2, p.427-452, 1973.
- 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**, Goiânia, v.9, n.17, p.1274, 2013.
- FANAN, S.; MEDINA, P.F.; LIMA, T.C.; MARCOS FILHO, J. Avaliação do vigor de sementes de trigo pelos testes de envelhecimento acelerado e de frio. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 2, p. 152-158, 2006.
- FARIAS, J.R.B.; NEPOMUCENO, A.L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. 9p. (Circular técnica, 48).
- FESSEL, S. A.; PANOBIANCO, M.; SOUZA, C.R.; VIEIRA, R.D. Teste de condutividade elétrica em sementes de soja armazenadas sob diferentes temperaturas. **Bragantia**, v. 69, n. 1, p. 207-214, 2010.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **Metodologia do teste de tetrazólio em semente de soja**. Vigor de sementes: conceitos e testes. Londrina: Abrates, p.8.5.1-8.5.28, 1999.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P. **O teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA – CNPSo, 1998. 72p. (Documentos, 116).
- FRANÇA-NETO, J.B.; PEREIRA, L.; COSTA, N.P.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A. **Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja**. Londrina: EMBRAPA CNPSo, p. 60, 1988.

- 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.
- GOMES-JUNIOR, F.G.; MONDO, V.H.V.; CICERO, S.M.; MCDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. Evaluation of priming effects on sweet corn seeds by SVIS®. *Seed Technology*, v.31, n.1, p.95-100, 2009.
- HAMPTON, J.G. The ISTA perspective of seed vigor testing. **Journal of Seed Technology**, Lincoln, v. 17, p. 105-109, 1993.
- HAMPTON, J.G. What is seed quality? **Seed Science and Technology**, v.30, n.1, p.1-10, 2002.
- HOFFMASTER , A.L.; FUJIMURA, K.; MCDONALD, M.B.; BENNETT, M.A. An automated system for vigor testing three-day old soybean seedlings. **Seed Science and Technology**, v.31, n.3, p.701-713, 2003.
- 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.
- JOHNSON, R.R.; WAX, L.M. Relationship of soybean germination and vigor tests to field performance. **Agronomy Journal**, v.70, n.2, p. 273-78, 1978.
- KIKUTI, A.L.P.; MARCOS-FILHO, J. Physiological potential of cauliflower seeds. **Scientia Agrícola**, v. 65, n. 4, p. 374-380, 2008.
- KOBORI, N.N.; MASTRANGELO, T.; CICERO, S.M.; CASSIERI, P.; MORAES, M.H.D.; WALDER, J.M.M. Effects of gamma radiation on physiological and phytosanitary qualities of Brazilian Castor Bean seeds, *Ricinus communis* (cv. IAC Guarani). **Research Journal of Seed Science**, v. 3, n. 2, p. 70-81, 2010.
- KRZYŻANOWSKI, F. C. Teste de comprimento de raiz de plântulas de soja. **Informativo ABRATES**, v.2, n.1, p.11-14. 1991.

- KULIK, M.M.; YAKLICH, R.W. Evaluation of vigor tests in soybean seeds: relationship of accelerated aging, cold, sand bench and speed of germination tests to field performance. **Crop Science**, v.22, n.4, p. 766-70, 1982.
- MAGUIRE, J.D. Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v.2, p.176-177, 1962.
- MARCHI, J.L.; CICERO, S.M.; GOMES-JUNIOR, F.G. Utilização da análise computadorizada de plântulas na avaliação do potencial fisiológico de sementes de amendoim tratadas com fungicida e inseticida. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.652-662, 2011.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**, ABRATES, Londrina, ed.2, 2015a. 659 p.
- MARCOS-FILHO, J. New approaches to seed vigor testing. **Scientia Agricola**, v. 55, n. esp., p. 27-33, 1998.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.72, n.4, p.363-374, 2015b.
- MARCOS-FILHO, J. Sistema computadorizado de análise de imagens de plântulas (SVIS[®]) para avaliação do vigor de sementes. **Informativo Abrates**, v.20, n.3, p.40-44, 2010.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: KRZYZANOWSKY, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999a.p. 3.1-3.24.
- MARCOS-FILHO, J. Testes de vigor: importância e utilização. In: KRZYZANOWSKY, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.J. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999b.p. 1.1-1.21.

