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

**Tratamento de sementes de soja com injúrias mecânicas: efeitos sobre o seu
potencial fisiológico**

Gustavo Roberto Fonseca de Oliveira

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

**Piracicaba
2019**

Gustavo Roberto Fonseca de Oliveira
Engenheiro Agrônomo

Tratamento de sementes de soja com injúrias mecânicas: efeitos sobre o seu potencial fisiológico

Orientador:
Prof. Dr. **SILVIO MOURE CICERO**

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

Piracicaba
2019

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

Oliveira, Gustavo Roberto Fonseca

Tratamento de sementes de soja com injúrias mecânicas: efeitos sobre o seu potencial fisiológico / Gustavo Roberto Fonseca de Oliveira. - - Piracicaba, 2019.
76 p.

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

1. *Glycine max* 2. Dano mecânico 3. Fitotoxicidade 4. Germinação 5. Vigor 6. Análise de imagens de sementes e de plântulas

DEDICATÓRIA

À minha mãe Marilda Maria da Fonseca pela educação e todo amor que me deu e por sempre me mostrar o poder de acreditar em si mesmo.

Ao meu pai Wilson Roberto de Oliveira (*in memorian*), um grande amigo e que gostaria de ver o seu filho se tornar o primeiro Mestre da família.

À minha avó Rosa Maria da Fonseca e ao meu avô Brasilino Gabriel da Fonseca (*in memorian*) pelo amor e exemplo de trabalho duro, simplicidade e honestidade.

Aos meus tios Airton, Osias e Joseildo pelo apoio e presença de pai.

Às minhas irmãs Isabela e Heloísa Fonseca e a minha namorada Thais Yeda.

Aos meus amigos e jovens da periferia de São Mateus – SP.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso bom Deus, pai celeste que nos concede a oportunidade do constante aprendizado, nos presenteando com a chance de nascer em uma maravilhosa família e de ter sinceros amigos, sendo estes os reais tesouros da vida.

À minha família por todo apoio, em especial a minha mãe Marilda Fonseca, minha rainha que sempre me incentivou a estudar e a fazer o melhor com responsabilidade, coragem e gentileza.

À Universidade de São Paulo, a Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela chance de estudar neste ambiente tão próspero e motivador, o que foi a realização de um sonho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida, sem a qual, não seria possível chegar até aqui.

Ao Prof. Dr. Silvio Moure Cicero, que não mediu esforços para me auxiliar, ensinar e contribuir para o meu aprimoramento. Agradeço por sua confiança e paciência, foi um privilégio ter a chance de ser o seu aluno.

Ao Dr. Francisco Guilhien Gomes Junior, pela valiosa contribuição neste trabalho, por seu apoio sempre solidário e gentil, disposto a ensinar e auxiliar nas etapas da pesquisa.

Ao professor Júlio Marcos Filho, pelas conversas construtivas, ensinamentos e dicas para o melhor desenvolvimento da pesquisa.

Aos profissionais do Departamento de Produção Vegetal Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Helena Chamma, Adilson, João, David, Hodair e Luiz Claudio e Luciane Toledo pelo apoio constante durante a realização deste trabalho.

Ao Dr. Francisco Carlos Krzyzanowski, que sempre esteve presente contribuindo com a pesquisa, disposto a ajudar com a cessão das sementes, tratamento das sementes além de sugestões e ensinamentos durante as etapas da pesquisa.

Ao Dr. José de Barros França Neto e Dr. Fernando Augusto Henning pelo apoio e oportunidade de aprimoramento profissional.

À equipe do Núcleo de Sementes (Embrapa Soja), Vilma Cardoso Stroka, Elpidio Alves, Antônio Rocha Melchhiades, Waldemar de Oliveira Neto e Adriana Freitas, grandes amigos que sempre estiveram dispostos a me ajudar e ensinar durante esta jornada.

À colega Eliete por trazer as sementes de Londrina-PR para Piracicaba-SP, o que foi um gesto memorável que me ajudou muito e possibilitou iniciar o trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Tecnologia de Sementes, Mayara Rodrigues, Patrícia Galletti, Carlos Henrique, Fabiano França, Artur Silva, Bruno Cardillo, Fábio Diniz, Lucas Capelaro, Carina Oliveira e Danielle Castan por contribuírem de alguma forma com este trabalho e pela presença amiga, conversas e descontrações.

A equipe do Laboratório de Técnicas Nucleares da Embrapa Instrumentação, em especial ao Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz e Dr. Paulo Renato Orlani Lasso pelas análises de microtomografia computadorizada de raios X.

Ao meu amigo e irmão Marcio Souza da Silva por dividir toda essa experiência comigo, pelas conversas, convivência e apoio mútuo que fizeram superar momentos difíceis e construir outros de muita alegria, parceria e aprendizado.

“Continua trabalhando.

Não reclames.

Atenção em tudo.

Cultiva o essencial.

Nada critiques.

Auxilia para o bem.

Perdoa sempre.

Espera construindo.

O passado orienta.

O futuro promete.

Hoje é o dia de fazer o melhor.”

Emmanuel

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1. INJÚRIAS MECÂNICAS EM SEMENTES DE SOJA.....	13
2.2. TRATAMENTO QUÍMICO DE SEMENTES DE SOJA	15
2.3. POTENCIAL FISIOLÓGICO DE SEMENTES	17
3. METODOLOGIA.....	21
3.1. SEMENTES.....	21
3.2. AVALIAÇÕES PRELIMINARES.....	21
3.2.1. Teor de água	21
3.2.2. Sanidade de sementes	21
3.2.3. Emergência de plântulas em areia	22
3.2.4. Germinação.....	22
3.2.5. Envelhecimento acelerado.....	22
3.2.6. Análise computadorizada de imagens de plântulas (Vigor-S).....	23
3.3. INJÚRIAS MECÂNICAS.....	23
3.4. CARACTERIZAÇÃO DAS INJÚRIAS MECÂNICAS.....	24
3.4.1. Teste de tetrazólio.....	24
3.4.2. Teste de hipoclorito de sódio.....	25
3.4.3. Teste de raios X	25
3.4.4. Microtomografia computadorizada de raios X (micro-TC)	27
3.5. TRATAMENTO DE SEMENTES DE SOJA.....	27
3.6. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO.....	29
3.7. PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO	30
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. AVALIAÇÕES PRELIMINARES.....	31
4.2. CARACTERIZAÇÃO DAS INJÚRIAS MECÂNICAS.....	32
4.3. AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FISIOLÓGICO.....	42
5. CONCLUSÃO.....	67
REFERÊNCIAS	69

RESUMO

Tratamento de sementes de soja com injúrias mecânicas: efeitos sobre o seu potencial fisiológico

A ocorrência de injúrias mecânicas constitui um problema sério para produção de sementes de soja de alta qualidade. A presença dessas injúrias quando combinadas com tratamento químico de sementes, pode afetar negativamente o seu potencial fisiológico. O objetivo da pesquisa foi estudar os efeitos do tratamento químico sobre o potencial fisiológico de sementes de soja com níveis crescentes de injúrias mecânicas. Sementes provenientes de dois lotes do cultivar 'M6410 IPRO', apresentando diferenças de vigor, foram submetidas a cinco níveis de injúrias (zero, um, dois, três e quatro impactos) provocadas de forma controlada (S-injure) e a aplicação de quatro combinações de tratamento químico utilizando fungicidas (carbendazim e thiram), inseticidas (imidaclopride e tiocarbe), micronutrientes (cobalto e molibdênio), polímero (Peridiam[®]) e pó secante (Talkum Gloss[®]). Foram realizados os testes de raios X, microtomografia computadorizada de raios X, tetrazólio e hipoclorito de sódio para caracterização das injúrias mecânicas e o teste de sanidade de sementes. A avaliação do potencial fisiológico ocorreu em dois períodos: prontamente ao estabelecimento dos tratamentos da pesquisa (injúrias mecânicas e tratamentos químicos de sementes) e após 60 dias, período em que as sementes permaneceram em câmara fria e seca (20 °C e 50% UR do ar). Foram realizados os testes de germinação, primeira contagem de germinação, emergência de plântulas em areia, envelhecimento acelerado e análise computadorizada de imagens de plântulas (Vigor-S). O aumento progressivo de injúrias mecânicas nas sementes de soja reduz o seu potencial fisiológico e aumenta a sua sensibilidade ao efeito fitotóxico do tratamento químico de sementes. Os tratamentos em que foram incluídos os inseticidas (imidaclopride e tiocarbe) prejudicam de forma mais acentuada o vigor das sementes, no momento em que são aplicados e após um período de 60 dias.

Palavras chave: *Glycine max*; Dano mecânico; Fitotoxicidade, Germinação; Vigor; Análise de imagens de sementes e de plântulas

ABSTRACT

Treatment of soybeans seeds with mechanical injuries: effects on their physiological potential

The occurrence of mechanical injuries is a serious problem for the production of high quality soybean seeds. The presence of such injuries when combined with chemical seed treatment can adversely affect their physiological potential. The aim of the research was to study the effects of chemical treatment on the physiological potential of soybeans with increasing levels of mechanical injuries. Seeds from two batches of the 'M6410 IPRO' cultivar, with differences in vigour, were subjected to five levels of injuries (zero, one, two, three and four impacts) caused in a controlled manner (S-injure) and the application of four combinations of chemical treatment using fungicides (carbendazim and thiram), insecticides (imidacloprid and thiocarb), micronutrients (cobalt and molybdenum), polymer (Peridiam[®]) and drying powder (Talkum Gloss[®]). X-ray, X-ray computed microtomography, tetrazolium and sodium hypochlorite tests were performed to characterize mechanical injuries and the seed health test. The evaluation of the physiological potential occurred in two periods: promptly at the establishment of the research treatments (mechanical injuries and chemical treatments of seeds) and after 60 days, period in which the seeds remained in a cold and dry chamber (20 °C and 50% RH of air). Germination tests, first germination count, emergence of seedlings in sand, accelerated aging and computerized seedling image analysis (Vigor-S) were performed. The progressive increase of mechanical injuries in soybean seeds reduces their physiological potential and increases their sensitivity to the phytotoxic effect of chemical seed treatment. The treatments in which insecticides (imidacloprid and thiocarb) were included have most severely impaired the vigour of the seed at the time it is applied and after a period of 60 days.

Key words: *Glycine max*; Mechanical damage; Phytotoxicity, Germination; Vigour; Analysis of seed and seedling images.

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de injúrias mecânicas é um dos fatores que mais originam perdas qualitativas em sementes de soja, que são causadas em grande parte, no momento da colheita e durante o beneficiamento. Nestas etapas, o contato das sementes com superfícies rígidas de máquinas e equipamentos é frequente e pode causar danos que inviabilizam a germinação no momento de sua ocorrência ou após determinado período (danos com efeitos imediatos e latentes, respectivamente).

O efeito das injúrias em sementes de soja muitas vezes é severo, pois atingem facilmente regiões vitais como o eixo embrionário, em razão da sua proeminência natural em relação aos cotilédones e também pela mínima proteção conferida pelo tegumento, que é frágil e pouco espesso, características que ampliam a sensibilidade das sementes às danificações mecânicas.

Entre as tecnologias amplamente difundidas para implantação da lavoura de soja o tratamento de sementes tem grande relevância. Trata-se de uma prática adotada em grande parte das áreas cultivadas no país e que consiste na aplicação de produtos fitossanitários, destacando os fungicidas e inseticidas, que protegem as sementes contra fungos patogênicos do solo e insetos-praga nos estádios iniciais das plantas. Além disso, outros produtos também podem ser utilizados (micronutrientes, nematicidas, inoculantes, bioestimulantes, polímero, pó secante, etc.) por meio de técnicas modernas de aplicação como o tratamento industrial.

Embora os benefícios proporcionados pelo tratamento químico sejam amplamente conhecidos, a mistura de determinados produtos pode ser fitotóxica para as sementes e exercer influência negativa sobre a germinação e o vigor. Os indícios mais comuns deste problema são detectados no desempenho das plântulas, destacando a menor emergência no campo, a atrofia do sistema radicular, engrossamento do hipocótilo e a redução no comprimento da parte aérea, o que pode prejudicar a formação do estande inicial.

Os trabalhos que associam a ocorrência de injúrias mecânicas em sementes de soja com a fitotoxicidade do tratamento químico são escassos. Considerando que estes são problemas recorrentes no sistema produtivo, o objetivo desta pesquisa foi estudar os efeitos de distintos tratamentos químicos aplicados em sementes de soja com níveis crescentes de injúrias mecânicas, buscando compreender os reflexos sobre o seu potencial fisiológico.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Injúrias mecânicas em sementes de soja

A semente de soja está propensa à perdas qualitativas ao longo do processo produtivo, tendo como uma das principais causas a ocorrência de injúrias mecânicas (HOLTZ e REIS, 2013). De acordo com a literatura, percentuais crescentes de lotes de sementes são depreciados durante a colheita devido à inadequação de sistemas de recolhimento, trilha, separação, limpeza e o excesso de velocidade de colhedoras (SILVA et al., 2013; COSTA et al., 1996) e durante o beneficiamento, em razão do excessivo número de quedas das sementes e o seu contato frequente com superfícies rígidas de máquinas e equipamentos (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Em pesquisa realizada por Lopes et al. (2011), foi verificado efeitos negativos das injúrias mecânicas sobre o vigor e emergência de plântulas em função do tipo de colheita e das etapas do beneficiamento, corroborando ao verificado por Neves et al. (2016) que avaliaram a qualidade de sementes de soja com injúrias ocorridas durante o beneficiamento e constataram uma redução do potencial fisiológico. De acordo com Marcos-Filho (2013), as sementes de soja, em função das suas características morfológicas e fisiológicas são muito suscetíveis à deterioração e sensíveis a práticas incorretas de manejo na colheita, beneficiamento e armazenamento.

Particularmente, a morfologia da semente de soja favorece a incidência de injúrias mecânicas uma vez que o embrião corresponde praticamente a totalidade de sua estrutura e as injúrias podem facilmente comprometer o tegumento, os cotilédones e o eixo embrionário (SHELAR, 2008; COSTA et al., 1979). Essas considerações enfatizam a necessidade de cuidados especiais para sementes de soja após a maturidade fisiológica, visto que as injúrias mecânicas podem promover a perda imediata da viabilidade das sementes (danos de efeito imediato) ou após um determinado período (danos de efeito latente) (FRANÇA-NETO e HENNING, 1984).

Vale ressaltar que a maior ou menor incidência dos tipos de danos pode variar conforme o teor de água das sementes, que estando maior (teor de água superior a 14%), as torna mais propensas a danos latentes e, menor (teor de água inferior a 12%), a danos imediatos (FRANÇA-NETO e KRZYZANOWSKI, 2018). Como a colheita mecanizada é a principal fonte de injúrias mecânicas, recomenda-se uma faixa entre 12% a 14% de teor de água para sua realização a fim de preservar a integridade física das sementes de soja (EMBRAPA, 2004). Albanese et al. (2018) em estudo com sementes de soja e danos mecânicos ocasionados pelo

sistema de descarga como meio de transporte da colhedora para o caminhão, verificaram que sementes colhidas com teores de água menor (entorno de 12%) foram mais danificadas. Em outro estudo realizado por Ning et al. (2014), verificou-se que o teor de água e a resistência mecânica das sementes de soja estão associados com a severidade das injúrias, que podem afetar drasticamente a viabilidade das sementes. Vale ressaltar que cada dano que incide sobre a semente de soja é cumulativo e capaz de reduzir o seu potencial fisiológico (LOPES et al., 2011; JIJON e BARROS, 1983). Cabe destacar que as situações ao longo do sistema produtivo que contribuem para ocorrência de danos mecânicos não são raras, portanto trata-se de um problema pertinente na área de tecnologia de sementes (PINTO et al., 2012).

Nesse sentido, a avaliação de sementes danificadas faz parte do processo de produção e do controle de qualidade. Entre os testes comumente utilizados estão o tetrazólio e o hipoclorito de sódio, que respectivamente possibilitam quantificar sementes com danos no embrião (eixo embrionário e cotilédones) como também injúrias ocorridas no tegumento (FRANÇA-NETO e KRZYZANOWSKI, 2018; KRZYZANOWSKI et al., 2004). Vale destacar que o tegumento é essencial para as sementes, que dentre outras funções, confere integridade estrutural, união das partes cotiledonares, regulação de trocas de água, difusão dos gases, relações hídricas e o processo de germinação; uma vez que a sua integridade física é comprometida, as suas funções também tornam-se deficitárias (MARCOS-FILHO, 2015a).

Em estudos que envolvem a ocorrência de injúrias em sementes têm-se utilizado dispositivos que provocam danificações controladas (GOMES-JUNIOR e CICERO, 2012; CARVALHO et al., 2011; MONDO et al., 2009). Por outro lado, a utilização de raios X para avaliação dos danos mecânicos tem sido considerada vantajosa, uma vez que injúrias mais severas nem sempre provocam a quebra das sementes ou a separação dos cotilédones, como é o caso fissuras internas no embrião, que podem não ser visualizadas a olho nu mas identificadas nitidamente por meio da análise computadorizada de imagens com o auxílio da radiografia (WENDT et al., 2014; MARCOS-FILHO, 2013; CARVALHO e NOVEMBRE, 2012; CICERO et al., 1998).

O grande diferencial do teste de raios X é permitir o estudo detalhado da morfologia interna das sementes e de estudar as injúrias mecânicas e os locais exatos de sua ocorrência por meio da análise de imagens, que basicamente resultam da exposição das sementes a um feixe de baixa energia na faixa espectral dos raios X (FORTI et al., 2010). Além disso, com auxílio de técnicas como a microtomografia computadorizada de raios X, as imagens também podem ser obtidas nas três dimensões em diferentes posições angulares, o que possibilita gerar imagens com maior resolução e um estudo minucioso da sua morfologia interna das sementes (GOMES-

JÚNIOR et al., 2019). Após os procedimentos com os raios X, as sementes ainda podem ser submetidas a testes fisiológicos como a germinação, possibilitando um diagnóstico preciso e o estabelecimento de relações de causa e efeito, uma vez que tratam-se de técnicas não destrutivas (FLOR et al., 2004).

2.2. Tratamento químico de sementes de soja

A semente é um dos principais veículos de transporte de microrganismos patogênicos e transmissão de doenças, sendo que vários desses patógenos podem comprometer a germinação e o desenvolvimento da plântula. A sanidade é uma característica intrínseca das sementes e de suma importância na implantação da lavoura (MARCOS-FILHO, 2015a). Entre as tecnologias que visam a sua proteção contra microrganismos patogênicos do solo bem como ao ataque de insetos-praga na fase inicial da cultura destaca-se o tratamento químico de sementes, prática difundida em cerca de 95% das áreas semeadas com soja no país (CUNHA et al., 2015; HENNING et al., 2010; GOULART, 1998).

Durante o desenvolvimento das plantas no campo fatores climáticos como alta temperatura e umidade relativa do ar podem proporcionar condições adequadas para transmissão e infecção de patógenos nas sementes (HENNING et al., 2014; ZORATO e HENNING, 2001). A associação das sementes com estes patógenos pode ocorrer durante o processo de maturação ou após a maturidade fisiológica, especialmente se houver atraso na colheita e exposição prolongada das sementes as condições do ambiente, podendo comprometer a sua sanidade (MARCOS-FILHO, 2015a). Além disso, em situações em que o clima está desfavorável para implantação da lavoura, como déficit hídrico, o tratamento químico se faz ainda mais necessário, uma vez que a vulnerabilidade da semente ao ataque de microrganismos patogênicos aumenta (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Em pesquisa realizada por Pereira et al. (2011) verificou-se que o tratamento de sementes de soja com fungicidas (carbendazin e thiram; thiabendazole e thiram) beneficiou o desempenho fisiológico e a qualidade sanitária das sementes comparado aquelas que não foram tratadas. Nesta mesma linha, Benatto Junior et al. (2012) observaram que o recobrimento das sementes de soja com polímeros e fungicida (carbendazim e thiram) não prejudicou a sua qualidade. Em outro estudo, Conceição et al. (2014) verificaram que o tratamento de sementes de soja com a mistura de fungicidas (carbendazim e thiram), inseticidas (imidaclopride e tiodicarbe), micronutrientes (cobalto e molibdênio) e polímero não afetaram o desempenho

fisiológico, sendo eficaz no controle de patógenos. Conceição et al. (2016) utilizando os mesmos tratamentos do estudo anterior, constataram que a combinação de fungicidas, inseticidas, micronutrientes e polímero, não comprometeu a qualidade fisiológica das sementes durante 8 meses de armazenamento. Bork et al. (2018), constataram efeitos positivos do tratamento químico sobre a qualidade de sementes de soja até 180 dias de armazenamento após distintas combinações de fungicidas (carbendazim, fludioxonil, metalaxyl-m, azoxystrobin e fluazinam), inseticida (fipronil) e polímero.

Diante de informações de diversos trabalhos, observa-se que o tratamento de sementes beneficia a cultura da soja no estabelecimento das plântulas no campo. O uso de diversificadas combinações de produtos é uma realidade no tratamento de sementes, especialmente o tratamento industrial, onde preconiza-se aplicações conjuntas de fungicidas, inseticidas, micronutrientes, reguladores de crescimento, nematicidas, inoculantes e recobrimentos com polímeros (FRANÇA-NETO et al., 2016; LUDWIG et al., 2011). Para o tratamento de sementes de soja recomenda-se a aplicação de 600 mL.100 kg⁻¹ visando preservar o desempenho fisiológico (EMBRAPA, 2013), embora seja relatado que esse volume pode chegar até 1100 mL.100 kg⁻¹ sem causar prejuízos para sementes de maior vigor (FRANÇA-NETO et al., 2016).

Vem sendo reportado em diferentes trabalhos com sementes de soja, efeitos prejudiciais de alguns produtos utilizados no tratamento químico. Dan et al. (2013) verificaram efeitos negativos do tratamento químico com inseticida (thiamethoxam) após o armazenamento. Brzezinski et al. (2017), constataram efeitos fitotóxicos sobre o desempenho fisiológico de sementes tratadas com fungicidas (carbendazim e thiram), inseticidas (imidaclopride e tiodicarbe), nematicida (amabectin), micronutrientes (cobalto, molibdênio e zinco), bioestimulantes e inoculantes. Nessa mesma linha, Santos et al. (2018) observaram que o tratamento com fungicida e inseticidas (fipronil, piraclostrobina e tiofanato metílico) foi prejudicial o manutenção do vigor de sementes de soja durante o armazenamento. Pereira et al. (2018) verificaram que o potencial fisiológico da sementes foi comprometido ao longo do período de armazenamento, após distintas combinações de tratamentos com fungicidas e inseticidas (carbendazim e thiram; imidaclopride e tiodicarbe; piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil; detiofanato metílico e fluazinam; bifentrina, imidaclopride e metalaxil-m; fludioxonil e thiamethoxam). Em resultados obtidos por Abati et al. (2018) foi verificado que a aplicação de pó secante, prejudicou o vigor de sementes de soja após o tratamento químico.