- MARCOS-FILHO, J.; BENNETT, M.A.; EVANS, A.S.; GRASSBAUGH, E.M. Assessment of melon seed vigour by na automated computer imaging system compared to traditional procedures. **Seed Science and Technology**, v.34, n.2, p.507-519, 2006.
- MARCOS-FILHO, J.; CICERO, S.M.; SILVA, W.R. **Avaliação da qualidade das sementes**. Piracicaba: FEALQ, 1987. 230 p.
- MARCOS-FILHO, J.; KIKUTI, A.L.P.; LIMA, L.B. Métodos para avaliação do vigor de sementes de soja, incluindo a análise computadorizada de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 31, n. 1, p. 102-112, 2009.
- 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 Agrícola**, v. 58, n. 2, p. 421-426, 2001.
- MARCOS-FILHO, J.; NOVEMBRE, A.D.L.C.; CHAMMA, H.M.C.P. Tamanho da semente e teste de envelhecimento acelerado para soja. **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.473-482, 2000.
- MARCOS-FILHO, J.; PESCARIN, H.M.C.; KOMATSU, Y.H.; DEMETRIO, C.G.B.; FANCELLI, A.L. Testes para avaliação do vigor de sementes de soja e sua relação com a emergência das plântulas em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, n.5, p.605-13, 1984.
- MATTHEWS, S.; EL-KHADEM, R.; CASARINI, E.; KHAJEH-HOSSEINI, M.; NASEHZADEH, M.; WAGNER, M.H. Rate of physiological germination compared with the cold test and accelerated ageing as a repeatable vigour test for maize. **Seed Science and Technology**, v.38, n.2, p.379-389, 2010.
- MATTHEWS, S.; KHAJEH-HOSSEINI, M. Length of the lag period of germination and metabolic repair explain vigour differences in seed lots of maize. **Seed Science and Technology**, v.35, n.1, p.200-212, 2007.

- MCCORMAC, A.C.; KEEFE, P.D.; DRAPER, S.R. Cauliflower seed vigor: imbibitions effects. **Journal of Experimental Botany**, v.41, n.4, p.893-899, 1990.
- MCDONALD, M.B. A review and evaluation of seed vigor tests. In: **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, The Association of Official Seed Analysts, Lincoln, v. 65, p. 109-139, 1975.
- MENON, J. C. M.; BARROS, A. C. S. A.; MELLO, V. D. C.; ZONTA, E. P. Avaliação da qualidade física e fisiológica das sementes de soja produzidas no Estado do Paraná na safra 1989/90. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 15, n. 2, p. 203-208, 1993.
- MINUZZI, A.; BRACCINI, A.L.; RANGEL, M.A.S.; SCAPIM, C.A.; BARBOSA, M.C.; ALBRECHT, L.P. Qualidade de sementes de quatro cultivares de soja, colhidas em dois locais no estado de Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 176-185, 2010.
- MONDO, V.H.V.; DIAS, M.A.N.; McDONALD, M.B. Seed vigour imaging system for two-day-old corn seedling evaluation. **Seed Technology**, v.33, n.2, p.191-196, 2011.
- MOORE, R.P. Freeze injury to seed corn as evaluated in tetrazolium and growth tests. **Proceedings of the Association of Official Seed Analysts**, East Lansing, v.57, p.138-140, 1967.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados na avaliação das plântulas. In: VIEIRA, R.D. AND CARVALHO, N.M. (Ed.). **Testes de vigor de sementes**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. p.49-85.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

- OTONI, R.R.; McDONALD, M.B. Moisture and temperature effects on maize and soybean seedlings using the seed vigor imaging system. **Seed Technology**, v.27, n.2, p.243-247, 2005.
- PERES, W.L.R. **Testes de vigor em sementes de milho**. 2010. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2010.
- POWELL, A.A. The controlled deterioration test. In: VENTER, H.A. VAN DE. **Seed vigor testing seminar**. Zürich: ISTA, 1995. p.73-87.
- 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.
- ROSSETTO, C. A. V.; MARCOS FILHO, J. Comparação entre os métodos de envelhecimento acelerado e de deterioração controlada para avaliação da qualidade de sementes de soja. **Scientia Agricola**, v. 52, n. 1, p. 123-131, 1995.
- 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.
- SAMBONI, H.A.T. **Análise radiográfica associada com o desempenho germinativo e determinação do vigor de sementes de café utilizando imagens digitalizadas de plântulas**. 2018. 78p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade de São Paulo, Escolas Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2018.