Em outras pesquisas com sementes de soja, constatou-se que determinados ingredientes ativos (imidaclopride e tiocarbe; carbendazim e thiram; micronutrientes) podem ser mais prejudiciais para o desempenho das sementes do que outros, conforme a mistura de

produtos utilizada, o volume de calda aplicado e o período de armazenamento adotado (CAMILO et al., 2017; FERREIRA et al., 2016; BAYS et al., 2007). De acordo com França-Neto et al. (2016), a fitotoxicidade do tratamento químico se expressa, principalmente, no vigor de plântulas, causando encurtamento de partes como raiz e hipocótilo, queda na emergência de plântulas e prejuízos na população de plantas que comprometem o estabelecimento da lavoura.

2.3. Potencial fisiológico de sementes

A semente é utilizada para produção de grande parte das espécies cultivadas, cerca de 80%, sendo necessário que reúna características de qualidade que propiciem o estabelecimento rápido e uniforme da lavoura, cumprindo com a sua função no campo (MARCOS-FILHO, 2015a). Para serem de alta qualidade, as sementes precisam ser geneticamente puras, livres de danos físicos, doenças e deter viabilidade suficiente para completar a germinação e produzir plântulas normais (FINCH-SAVAGE e BASSEL, 2016). A soja é uma das espécies que mais merecem atenção considerando o nível de exigência dos produtores quanto à qualidade das sementes, sendo que o atributo fisiológico tem recebido relevante atenção da pesquisa, que está relacionado diretamente com o estabelecimento da cultura e com o desempenho inicial da semente no campo (MARCOS-FILHO, 2015a; MARCOS-FILHO, 2013).

O potencial fisiológico de uma semente, portanto, reúne informações sobre a sua germinação, compreendida como a emergência de partes essenciais do embrião que resultam em uma plântula normal sob condições ótimas (MARCOS-FILHO, 2015a; BRASIL, 2009), e sobre o vigor, caracterizado por atributos que determinam o desempenho das sementes sob diferentes condições de ambiente (KRZYŻANOWSKI et al., 1999). Conforme reportado, sementes de alto vigor são capazes de gerar plântulas vigorosas e mais desenvolvidas (FRANÇA-NETO et al., 2016), sendo relatado também a presença de maiores conteúdos de proteínas solúveis, amido, açúcares solúveis e elevada capacidade de mobilização de reservas para germinação (HENNING et al., 2010) proporcionando um estande adequado em amplas condições de campo no momento da emergência das plântulas (TEKRONY e EGLI, 1991).

Em estudo realizado por Caverzan et al. (2018), foi destacado o efeito direto do uso de sementes de maior vigor sobre a população de plantas. Conforme descrito por Rossi et al. (2017), uma vez ajustada a população de plantas o vigor de sementes não interfere na produtividade, mas é evidente o seu efeito sobre a emergência das plântulas. Por outro lado, Kolchinski et al. (2006) verificaram que plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentam

valores mais elevados de área foliar, de produção de matéria seca e de taxa de crescimento na fase inicial de desenvolvimento comparado a sementes de baixo vigor. Vanzolini e Carvalho (2002) observaram que sementes de soja mais vigorosas produziram maiores comprimentos de raiz e de plântulas, constatando maior efeito sobre o crescimento inicial da planta. Em outra pesquisa, França-Neto et al. (1983) verificaram que as plantas oriundas de sementes de alto vigor apresentaram maior altura quando comparadas as de baixo vigor além de produtividade superior.

O conhecimento do potencial fisiológico possibilita aos agricultores e empresas do setor de sementes a identificação de lotes com maior probabilidade de apresentar desempenho eficiente no campo ou durante o armazenamento. Dessa forma, a tecnologia de sementes como parte do processo produtivo reúne técnicas específicas para avaliar o desempenho fisiológico de sementes em diferentes condições de ambiente (MARCOS-FILHO, 2015a; DUTRA e VIEIRA, 2004).

Com o teste de germinação por exemplo, pode-se obter o potencial máximo de plântulas normais em condições ideais, sem, contudo, conhecer o seu comportamento sob condições adversas de ambiente. Os testes de vigor por sua vez, são mais sensíveis neste quesito, sendo capazes distinguir lotes de sementes com maior ou menor potencial de apresentar bom desempenho após a semeadura e, ou durante o armazenamento, detectando os avanços da deterioração (MARCOS-FILHO, 1999; MARCOS-FILHO, 1981). Conforme descrito na literatura, trata-se de um processo que inicia-se após a maturidade fisiológica das sementes, caracterizado como irreversível, contínuo e inexorável, responsável pelo desequilíbrio das funções fisiológicas, bioquímicas, físicas e citológicas dos tecidos da semente, tornando-as progressivamente propensas a perda de vigor e viabilidade (MARCOS-FILHO, 2015a; DELOUCHE, 1963).

Entre as principais metodologias empregadas para avaliação do vigor, pode-se destacar os testes fisiológicos como primeira contagem de germinação, emergência de plântulas e crescimento de plântulas que determinam as atividades fisiológicas específicas das sementes, os testes bioquímicos como tetrazólio e condutividade elétrica que avaliam alterações bioquímicas nas sementes e as avaliações de tolerância ao estresse como os testes de envelhecimento acelerado e de frio (FRANÇA-NETO e KRZYZANOWSKI, 2018; MARCOS-FILHO, 2015a; KRZYZANOWSKI et al., 1999).

Como proposta de inovação, a análise computadorizada de imagens de plântulas tem o reconhecido destaque para avaliação do vigor de sementes (MARCOS-FILHO, 2015b). Mediante o escaneamento de plântulas oriundas de sementes de uma amostra e a posterior

análise das imagens em softwares específicos, pesquisas tem revelado a eficácia desses sistemas capazes de determinar parâmetros como os índices de vigor, de crescimento e de uniformidade de desenvolvimento bem como comprimentos de plântulas e de suas partes, agilizando a obtenção de resultados que além de consistentes são comparáveis aos testes tradicionais (CASTAN et al., 2018; MARCOS-FILHO et al., 2009; HOFFMASTER et al., 2003).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada nos Laboratórios de Análise de Imagens e de Análise de Sementes do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo, em Piracicaba-SP. Algumas análises foram realizadas no Laboratório de Técnicas Nucleares da Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos-SP e nos Laboratórios de Fisiologia e Patologia de Sementes pertencentes ao Núcleo Tecnológico de Sementes e Grãos “Dr. Nilton Pereira da Costa” na Embrapa Soja, em Londrina-PR.

3.1. Sementes

Em parceria com o Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Embrapa Soja, Londrina-PR) foram adquiridos dois lotes de sementes de soja com 15 kg cada apresentando diferentes potenciais fisiológicos, provenientes do cultivar M6410 IPRO peneira 5,5 mm e obtidos na safra 2017/2018.

3.2. Avaliações preliminares

Com a finalidade de caracterizar o desempenho inicial das sementes de cada lote, foram realizadas avaliações preliminares conforme descrito a seguir.

3.2.1. Teor de água

O teor de água das sementes foi obtido pelo método da estufa a 105 °C por 24 horas (BRASIL, 2009), realizado com duas repetições de 2 g de sementes de cada lote.

3.2.2. Sanidade de sementes

A sanidade das sementes foi determinada pelo método do papel filtro. Com o auxílio de uma pinça reta, dez repetições de 20 sementes de cada lote foram adicionadas em 10 caixas de plástico, com dimensões de 11,5 cm x 11,5 cm x 3,5 cm, previamente esterilizadas (solução

20% de NaOCl 1,05%). Em cada caixa de plástico foram adicionadas quatro unidades de papel-filtro (3,5 cm x 3,5 cm), previamente esterilizados (estufa a 160° C por 20 min) e umedecidos com água destilada e autoclavada. Após a semeadura, as amostras foram acondicionadas em câmara de incubação (20 ± 2 °C) por 7 dias e, posteriormente, os microrganismos foram identificados e contabilizados, sendo que os resultados foram expressos em porcentagem (HENNING, 2015).

3.2.3. Emergência de plântulas em areia

A emergência de plantas foi determinada a partir de quatro repetições de 50 sementes para cada lote, distribuídas na superfície de 5 cm de areia adicionada em caixas de plástico, com dimensões de 32 cm x 28 cm x 10 cm. As sementes foram cobertas com uma camada de 3 cm de areia e o umedecimento foi efetuado com volume de água correspondente a 60% da capacidade de retenção do substrato. As caixas foram expostas a temperatura de ambiente não controlado e a contagem das plântulas emersas foi realizada após a estabilização do primeiro par de folhas totalmente abertas (estádio fenológico V1) (NAKAGAWA, 1994).

3.2.4. Germinação

O teste foi realizado utilizando-se quatro repetições de 50 sementes para cada lote, em rolos de papel-toalha mantidos em germinador a 25 °C. O umedecimento foi efetuado com quantidade de água equivalente a 2,5 vezes a massa do substrato. Os resultados foram interpretados aos 5 (primeira contagem de germinação) e 8 dias (germinação) após a semeadura, sendo expressos em porcentagem de plântulas normais (BRASIL, 2009).

3.2.5. Envelhecimento acelerado

Foi utilizado o método de mini-câmaras com sementes distribuídas em camada única sobre uma tela metálica suspensa em uma caixa de plástico contendo 40 mL de água, mantidas em B.O.D. por 48 horas a 41 °C (MARCOS-FILHO, 1999). Após este período, 2 g de sementes foram utilizadas de cada amostra para determinação do teor de água e, em seguida, com as

demais sementes instalou-se o teste de germinação e os resultados foram interpretados aos 5 dias após a semeadura.

3.2.6. Análise computadorizada de imagens de plântulas (Vigor-S)

Utilizou-se quatro repetições de 20 sementes por lote, sendo as sementes distribuídas sobre duas folhas de papel-toalha umedecidos com água equivalente a 2,5 vezes a massa do papel. As sementes foram dispostas no sentido longitudinal (duas fileiras no terço superior do papel) e cobertas com uma terceira folha. Os rolos de papel contendo as sementes foram colocados em germinador a 25 °C por três dias. Após este período, as plântulas foram digitalizadas na resolução de 300 dpi por meio de um escâner HP Scanjet 200 instalado em posição invertida no interior de uma caixa de alumínio (60 cm x 50 cm x 12 cm) e as imagens obtidas foram armazenadas em um computador e avaliadas no software Vigor-S. As imagens foram processadas pelo software, que registra o máximo comprimento de plântulas pré-fixado em 12,7 cm para soja em seu sistema operacional. Dessa forma, foram gerados valores numéricos referentes ao índice de vigor (valores de 0 a 1000, proporcionais ao vigor), ao índice de crescimento e à uniformidade de desenvolvimento (também de 0 a 1000), comprimentos médios da raiz e da plântula conforme descrito por Rodrigues (2019). Os detalhes dos procedimentos de avaliação das imagens de plântulas no software podem ser verificados em um estudo realizado por Castan et al. (2018).

3.3. Injúrias mecânicas

As injúrias mecânicas foram provocadas com auxílio do equipamento S-injure (Figura 1) cujas descrições encontram-se detalhadas em Gomes-Júnior et al. (2019).

Os níveis de injúrias foram estabelecidos a partir de cinco amostras de 2,5 kg de sementes de soja provenientes de cada lote. As sementes de cada amostra foram despejadas manualmente na moega de entrada do equipamento e projetadas a uma pressão ajustada para 20 psi, por meio de um manômetro com registro, contra uma placa de aço inoxidável (3 mm de espessura) posicionada a 13 cm da saída de um jato de ar comprimido. Posteriormente, as sementes foram depositadas em uma gaveta localizada na base do equipamento. Dessa forma, foram estabelecidos cinco níveis de injúrias mecânicas que corresponderam a zero, um, dois, três e quatro impactos das sementes, com teor de água de 10% (b.u.), contra a placa de aço.

Figura 1. Equipamento S-injure utilizado para o estabelecimento dos níveis de injúrias mecânicas (número de impactos) em sementes de soja cv. M6410 IPRO.

3.4. Caracterização das injúrias mecânicas

Após a constituição dos níveis de injúrias mecânicas as sementes partidas ou com cotilédones separados (bandinhas) presentes nas amostras foram removidas com auxílio de peneiras (KRZYZANOWSKI, et al., 2015). Posteriormente, com a finalidade de avaliar o exato local e a extensão das injúrias provocadas sobre as partes da semente, quantificar o total de sementes danificadas e verificar a relação das injúrias com o vigor e a viabilidade das sementes, foram realizados os procedimentos descritos a seguir.

3.4.1. Teste de tetrazólio

O teste de tetrazólio foi realizado utilizando 200 sementes, sendo quatro subamostras com 50 sementes para cada nível de injúria mecânica (zero, um, dois, três e quatro impactos) e para cada lote. As sementes foram pré-condicionadas em substrato de papel umedecido com volume de água equivalente a 2,5 vezes a sua massa e mantidas nestas condições por um período

de 16 horas em germinador regulado à temperatura de 25 °C, visando a ativação dos mecanismos de respiração das sementes. Após o pré-condicionamento, as sementes foram adicionadas em copos de plástico (25 mL) e totalmente imersas em solução de tetrazólio (0,075%), permanecendo assim a uma temperatura 40°C por 180 minutos aproximadamente em estufa na ausência de luz. Posteriormente, alcançada a coloração ideal, as sementes foram lavadas com água corrente e avaliadas individualmente quanto aos danos mecânicos, deterioração por “umidade”, danos de percevejo, vigor e viabilidade (FRANÇA-NETO e KRZYZANOWSKI, 2018). Os dados obtidos no teste foram exibidos como valores médios e foram ajustados em modelos de regressão, não sendo submetidos a análise de variância.

3.4.2. Teste de hipoclorito de sódio

O teste foi realizado com duas subamostras de 100 sementes de cada nível de injúria mecânica (zero, um, dois, três e quatro impactos) para cada lote. As sementes com danos mecânicos aparentes (sementes trincadas ou com fissuras visíveis) foram removidas e contabilizadas, as demais sementes foram adicionadas em copos de plástico (200 mL) sendo totalmente imersas em solução de hipoclorito de sódio (5,25%), permanecendo assim por 10 minutos. Posteriormente, as sementes de cada subamostra foram espalhadas sobre papel-toalha para avaliação dos danos mecânicos não aparentes (não visíveis) conforme o número de sementes que embeberam em solução. Os resultados foram expressos em porcentagem do total de sementes danificadas, compreendido pela soma da número de sementes com danos aparentes e não aparentes (KRZYZANOWSKI et al., 2004). Os dados obtidos no teste foram exibidos como valores médios e ajustados em modelos de regressão, não sendo submetidos a análise de variância.

3.4.3. Teste de raios X

Para identificação das injúrias mecânicas por meio do teste de raios X, foram avaliadas 1000 sementes de cada lote, sendo 200 sementes (quatro subamostras de 50 sementes) para cada nível de injúria mecânica (zero, um, dois, três e quatro impactos). As sementes em grupos de 25 foram fixadas em folha de acetato transparente, com dimensões de 210 mm x 297 mm, colocando-se fita adesiva dupla face transparente para fixá-las com eixo embrionário em ângulo de 45° em relação a folha de acetato. As sementes foram numeradas conforme a posição

ocupada na folha de acetato e radiografadas com um equipamento digital Faxitron X-Ray modelo MX-20 DC-12 Tucson EUA acoplado a um computador Core 2 Duo. Posteriormente, as sementes foram submetidas ao teste de germinação (BRASIL, 2009), sendo identificadas conforme a ordem da radiografia e distribuídas em grupos de 25 no terço superior do papel, visando o desenvolvimento individualizado das plântulas. Os rolos de papel foram levados ao germinador regulado a 25 °C e a avaliação foi efetuada cinco dias após a semeadura.

As plântulas normais (cujas sementes apresentaram injúrias mecânicas), as plântulas anormais e sementes mortas foram fotografadas e as imagens analisadas na tela do computador paralelamente com as imagens radiográficas das sementes, possibilitando um diagnóstico preciso das relações entre o local de ocorrência dos danos mecânicos e a viabilidade das sementes. Foram atribuídas notas para as injúrias não observadas na radiografia e para as injúrias que ocorreram nos cotilédones e no eixo embrionário conforme a classificação feita por Cicero et al. (1998) e adaptada por Flor et al. (2004) para sementes de soja, cujos critérios estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Critérios utilizados para caracterização das notas por meio das imagens de raios X em função das injúrias mecânicas não observadas, das injúrias que incidiram nos cotilédones e, ou no eixo embrionário de sementes de soja ‘M6410 IPRO’.

Injúria mecânica	Notas ¹	
	Eixo Embrionário	Cotilédones
Não observada	1	1
Não severa	2	2
Severa	3	3

¹ 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2 e 3.3. O primeiro e o segundo número de cada notação correspondem ao eixo embrionário e aos cotilédones, respectivamente

O número de sementes dentro de cada nível de injúria mecânica (zero, um, dois, três e quatro impactos) foi calculado com base na amostra de 200 sementes e o número total de plântulas normais, anormais e sementes mortas dentro de cada nota, foi determinado com base nas 1000 sementes avaliadas em cada lote. Os percentuais de ocorrência dos principais tipos de injúrias mecânicas com a respectiva descrição, foram obtidos em relação as 2000 sementes expostas aos níveis de injúrias. Os dados não foram submetidos a análise de variância.

3.4.4. Microtomografia computadorizada de raios X (micro-TC)

Com a finalidade de estudar de forma mais detalhada as injúrias provocadas, dez sementes de soja da pesquisa (cv. M6410 IPRO) foram submetidas ao teste de raios X e três sementes com exemplos de injúrias mecânicas identificadas e não identificadas na radiografia foram submetidas a microtomografia computadorizada de raios X. As sementes foram submetidas à análise no microtomógrafo de raios X SkyScan 117 na Embrapa Instrumentação Agropecuária, conforme descrito por Capelaro (2017). Para aquisição das imagens, cada semente foi posicionada no interior do microtomógrafo em um suporte de latão, sendo fixada em posição adequada, mantendo a região oposta ao hilo voltada para baixo, utilizando fita dupla face para posicionar a semente no suporte e recobrimento com parafilme para sua fixação conforme descrito por Gomes-Junior et al (2014). As imagens tomográficas das seções transversais de cada semente foram obtidas a partir da aquisição (ângulo total de rotação de 180 graus; passo angular de 0,2 graus) e reconstrução das imagens (software NRecon), possibilitando inspecionar a anatomia de cada semente e as alterações causadas pelas injúrias mecânicas nos planos bidimensional coronal (XZ), sagital (ZY) e transaxial (XY) (GOMES-JÚNIOR et al., 2019).

As sementes foram submetidas ao teste de germinação (BRASIL, 2009) sendo que os rolos de papel contendo as sementes foram colocados em germinador a 25 °C por quatro dias. Após este período, as plântulas e sementes mortas foram digitalizadas na resolução de 300 dpi por meio de um escâner HP Scanjet 200 e as imagens obtidas foram analisadas na tela do computador paralelamente com as imagens tomográficas e radiográficas das sementes.

3.5. Tratamento de sementes de soja

Para constituição do tratamento de sementes, cada uma das amostras contendo os respectivos níveis de injúrias (zero, um, dois, três e quatro), para cada lote, foram divididas em cinco subamostras de 500 g, onde uma parte constituiu a testemunha não tratada (T0) e as outras quatro foram submetidas a distintos tratamentos de sementes (T1, T2, T3 e T4), realizados individualmente em sacos de plástico devidamente identificados. As combinações de ingredientes ativos, micronutrientes e recobrimento (polímero) foram adicionados sobre as sementes com auxílio de seringas graduadas (milímetros). As sementes de cada subamostra foram agitadas no interior dos sacos de plástico após a adição de cada produto, para

homogeneização da mistura com a superfície das sementes (Figuras 2A, 2B, 2C e 2D). O pó secante foi o último componente de cada tratamento a ser adicionado (Figura 2E), sendo também, homogeneizado com as sementes sob agitação. Por fim, as sementes tratadas (Figura 2F) foram mantidas no laboratório de Fisiologia de Sementes da Embrapa Soja, mantendo-se os sacos de plástico abertos para o arejamento e a devida secagem dos produtos aplicados.

Na Tabela 2, pode ser observado as combinações de produtos utilizadas para o tratamento das sementes bem como as respectivas dosagens, o volume de calda e a relação dos ingredientes ativos, micronutrientes e recobrimentos aplicados. A partir da soma de cada produto líquido obteve-se o volume total de calda por 500 g (subamostra) e 100 kg de sementes. O teor de água das sementes no momento do tratamento químico era de 10 % (b.u.).

Tabela 2. Tratamento de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’, com distintos produtos e respectivas dosagens.

Trat. Sem	Subamostra g	F ¹	I ²	M ³	P ⁴	Total	Total	PS ⁵
		----- mL -----					mL.100 kg ⁻¹	g
T0*	500	-	-	-	-	0,0	0,0	-
T1	500	-	-	0,6	1,0	1,6	320	1,8
T2	500	1,0	-	0,6	1,0	2,6	520	1,8
T3	500	-	2,5	0,6	1,0	4,1	820	1,8
T4	500	1,0	2,5	0,6	1,0	5,1	1020	1,8

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ F: fungicidas (carbendazim e thiram; 2 mL.kg⁻¹)

² I: inseticidas (imidaclopride e tiodicarbe; 5 mL.kg⁻¹)

³ M: micronutrientes (CoMo[®]: cobalto e molibdênio; 1,2 mL.kg⁻¹)

⁴ P: polímero (Peridiam[®]; 2 mL.kg⁻¹)

⁵ PS: pó secante (Talkum Gloss[®]; 3,5 g.kg⁻¹)

Figura 2. Tratamento de sementes: adição do primeiro produto (A); homogeneização (B); combinação de ingredientes ativos (C); adição e homogeneização do polímero com as sementes (D); adição do pó secante (E); sementes de soja tratadas (F).

3.6. Avaliação do potencial fisiológico

Após a constituição dos tratamentos da pesquisa (injúrias mecânicas e tratamentos de sementes), a avaliação do potencial fisiológico ocorreu em duas épocas experimentais. As subamostras de 500 g de sementes de cada lote foram novamente divididas em duas partes de igual massa (250 g). Uma parte foi avaliada prontamente ao estabelecimento dos tratamentos, constituindo a primeira época experimental; a outra parte, foi mantida em câmara fria e seca a 20 °C e 50% de umidade relativa do ar por um período de 60 dias, quando foi avaliada e passou a constituir a segunda época experimental. Para as duas épocas, foram realizados os testes de emergência de plântulas em areia, germinação, primeira contagem de germinação, envelhecimento acelerado, teor de água após o envelhecimento acelerado e análise computadorizada de imagens de plântulas (Vigor-S), conforme descrito anteriormente no item “3.2 Avaliações preliminares”.