- SANTOS, J.F.; ALVARENGA, R.O.; TIMÓTEO, T.S.; CONFORTO, E.C.; MARCOS-FILHO, J.; VIEIRA, R.D. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.4, p.743-751, 2011.
- SEKHARAN, S. **Aged soybean seeds - their physiology and vigor assessment**. 2005. 180f. Tese (Ph.D) - The Ohio State University, Columbus/OH/EUA, 2005.
- SILVA, C.B.; LOPES, M.M.; MARCOS-FILHO, J.; VIEIRA, R.D. Automated system of seedling image analysis (SVIS[®]) and electrical conductivity to assess sun hemp seed vigor. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.1, p.55-60, 2012.
- SILVA, G.G.; GOMES-JUNIOR, F.G. **Avaliação automatizada do vigor de sementes de soja utilizando o software Vigor-S**. In: 22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP, 2014, Piracicaba. Anais do 22º Simpósio Internacional de Iniciação Científica e Tecnológica da USP, 2014.
- SILVA, J.B.; LAZARINI, E.; SÁ, M.E. Comportamento de sementes de cultivares de soja, submetidos a diferentes períodos de envelhecimento acelerado. **Bioscience Journal**, v.26, n.5, p. 755-762, 2010.
- SILVA, J.B.; VIEIRA, R.D. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de beterraba. **Revista Brasileira de Sementes**, v.28, p. 128-134, 2006.
- SILVA, M.A.D.; VIEIRA, R.D.; SANTOS, J.M. Influência do envelhecimento acelerado na anatomia da testa de sementes de soja, cv. Monsoy 8400. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.2 p. 91-99, 2008.
- SILVA, V.N.; CICERO, S.M. Análise de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de berinjela. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 145-151, 2014.
- SILVA, V.N.; GOMES-JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. Análise computadorizada de imagens de plântulas para avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 34, n. 4, p. 589-596, 2012.

- SOAVE, J.; WETZEL, M. M. V. da (Ed.). **Patologia de sementes**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 480 p.
- TEKRONY, D. M.; EGLI, D. B.; WHITE, G. M. Seed production and Technology. In: WILCOX, J. R. (Ed.). **Soybeans: Improvement, production and uses**. 2nded. Agron. Monogr.16. ASA, CSSA, and SSSA. Madison, WI. p. 295–353, 1987.
- TEKRONY, D.M. Accelerated aging test. In: HAMPTON, J.G.; TEKRONY, D.M. (Ed.). **Handbook of vigour test methods**. 3ed. Zurich: International Seed Testing Association, 1995. p.35-50.
- TEKRONY, D.M. Precision is an essential component in seed vigour testing. **Seed Science and Technology**, Zurich, v. 31, p. 435-447, 2003.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Accumulation of seed vigour during development and maturation. In: ELLIS, R.H.; BLACK, M.; MURDOCH, A.J. (Ed.). **Proceedings of the fifth international workshop on seeds**. Reading. p.369-384, 1995.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Relationship between laboratory indices of soybean seed vigor and field emergence. **Crop Science**., v.17, n.4, p. 573-77, 1977.
- TIAN, X.; SONG, S.; LEI, Y. Cell death and reactive oxygen species metabolism during accelerated ageing of soybean axes. **Russian Journal of Plant Physiology**, v.55, n.1, p.33-40, 2008.
- TORRES, S.B. Envelhecimento acelerado em sementes de pepino com e sem solução salina saturada. **Horticultura Brasileira**, v.23, n.2, p.303-306, 2005.
- VANZOLINI, S.; CARVALHO, N. M. Efeito do vigor de sementes de soja sobre o seu desempenho em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 24, n. 1, p. 33-41, 2002.

- VANZOLINI, S.; ARAKI, C.A.S.; SILVA, A.C.M.T.; NAKAGAWA, J. Teste de comprimento de plântula na avaliação da qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 90-96, 2007.
- VIEIRA, R.D.; BITTENCOURT, S.R.M.; PANOBIANCO, M. **Seed vigour - an important component of seed quality in Brazil**. ISTA - Seed Testing International, n.126, p.21-22, 2003.
- WENDT, L. **Testes de vigor e a relação com a emergência de plântulas de soja a campo**. 2015. 42p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 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.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.