3.7. Procedimento estatístico

A pesquisa foi realizada de acordo com o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo (5 x 5). Os tratamentos foram compostos por cinco níveis de injúrias mecânicas (zero, um, dois, três e quatro impactos) e cinco tratamentos de sementes (T0, T1, T2, T3 e T4) com quatro repetições, totalizando 100 unidades experimentais. Os dados obtidos a partir das avaliações do potencial fisiológico foram submetidos ao teste de normalidade dos resíduos (Shapiro Wilk) e análise de variância, realizada separadamente para cada lote e época experimental (Tabela 3) com auxílio do software R Core Team (2019). Mediante a significância no teste F ($p \leq 0,05$), para efeitos simples dos tratamentos e para os efeitos de interação, as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$).

Tabela 3. Esquema de análise de variância.

Fontes de variação	Graus de liberdade
Injúria mecânica (IM)	4
Tratamento de sementes (TS)	4
IM * TS	16
Resíduo	75
Total	99

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliações preliminares

A partir dos resultados observados nas avaliações preliminares, verificou-se valores de teor de água de 10,5% e 10,0%, respectivamente, para os lotes 1 e 2, ambos apresentando elevado potencial fisiológico conforme os percentuais obtidos nos testes de germinação, emergência de plântulas em areia, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado. Observou-se que os parâmetros da análise computadorizada de imagens de plântulas foram mais sensíveis para detectar possíveis diferenças de vigor entre os lotes estudados. Por exemplo, os índices de vigor, de crescimento e de uniformidade, comprimentos de raiz e de plântula foram maiores, em valores absolutos, para as sementes do lote 2 (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios de germinação (G), emergência de plântulas (EP), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA), teor de água após envelhecimento acelerado (TA-EA), índices de vigor (IV), de crescimento (IC) e de uniformidade de desenvolvimento (IU) e comprimentos de raiz (CR) e de plântula (CP) determinados em lotes de sementes de soja ‘M6410 IPRO’ nas avaliações preliminares.

Lotes*	G	EP	PC	EA	TA-EA
	----- % -----				
1	95	91	92	87	28,4
2	94	92	91	91	26,9
	IV	IC	IU	CR	CP
	----- Índices -----			----- (cm) -----	
1	662	619	764	5,8	8,9
2	805	808	798	7,7	11,0

*Teor de água inicial das sementes. Lote 1: 10,5%; Lote 2: 10,0%

Conforme os resultados do teste de sanidade apresentados (Tabela 5), verificou-se que os lotes 1 e 2 apresentaram alta qualidade sanitária em virtude da baixa ocorrência de microrganismos patogênicos importantes para sementes de soja, como os fungos *Cercospora Kikuchi*, *Fusarium semitectum* e *Phomopsis sojae* (HENNING, 2015). Para as sementes do lote 2, os percentuais de ocorrência desses fungos juntamente com *Alternaria* sp. e *Bacillus* sp., resultaram em um total de 3% de microrganismos identificados. Já para as sementes do lote 1,

foi identificado 1% de microrganismos, cujo total correspondeu apenas a presença de bactérias do gênero *Bacillus*.

Tabela 5. Percentuais médios de microrganismos obtidos após o teste de sanidade de sementes de soja ‘M6410 IPRO’.

Lotes	<i>Cercospora kikuchi</i>	<i>Fusarium semitectum</i>	<i>Phomopsis sojae</i>	<i>Alternaria</i> sp.	<i>Bacillus</i> sp.	Total*
1	-	-	-	-	1%	1%
2	1%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	3%

* Total de microrganismos identificados

4.2. Caracterização das injúrias mecânicas

Conforme apresentado na Tabela 6, o teste de tetrazólio possibilitou identificar diferentes fatores responsáveis pela perda de viabilidade das sementes, como a ocorrência de danos mecânicos (DM), deterioração por “umidade” (DU) e danos causados por percevejos (DP). Observa-se que os danos mecânicos provocados pelos consecutivos impactos ocasionaram um percentual crescente de sementes não viáveis ou mortas (DM 6-8), o que ocorreu em ambos os lotes, podendo ser considerado o fator que mais comprometeu a viabilidade das sementes. De acordo com o exposto na literatura, nas sementes de soja a pouca proteção conferida pelo tegumento ao embrião e a proeminência do eixo embrionário são características que ampliam as chances de ocorrência de injúrias, em grande parte, nocivas para a germinação (COSTA et al., 1979).

Observa-se para os resultados de vigor (Tabela 6) que as sementes dos lotes 1 e 2, quando não foram expostas às injúrias, apresentaram melhores resultados (87 e 88%, respectivamente). Entretanto, foi observado a ocorrência de sementes com vigor médio (75 a 84%) quando sofreram um impacto e baixo ($\leq 74\%$) quando foram expostas a dois, três e quatro impactos, em ambos os lotes. Cabe destacar que as injúrias mecânicas também podem prejudicar o vigor das sementes, ao atingirem regiões dos cotilédones próximas ao eixo embrionário comprometendo o transporte de materiais de reserva para o desenvolvimento adequado da plântula (FRANÇA-NETO e KRZYZANOWSKI, 2018).

Quanto ao comportamento dos dados observados no teste de tetrazólio para vigor e viabilidade, verifica-se nas Figuras 3b e 3c, respectivamente, queda do potencial fisiológico em função do aumento dos impactos sobre as sementes de ambos os lotes. Observou-se também,

que a porcentagem de danos mecânicos que causaram sementes não viáveis ou mortas (classificação de 6 a 8) aumentou em função dos níveis de injúrias (Figura 3a).

Quanto aos resultados obtidos para sementes danificadas (Tabela 6), observou-se, tanto em valores absolutos quanto para os modelos de regressão ajustados (Figura 3d), aumento na porcentagem de sementes com danos mecânicos (aparentes e não aparentes) em função dos consecutivos impactos, indicando prejuízos a integridade física do tegumento das sementes de ambos os lotes. De acordo com Krzyzanowski et al. (2004), percentuais de danos mecânicos acima de 10% no teste de hipoclorito de sódio é um indicativo de que o desempenho fisiológico das sementes já está comprometido.

Tabela 6. Resultados do teste de tetrazólio obtidos para ocorrência de dano mecânico (DM), deterioração por “umidade” (DU), danos de percevejo (DP), viabilidade e vigor e o percentual total de sementes danificadas obtidos a partir da avaliação dos danos mecânicos aparentes e não aparentes (hipoclorito de sódio) em sementes de soja ‘M6410 IPRO’ em função de níveis de injúrias mecânicas (Impactos).

Impactos	Tetrazólio (%)					Sementes danificadas (%)
	DM	DU	DP	Viabilidade	Vigor ¹	
0 ^(L1)	2	2	2	94	87	8
1	6	1	3	90	80	11
2	12	0	6	82	73	13
3	11	2	4	83	72	12
4	14	1	6	79	71	14
0 ^(L2)	3	0	1	96	88	7
1	14	0	2	84	75	17
2	16	3	1	80	74	18
3	25	1	1	73	66	21
4	26	1	0	73	72	27

^{L1, L2} Lotes de sementes da pesquisa

¹ Classificação de vigor: muito alto: $\geq 90\%$; alto: 85 a 89%; médio: 75 a 84%; baixo: $\leq 74\%$

De forma geral, os impactos sobre as sementes proporcionaram redução do seu potencial fisiológico e as sementes provenientes do lote 2 apresentaram maior sensibilidade às injúrias mecânicas em relação as sementes do lote 1, o que foi mais evidente para os resultados de danos mecânicos (Figura 3a) e viabilidade (Figura 3c) no teste de tetrazólio e sementes danificadas (Figura 3d) no teste de hipoclorito de sódio.

Na Tabela 7, encontram-se os resultados obtidos no teste de raios X relativos ao número de sementes que geraram plântulas normais, anormais e sementes mortas e o total de sementes identificadas com injúrias mecânicas.

Figura 3. Resultados obtidos no teste de tetrazólio para danos mecânicos (a) na classificação de sementes não viáveis ou mortas (6-8), vigor (b) e viabilidade (c) e no teste de hipoclorito de sódio para sementes danificadas (d) (danos mecânicos aparentes e não aparentes), provenientes dos lotes 1 e 2 ‘M6410 IIPRO’, ajustados em modelos de regressão em função do número de impactos.

Para ambos os lotes, observa-se maior número de sementes identificadas com injúrias mecânicas (cotilédones e, ou eixo embrionário) em função do aumento dos impactos (Tabela 7). Além disso, os danos mecânicos sobre o eixo embrionário (notas 3.1, 3.2 e 3.3), resultaram

em plântula anormal ou semente morta e para as sementes identificadas com injúrias severas nos cotilédones (nota 1.3), não foram observadas plântulas normais.

Tabela 7. Número de sementes de soja ‘M6410 IPRO’ avaliadas por meio do teste de raios X dentro do número de impactos, que receberam notas conforme a presença ou ausência de injúrias nos cotilédones e, ou no eixo embrionário, e o total de sementes, dentro de cada nota, que originaram plântula normal (PN), plântula anormal (PA) e semente morta (SM) após o teste de germinação.

Nota ¹	Número de impactos					Total	Observação ²		
	0	1	2	3	4		PN	PA	SM
1.1 ^{L1}	199	191	190	188	186	954	725(72,5)	134(13,4)	95(9,5)
1.2	-	2	2	2	2	8	2(0,2)	3(0,3)	3(0,3)
1.3	-	-	1	3	3	7	-	2(0,2)	5(0,5)
2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1	-	4	5	6	8	23	-	15(1,5)	8(0,8)
3.2	1	1	-	-	-	2	-	-	2(0,2)
3.3	-	2	2	1	1	6	-	-	6(0,6)
T*	1	9	10	12	14	46	2	20	24
1.1 ^{L2}	198	184	176	165	166	889	698(69,8)	116(11,6)	75(7,5)
1.2	1	2	6	5	2	16	6(0,6)	2(0,2)	8(0,8)
1.3	-	2	1	2	10	15	-	8(0,8)	7(0,7)
2.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3.1	1	9	10	21	16	56	-	30(3)	26(2,6)
3.2	-	-	3	5	3	11	-	5(0,5)	6(0,6)
3.3	-	3	4	2	3	13	-	1(0,1)	12(1,2)
T*	2	16	24	35	34	111	6	46	59

^{L1, L2} Lotes de sementes

¹ As notações 1, 2 e 3 correspondem, respectivamente, as injúrias não observadas, não severas e severas. O primeiro e o segundo número de cada notação correspondem ao eixo embrionário e aos cotilédones, respectivamente

² Percentual de ocorrência (valor entre parênteses) de plântula normal, anormal e semente morta em relação as 1.000 sementes radiografadas (para cada lote)

* Número total de sementes identificadas com injúrias mecânicas e o respectivo número de plântula normal, anormal e semente morta

Em relação ao total de sementes identificadas com injúrias mecânicas, verificou-se para o lote 1 que apenas duas sementes em 46 delas danificadas originaram plântula normal após o teste de germinação. Por outro lado, para as sementes do lote 2 observou-se que apenas seis sementes de um total de 111 delas danificadas deram origem a plântula normal (Tabela 7).

A partir desses resultados, confirma-se a maior sensibilidade do lote 2 aos efeitos dos impactos, destacando que grande parte das injúrias mecânicas identificadas nas imagens radiográficas comprometeram a viabilidade das sementes.

Em um estudo pioneiro com sementes de milho, Cicero et al. (1998) por meio da técnica de raios X destacaram que danos mecânicos localizados transversalmente na região de reserva das sementes, restringem a translocação de nutrientes para o eixo embrionário influenciando negativamente a germinação. Em outro estudo com sementes de milho, Cicero e Banzatto Junior (2003) destacaram que as sementes dão origem às plântulas anormais ou sementes mortas quando ocorrem danos mecânicos no endosperma restringindo a translocação de substâncias de reserva ou quando os danos ocorrem no eixo embrionário. Os resultados apresentados por estes autores são pertinentes e podem ser estendidos para sementes de leguminosas, conforme observado na presente pesquisa e em outros trabalhos (ARRUDA et al., 2016; MONDO et al., 2009).

Para ambos os lotes, ocorreram casos em que não foram identificadas injúrias mecânicas nas imagens de raios X (nota 1.1) sendo observado após o teste de germinação plântula anormal ou semente morta. Esse comportamento também ocorreu para as sementes identificadas com injúrias não severas (nota 1.2), cuja ocorrência não justificou a observação de plântula anormal ou semente morta após o teste de germinação (Tabela 7). Estes resultados podem estar relacionados com a presença de outros fatores que inviabilizaram o desenvolvimento normal da plântula.

Vale lembrar que as sementes de soja estão sujeitas a um conjunto de problemas com potencial de comprometer a sua viabilidade, com destaque para os danos provocados por percevejos e deterioração por “umidade”, conforme apresentado (Tabela 6). Esses fatores prejudiciais podem ainda estar associados ao ataque de fungos e, ou bactérias, mesmo que tenha sido observada a sua baixa ocorrência nas sementes dos lotes 1 e 2 conforme apresentado (Tabela 5). Além disso, em alguns casos específicos, as injúrias mecânicas presentes nos tecidos internos das sementes podem não ter sido identificadas claramente por meio do teste de raios X, exigindo técnicas mais detalhadas de análise de imagens, o que será discutido posteriormente.

Na Tabela 8 estão apresentados os principais tipos de injúrias mecânicas observadas de um total de 2.000 sementes avaliadas no teste de raios X em função dos impactos. Como exemplo, sementes que foram classificadas com nota 3.1 apresentaram injúrias severas caracterizadas por trincas sobre o eixo embrionário e ausência de injúrias nos cotilédones. Nesse sentido, as trincas observadas nas imagens radiográficas podem ter atingido partes como

plúmula, hipocótilo e, ou radícula, inviabilizando o desenvolvimento normal da plântula. Assim, entre o total de sementes analisadas, àquelas que receberam nota 3.1 foram as de maior ocorrência (3,95%) (Tabela 8).

Tabela 8. Descrição e percentual de ocorrência dos principais tipos de injúrias observadas em sementes de soja ‘M6410 IPRO’ avaliadas por meio do teste de raios X.

Descrição das injúrias mecânicas	Ocorrência ¹	Exemplos
Trincas no eixo embrionário atingindo suas partes, como plúmula, hipocótilo e, ou radícula (nota 3.1)	3,95 %	Figura 4
Pequenas trincas nos cotilédones, sem atingir o eixo embrionário (nota 1.2)	1,20 %	-
Fissura atingindo boa parte dos cotilédones, sem incidir sobre o eixo embrionário (nota 1.3)	1,10 %	Figura 5
Ocorrência de fissuras e de trincas por toda semente (nota 3.3)	0,95 %	Figura 6
Injúrias sobre o eixo embrionário e pequenas trincas nos cotilédones (nota 3.2)	0,65 %	-

¹ Percentual em relação ao total de 2.000 sementes expostas às injúrias mecânicas

A seguir, serão apresentados os exemplos de injúrias mecânicas observadas nas sementes de soja que ilustram a maioria dos casos identificados por meio do teste de raios X (Tabela 8).

Na Figura 4a, observa-se a ocorrência de trincas na plúmula e na região entre o hipocótilo e a radícula, conforme indicado pelas setas, que resultou na anormalidade da plântula caracterizada pelo hipocótilo pouco desenvolvido e danificado e pela ausência da raiz primária, conforme ilustrado na Figura 4b. Diante dos efeitos observados nesse exemplo, pode-se inferir que injúrias que incidem sobre o eixo embrionário são severas e resultam em plântula anormal ou em semente morta.

Na Figura 5a, observa-se que o tecido de reserva da semente foi severamente lesionado pelo dano mecânico, conforme indicado pela seta. Embora a injúria não tenha atingido diretamente o eixo embrionário, prejudicou grande parte dos cotilédones e possivelmente comprometeu a translocação de substâncias nutritivas para desenvolvimento adequado das partes da plântula (plúmula, hipocótilo e raiz primária), resultando em sua anormalidade, como ilustrado na Figura 5b.

Figura 4. Imagem radiográfica de semente de soja ‘M6410 IPRO’ (a) ilustrando a presença de injúrias mecânicas severas sobre duas regiões do eixo embrionário (nota 3.1), como indicado pelas setas, originando plântula anormal (b) após o teste de germinação.

Figura 5. Imagem radiográfica de semente de soja ‘M6410 IPRO’ (a), ilustrando a ocorrência de injúria mecânica severa sobre os cotilédones (nota 1.3), como indicado pela seta, originando plântula anormal (b) após o teste de germinação.

Na Figura 6a, observa-se que as injúrias mecânicas incidiram por toda semente e comprometeram grande parte dos cotilédones, conforme indicado pelas setas, sendo identificado uma ruptura no eixo embrionário na região da plúmula, o que junto com as demais danificações inviabilizou a germinação resultando em semente morta, como ilustrado na Figura 6b.

Figura 6. Imagem radiográfica de semente de soja ‘M6410 IPRO’ (a), caracterizada como apresentando injúrias mecânicas severas sobre o eixo embrionário e nos cotilédones (nota 3.3), como indicado pelas setas, originando semente morta (b) após o teste de germinação.

Há de se considerar, que as injúrias severas não ocorreram somente nas sementes que sofreram três e quatro impactos, uma vez que foram atribuídas notas 3 para sementes submetidas a um impacto (Tabela 7). Esses resultados indicam que a ocorrência de injúrias severas não depende necessariamente do número consecutivo de impactos provocados, mas provavelmente tenha relação com o local da semente atingido no momento em que ocorreram, um fator que dificilmente pode-se exercer algum controle (CARVALHO e NAKAGAWA, 2000).

Em pesquisa com sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), Mondo et al. (2009) ressaltaram que as injúrias provocadas com baixa pressão de impacto causam danos à semente dependendo da região atingida, destacando que os prejuízos ao potencial fisiológico foram acentuados proporcionalmente ao aumento do número de impactos. Corroborando a este estudo, Pinto et al. (2012) destacaram que o crescente número de impactos sobre as sementes de soja aumenta o percentual de danos mecânicos, cuja severidade está relacionada ao local de ocorrência (eixo embrionário e, ou cotilédones).

Diante dos resultados apresentados, verificou-se que o teste de raios X foi eficaz para analisar a morfologia interna de sementes bem como identificar a presença de injúrias mecânicas, possibilitando o estabelecimento de relações entre a imagem radiográfica com a observação de plântula normal, anormal ou semente morta, corroborando as informações

documentadas na literatura (GOMES-JUNIOR et al., 2012; FLOR et al., 2004; CICERO et al., 1998).

Para algumas sementes avaliadas, o teste de raios X pode não ter sido suficiente para estabelecer um diagnóstico preciso sobre o resultado observado após o teste de germinação. Nestes casos, foram atribuídas notas 1.1 para às injúrias não observadas nas imagens radiográficas, embora tenha sido verificado anormalidade de plântula ou semente morta. Assim, pode-se justificar, em parte, o número de plântulas anormais ou sementes mortas quantificadas nesta classificação para as sementes de ambos os lotes avaliados (Tabela 7).

Neste contexto, com a utilização da técnica de microtomografia computadorizada de raios X (micro-TC) foi possível esclarecer com detalhes alguns desses casos específicos. Embora as sementes utilizadas para as análises de micro-TC não tenham sido as mesmas radiografadas em função do número de impactos, os exemplos ilustrados por meio das imagens tomográficas (transaxial, coronal e sagital) foram pertinentes para o estudo e compreensão do efeito das injúrias mecânicas.

A seguir, serão apresentados dois exemplos de sementes com injúrias mecânicas avaliadas por meio das técnicas de raios X e micro-TC, com as respectivas indicações dos danos observados e o resultado após o teste de germinação.

Na Figura 7a, conforme indicado pelas setas, verifica-se na imagem radiográfica a incidência de injúria mecânica nos cotilédones, oposta ao eixo embrionário, e que pode ser considerada como não severa (nota 2), caracterizando-se por uma pequena trinca que aparentemente não oferece riscos para germinação. Nesta mesma imagem, verifica-se uma injúria pouco evidente que incidiu sobre o eixo embrionário (seta e asterisco) e que poderia gerar dúvidas quanto a sua ocorrência, influenciando o correto diagnóstico. Por outro lado, ao analisar a imagem tomográfica transaxial (Figura 7b), observa-se a presença de trincas no eixo embrionário na região do hipocótilo (1 e 2), além de uma trinca nos cotilédones próxima ao hilo (3) e outra oposta ao eixo embrionário (4), como indicado pelas setas. Nas imagens coronal (Figura 7c) e sagital (Figura 7d), verifica-se também a ocorrência de injúria mecânica próxima ao eixo embrionário (5), no tegumento (6) e nos cotilédones (7 e 8). Observou-se, por meio deste exemplo, que a técnica de micro-TC agregou informações que permitiram um diagnóstico preciso sobre o resultado observado após o teste de germinação (Figura 7e).

Figura 7. Imagens radiográfica (a) de semente de soja ‘M6410 IPRO’ indicando injúria mecânica no eixo embrionário (seta e asterisco) e nos cotilédones (seta), tomográfica transaxial (b) com a presença de trincas no eixo embrionário (1 e 2) e nos cotilédones (3 e 4), tomográfica coronal evidenciando injúria próxima ao eixo embrionário (5), no tegumento (6) e nos cotilédones (7), tomográfica sagital ilustrando a presença de fissura nos cotilédones (8) e semente morta (e) após o teste de germinação.

Na Figura 8a, não foi possível identificar a incidência de injúria mecânica severa na imagem radiográfica que justifique a observação de uma plântula anormal após o teste de germinação (Figura 8e). Entretanto, a partir da análise da imagem tomográfica transaxial (Figura 8b), pôde-se realizar um diagnóstico conclusivo por meio da identificação de uma ruptura (dano de efeito imediato) no eixo embrionário, conforme indicado pela seta, o que resultou no desenvolvimento parcial do hipocótilo e na ausência de raiz primária. Nas imagens coronal (Figura 8c) e sagital (Figura 8d) não foram identificadas injúrias mecânicas.

Dessa forma, a análise de imagens utilizando a micro-TC foi eficaz para estudar detalhadamente a morfologia interna das sementes de soja, auxiliando na identificação de injúrias não observadas no teste de raios X. A eficácia da técnica de micro-TC também foi

observada por outros autores em estudos com sementes de soja e milho (GOMES-JUNIOR et al., 2019; CAPELARO, 2017; GOMES-JUNIOR et al., 2014).

Figura 8. Imagens radiográfica de semente de soja ‘M6410 IPRO’ onde não identificou-se injúrias mecânicas (a), tomográfica transaxial com a presença de uma ruptura no eixo embrionário (injúria severa) indicado pela seta (b), tomográficas coronal (c) e sagital (d) onde a presença de injúrias mecânicas não foi observada e plântula anormal (e) após o teste de germinação.

4.3. Avaliação do potencial fisiológico

Os resultados observados para as sementes provenientes do lote 1, na primeira época experimental, encontram-se expressos nas Tabelas 9, 10 e 11. Para todas as variáveis estudadas, verificou-se diferenças significativas dos tratamentos químicos e dos impactos, sendo observado efeitos simples nos testes de germinação, emergência de plântulas (Tabela 9) e na análise computadorizada de imagens de plântulas (Tabela 11). Para os testes de primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado ocorreram efeitos de interação (Tabela 10).

Para o teste de germinação (Tabela 9), observou-se que os tratamentos químicos comprometeram o desempenho fisiológico das sementes em relação a testemunha, independentemente das combinações de produtos. Efeitos similares foram observados no teste de emergência de plântulas que detectou desempenho inferior das sementes tratadas em relação a testemunha, sendo verificado que o tratamento 1 (micronutrientes) foi menos prejudicial, ao contrário dos tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas), que reduziram de forma mais acentuada o vigor das sementes.

Tabela 9. Valores médios obtidos nos testes de germinação (G), emergência de plântulas (EP), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA) e teor de água após envelhecimento acelerado (TA-EA), determinados nas sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na primeira época experimental, após serem submetidas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	G	EP	PCG	EA	TA-EA
		----- % -----			
Trat. Sem		Primeira época – Lote 1			
T0*	91 a ¹	87 a ¹	86 ²	80 ²	26,4
T1	85 b	83 b	78	67	27,3
T2	87 b	80 c	79	72	27,2
T3	84 b	80 c	77	68	27,9
T4	85 b	78 c	75	62	26,7
Impactos					
0	91 a ¹	90 a ¹	86 ²	82 ²	27,1
1	87 b	84 b	81	72	27,6
2	87 b	80 c	78	71	26,9
3	87 b	77 d	77	63	27,6
4	81 c	77 d	74	68	26,1
CV%	5,8	5,9	6,6	7,4	-

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

² Interação (tratamentos de sementes x impactos)

Em relação ao efeito dos impactos (Tabela 9), as sementes não expostas às injúrias apresentaram percentuais de germinação e de emergência de plântulas (91 e 90%, respectivamente) superiores às aquelas que receberam um ou mais impactos. No teste de

germinação, de um até três impactos observou-se percentual de plântulas normais semelhante (87%), enquanto que para as sementes expostas a quatro impactos verificou-se desempenho inferior aos demais tratamentos (81%). Por outro lado, no teste de emergência de plântulas as sementes que sofreram um impacto apresentaram desempenho superior àquelas submetidas aos demais impactos, ao passo que as sementes expostas a dois impactos apresentaram desempenho superior as que sofreram três e quatro impactos.

Tabela 10. Valores médios obtidos nos testes de primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado, na interação injúrias mecânicas (Número de impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na primeira época experimental.

Trat. Sem	Número de impactos				
	0	1	2	3	4
Primeira contagem de germinação (%)					
T0*	93 A a ¹	87 B a	84 B a	85 B a	82 B a
T1	85 A b	78 B a	73 B b	72 B b	77 B a
T2	85 A b	83 A a	90 A a	76 B b	71 B b
T3	86 A b	79 B a	76 B b	76 B b	70 B b
T4	81 A b	81 A a	71 B b	74 B b	72 B b
Envelhecimento acelerado (%)					
T0	85 A a ¹	84 A a	80 A a	77 B a	74 B a
T1	78 A b	68 B b	66 B b	56 C b	65 B b
T2	88 A a	68 B b	73 B a	70 B a	67 B b
T3	81 A b	72 B b	67 C b	61 C b	65 C b
T4	66 A c	68 A b	56 B c	55 B b	61 B b

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada coluna e mesma letra maiúscula dentro de cada linha, para cada avaliação, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

No teste de primeira contagem de germinação (Tabela 10), as sementes não expostas às injúrias e aquelas submetidas a três impactos apresentaram menor vigor quando foram tratadas, independentemente das combinações de produtos. Por outro lado, para as sementes que receberam um impacto não verificou-se diferenças significativas dos tratamentos químicos. Observou-se que as sementes expostas a dois impactos tiveram o seu vigor reduzido pelos tratamentos 1 (micronutrientes), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas) em relação a testemunha. Já para as sementes submetidas a quatro impactos estes efeitos negativos foram ocasionados pelos

tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas). De modo geral, houve prejuízos das injúrias mecânicas a rápida germinação, o que ocorreu associado ao efeito negativo da maioria dos tratamentos químicos a partir de dois impactos. Contudo, não foi observado para esta avaliação uma determinada mistura de produtos como a mais danosa para o vigor das sementes.

No teste de envelhecimento acelerado (Tabela 10), as sementes não expostas às injúrias e àquelas submetidas a dois impactos tiveram o vigor prejudicado pelos tratamentos 1 (micronutrientes), 3 (inseticidas) e tratamento 4 (fungicidas e inseticidas) em relação a testemunha, sendo verificado para as sementes do tratamento 4 o pior desempenho. Quando sofreram três impactos, as sementes oriundas destes mesmos tratamentos químicos apresentaram desempenho inferior ao observado para a testemunha. Por outro lado, observou-se que as sementes expostas a um e quatro impactos apresentaram menor desempenho quando foram tratadas, o que ocorreu independentemente das combinações de produtos. De modo geral, o teste de envelhecimento acelerado detectou redução no vigor das sementes expostas a um ou mais impactos comparado àquelas que não sofreram injúrias, sendo que este efeito negativo ocorreu juntamente com o verificado para a maioria dos tratamentos químicos.

Na segunda época experimental, para as sementes do lote 1 (Tabela 11), observou-se efeito simples dos impactos e tratamentos químicos no teste de emergência de plântulas e efeitos de interação nos testes de germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado. No teste de emergência de plantas, as sementes tiveram menor desempenho quando foram tratadas, sendo verificado melhores resultados para os tratamentos 1 (micronutrientes) e 2 (fungicidas) em relação aos tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) (72 e 76%, respectivamente). Quanto ao efeito das injúrias, foi observado que as sementes expostas a dois até quatro impactos apresentaram desempenho inferior às sementes da testemunha e àquelas submetidas apenas um impacto.

No teste de germinação (Tabela 12), verificou-se que as sementes não expostas às injúrias e provenientes do tratamento 4 (fungicidas e inseticidas) apresentaram desempenho inferior a testemunha. Para àquelas expostas a um impacto, este efeito negativo foi ocasionado pelos tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas). Por outro lado, observou-se para as sementes expostas a dois impactos menor desempenho quando foram tratadas, verificando para os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) melhores resultados em relação aos tratamentos 1 (micronutrientes) e 2 (fungicidas). Já para as sementes que receberam três impactos foi observado que os tratamentos 1 (micronutrientes), 3

(inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) comprometeram a germinação em relação a testemunha. Para as sementes submetidas a quatro impactos, verificou-se que este efeito nocivo foi ocasionado apenas pelo tratamento 3 (inseticidas).

De modo geral, pode-se destacar que a presença dos inseticidas na mistura de produtos (tratamento 3) foi determinante para redução no desempenho das sementes mais danificadas. Além disso, quando associados aos fungicidas (tratamento 4), este efeito prejudicial também foi verificado para as sementes não expostas às injúrias, que tiveram a germinação reduzida de 93% (testemunha) para 80% (tratamento 4) (Tabela 12).

Tabela 11. Valores médios obtidos nos testes de germinação (G), emergência de plântulas (EP), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA) e teor de água após envelhecimento acelerado (TA-EA), determinados em sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na segunda época experimental, após serem expostas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	G	EP	PCG	EA	TA-EA
	----- % -----				
Trat. Sem	Segunda época – Lote 1				
T0*	88 ²	86 a ¹	86 ²	82 ²	28,3
T1	83	80 b	81	68	29,0
T2	80	80 b	79	74	29,0
T3	81	72 c	78	66	28,4
T4	82	76 c	77	59	28,3
Impactos					
0	92 ²	83 a ¹	90 ²	73 ²	28,8
1	86	83 a	82	74	28,4
2	79	77 b	75	68	28,7
3	82	74 b	79	62	29,2
4	81	74 b	78	62	27,9
CV%	5,6	6,8	6,5	10,7	-

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

² Interação (tratamentos de sementes x impactos)

Para o teste de primeira contagem de germinação (Tabela 12) verificou-se comportamento similar dos resultados observados para os tratamentos químicos com àqueles apresentados anteriormente no teste de germinação, com exceção das sementes expostas a dois

impactos, que tiveram o vigor reduzido quando foram tratadas independentemente das combinações de produtos. O teste também detectou efeitos prejudiciais de determinados tratamentos químicos juntamente com o observado para as injúrias mecânicas, como observado para as sementes expostas a quatro impactos e provenientes do tratamento 3 (inseticidas) (68%). Assim como observado no teste de germinação, o tratamento com fungicidas e inseticidas (tratamento 4) foi muito tóxico para as sementes que não sofreram impactos, comprometendo drasticamente a sua rápida germinação (76%) comparado a testemunha (91%) (Tabela 12).

Tabela 12. Valores médios obtidos nos testes de germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado, na interação injúrias mecânicas (Número de impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na segunda época experimental.

Trat. Sem	Número de impactos				
	0	1	2	3	4
Germinação (%)					
T0*	93 A a ¹	88 A a	90 A a	88 A a	80 B a
T1	94 A a	91 A a	74 C c	79 B b	83 B a
T2	91 A a	78 B b	75 B c	85 A a	79 B a
T3	92 A a	83 B b	81 B b	80 B b	71 C b
T4	80 A b	84 B b	80 A b	78 A b	84 A a
Primeira contagem de germinação (%)					
T0	91 A a ¹	85 A a	88 A a	85 A a	76 B a
T1	93 A a	90 A a	70 C b	76 B b	81 B a
T2	88 A a	73 B b	76 B b	83 A a	78 B a
T3	90 A a	78 B b	78 B b	77 B b	68 C b
T4	76 A b	80 A b	75 A b	74 A b	79 A a
Envelhecimento acelerado (%)					
T0	88 A a ¹	85 A a	82 A a	70 B a	82 A a
T1	77 A b	72 A b	73 A a	56 B b	48 B d
T2	77 A b	74 A b	73 A a	66 A a	69 A b
T3	72 A c	75 A b	60 B b	66 B a	61 B c
T4	64 A c	67 A b	54 B b	53 B b	57 B c

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada coluna e mesma letra maiúscula dentro de cada linha, para cada avaliação, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

No teste de envelhecimento acelerado (Tabela 12), as sementes que não sofreram impactos apresentaram menor desempenho quando foram tratadas, destacando os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) como os mais fitotóxicos. Por outro lado, para as sementes que receberam um impacto estes efeitos negativos foram observados independentemente das combinações de produtos. Para as sementes expostas a dois impactos, verificou-se que apenas os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) comprometeram o seu desempenho em relação a testemunha. Já para àquelas submetidas a três impactos, estes efeitos negativos foram ocasionados pelos tratamentos 1 (micronutrientes) e 4 (inseticidas e fungicidas). Observou-se também, que as sementes expostas a quatro impactos apresentaram menor desempenho quando foram tratadas, destacando o tratamento 1 (micronutrientes) como o mais prejudicial (48%) em relação aos demais tratamentos.

Observou-se ainda no teste de envelhecimento acelerado (Tabela 12), para algumas combinações de produtos e impactos, que as injúrias comprometeram a viabilidade das sementes juntamente com os tratamentos químicos, com destaque para as sementes expostas a quatro impactos, onde este comportamento foi mais evidente. Além disso, também foi verificado que entre os tratamentos químicos àqueles contendo inseticidas (tratamentos 3 e 4) foram os mais fitotóxicos, mesmo para as sementes que não sofreram impactos (Tabela 12).

Cabe salientar que a germinação e a emergência de plântulas são fatores importantes relacionados com o estabelecimento rápido e uniforme das plantas no campo e com a adequada formação do estande inicial. Nesse sentido, espera-se do tratamento químico efeitos positivos sobre o potencial fisiológico das sementes de soja, como documentado na literatura (CONCEIÇÃO et al., 2014; HENNING et al., 2010; MERTZ et al., 2009), o que não ocorreu na presente pesquisa para as sementes do lote 1 nas duas épocas de testes (Tabelas 9, 10, 11 e 12). O problema da fitotoxicidade ocasionada pela mistura de determinados ingredientes ativos também foi relatado por Pereira et al. (2018), que verificaram para as combinações de fungicidas (carbendazim e thiram) com inseticidas (imidaclopride e tiocarbe) efeitos negativos sobre o desempenho das sementes de soja.

Há poucos relatos do efeito negativo do tratamento com micronutrientes (cobalto e molibdênio) associado aos recobrimentos (polímero e pó secante). Bays et al. (2007), destacaram que a aplicação conjunta de micronutrientes (cobalto e molibdênio) e polímero não prejudicou o desempenho fisiológico das sementes de soja, exceto para dosagens acima de 2 mL kg⁻¹, o que não ocorreu na presente pesquisa (Tabela 2). Em outro estudo, Abati et al. (2018) verificaram que o uso de pó secante sem a mistura com outros produtos no tratamento das sementes comprometeu a rápida germinação. Nesse sentido, conforme exposto na literatura,

existe a possibilidade do pó secante utilizado no tratamento das sementes ter contribuído negativamente com o menor potencial fisiológico observado para o lote 1 em ambas as épocas de testes (Tabelas 9, 10, 11 e 12).

O efeito prejudicial das injúrias mecânicas observado para as sementes do lote 1, em ambas as épocas, foi semelhante ao reportado por outros autores (MOREANO et al., 2018; NEVES et al., 2016; MARYAM e OSKOUIE, 2011). Além disso, conforme os resultados apresentados anteriormente na etapa de caracterização das injúrias (Tabelas 6 e 7), foi verificado maior ocorrência de sementes com danos no eixo embrionário e não viáveis em função do aumento dos impactos, o que foi confirmado nos testes de germinação e de vigor (Tabelas 9, 10, 11 e 12). Por meio da técnica de raios X, FORTI et al. (2008) constataram efeitos imediatos das injúrias mecânicas sobre a viabilidade das sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Em outro estudo, Lopes et al. (2011) verificaram redução significativa nos percentuais de germinação, emergência de plântulas e primeira contagem de germinação ocasionada pelo aumento das injúrias mecânicas em sementes de soja.

Nas avaliações realizadas com o Vigor-S (Tabela 13), para as sementes do lote 1 na primeira época experimental, verifica-se que ocorreu efeito significativo dos tratamentos de sementes e dos impactos para todos os parâmetros avaliados, além de correspondência entre boa parte dos resultados observados. De modo geral, a maioria dos parâmetros detectaram menor desempenho das sementes tratadas em relação a testemunha, o que não foi confirmado apenas no índice de uniformidade para as sementes do tratamento 2 (fungicidas). Quanto aos índices de vigor, de crescimento, comprimentos de raiz e de plântula não houve diferenças significativas entre os tratamentos 1 (micronutrientes) e 2 (fungicidas). Além disso, a presença dos inseticidas (imidaclopride e tiocarbe) na mistura de produtos (tratamento 3) mostrou-se muito danosa para o vigor das sementes, principalmente, quando associados aos fungicidas (carbendazim e thiram) (tratamento 4), que neste caso, resultaram no pior desempenho das plântulas. Em relação ao efeito das injúrias verificou-se que as sementes originaram plântulas de menor vigor quando foram danificadas, o que ocorreu de forma semelhante para todos os parâmetros avaliados independentemente do número de impactos.

Na segunda época experimental (Tabela 14), verificou-se efeitos de interação dos impactos e tratamentos químicos de sementes para maioria dos parâmetros da análise computadorizada de imagens de plântulas.

Observou-se que o índice de uniformidade (Tabela 14) não detectou diferenças entre o número de impactos, no entanto, foi um parâmetro sensível para detectar os efeitos negativos

dos tratamentos químicos. Verificou-se que os tratamentos 2 (micronutrientes), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) reduziram o desempenho das sementes em relação a testemunha. Como destaque, a mistura de produtos contendo inseticidas (tratamento 3) foi muito prejudicial para o vigor das sementes, principalmente quando associados aos fungicidas (tratamento 4), que ocasionaram a redução mais acentuada na uniformidade de desenvolvimento das plântulas. Vale ressaltar, que os resultados observados para o índice de uniformidade apresentaram estreita relação com o teste de emergência de plântulas (Tabela 11), onde também foram constatados os piores desempenhos para as sementes dos tratamentos contendo inseticidas (tratamentos 3 e 4). Em estudo com sementes de soja utilizando ingredientes ativos similares à presente pesquisa, DAN et al. (2011) também verificaram redução no vigor das sementes após o tratamento químico com inseticidas (imidaclopride e tiocarbe).

Tabela 13. Valores médios obtidos nos índices de vigor (IV), de crescimento (IC), de uniformidade de desenvolvimento (IU) e nos comprimentos de raiz (CR) e de plântula (CP), na análise computadorizada de imagens de plântulas, realizada com sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na primeira época experimental, após serem expostas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	IV	IC	IU	CR	CP
	-----	Índices -----	-----	----- cm -----	-----
Trat. Sem	Primeira época – Lote 1				
T0*	630 a ¹	584 a	739 a	5,4 a	8,4 a
T1	543 b	506 b	629 b	4,7 b	7,3 b
T2	573 b	522 b	693 a	4,9 b	7,5 b
T3	469 c	400 c	631 b	3,7 c	5,9 c
T4	362 d	285 d	540 c	2,6 d	4,4 d
Impactos					
0	573 a	516 a	704 a	4,7 a	7,5 a
1	507 b	445 b	654 b	4,1 b	6,6 b
2	483 b	420 b	629 b	3,9 b	6,2 b
3	512 b	460 b	631 b	4,3 b	6,6 b
4	503 b	456 b	614 b	4,3 b	6,5 b
CV%	13,3	15,8	11,8	16,7	14,7

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

Tabela 14. Valores médios obtidos nos índices de vigor (IV), de crescimento (IC), de uniformidade de desenvolvimento (IU), comprimentos de raiz (CR) e de plântula (CP), na análise computadorizada de imagens de plântulas, realizada com sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na segunda época experimental, após serem expostas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	IV	IC	IU	CR	CP
	-----	Índices -----		----- cm -----	
Trat. Sem	Segunda época – Lote 1				
T0*	584 ²	522 ²	719 a ¹	4,8 ²	7,7 ²
T1	547	466	690 a	4,1	6,9
T2	482	432	645 b	4,0	6,3
T3	403	309	585 c	2,7	4,9
T4	293	214	484 d	1,8	3,5
Impactos					
0	522 ²	452 ²	657 a ¹	4,1 ²	6,9 ²
1	445	371	634 a	3,3	5,6
2	462	367	604 a	3,4	5,7
3	459	392	638 a	3,5	6,1
4	498	428	590 a	3,7	6,3
CV%	13,6	15,5	13,1	16,0	15,7

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

² Interação (tratamentos de sementes x impactos)

Para os índices de vigor, de crescimento, comprimentos de raiz e de plântula (Tabela 15) observou-se que as sementes não expostas às injúrias tiveram o vigor comprometido pelos tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (inseticidas e fungicidas) em relação a testemunha, sendo verificado para as sementes do tratamento 4 o pior desempenho. Quando sofreram apenas um impacto, para estes mesmos tratamentos químicos as sementes apresentaram desempenho inferior a testemunha, destacando os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (inseticidas e fungicidas) como os mais prejudiciais.

Observou-se que as sementes submetidas a dois impactos (Tabela 15) apresentaram menor vigor quando foram tratadas, o que ocorreu em todos os parâmetros avaliados. Para os índices de vigor, de crescimento e comprimento de plântula verificou-se que as sementes provenientes dos tratamentos 1 (micronutrientes), 2 (fungicidas) e 3 (inseticidas) apresentaram melhores resultados comparado as sementes do tratamento 4 (fungicidas e inseticidas). Por

outro lado, em relação ao comprimento de raiz observou-se que os tratamentos 1 (micronutrientes) e 2 (fungicidas) foram menos nocivos para vigor das sementes comparados aos tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas), sendo verificado novamente para as sementes do tratamento 4 o pior desempenho.

Tabela 15. Valores médios obtidos na análise computadorizada de imagens de plântulas para os índices de vigor e de crescimento, comprimentos de raiz e de plântula, na interação injúrias mecânicas (Número de impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 1, na segunda época experimental.

Trat. Sem	Número de impactos				
	0	1	2	3	4
Índice de vigor					
T0*	652 A a ¹	606 A a	553 A a	584 A a	548 A a
T1	603 A a	595 A a	462 B b	519 B a	519 B a
T2	475 A b	470 A b	472 A b	486 A a	566 A a
T3	472 A b	392 A c	416 A b	375 A b	321 A b
T4	298 A c	337 A c	289 A c	352 A b	269 A b
Índice de crescimento					
T0	610 A a ¹	543 A a	490 A a	519 A a	500 A a
T1	541 A a	545 A a	396 B b	445 B b	446 B a
T2	408 B b	405 B b	397 B b	416 B b	515 A a
T3	394 A b	304 B c	334 A b	287 B c	249 B b
T4	209 A c	268 A c	218 A c	275 A c	200 A b
Comprimento de raiz (cm)					
T0	5,7 A a ¹	5,0 A a	4,5 A a	4,8 A a	4,7 B a
T1	5,0 A a	5,1 A a	3,7 B b	4,0 B b	3,9 B a
T2	3,7 A b	3,7 A b	3,6 A b	3,8 A b	4,5 A a
T3	3,6 A b	2,7 B c	3,0 A c	2,6 B c	2,2 B b
T4	1,8 A c	2,4 A c	1,9 A d	2,5 A c	1,7 A b
Comprimento de plântula (cm)					
T0	8,8 A a ¹	8,0 A a	7,2 A a	7,7 A a	7,2 A a
T1	8,1 A a	7,8 A a	5,8 B b	6,7 B a	6,6 B a
T2	6,2 A b	6,2 A b	6,0 A b	6,2 A a	7,5 A a
T3	6,1 A b	4,8 B c	5,1 B b	4,6 B b	3,8 B b
T4	3,5 A c	4,2 A c	3,4 A c	4,4 A b	3,1 A b

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada coluna e mesma letra maiúscula dentro de cada linha, para cada parâmetro avaliado, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

Para as sementes submetidas a três impactos (Tabela 15), observou-se que os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) foram os únicos que comprometeram o índice de vigor e o comprimento de plântula em relação a testemunha. Neste mesmo nível de injúrias, também foi observado para o índice de crescimento e comprimento de raiz menor vigor das sementes tratadas, sendo que os tratamentos contendo inseticidas (tratamentos 3 e 4) ocasionaram os efeitos negativos mais acentuados. Para as sementes expostas a quatro impactos verificou-se que apenas os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) provocaram redução no vigor das sementes quando comparados a testemunha.

Embora a análise computadorizada de imagens de plântulas tenha sido menos sensível para detectar diferenças entre o número de impactos, os resultados do lote 1 obtidos em ambas as épocas foram coerentes com aqueles apresentados anteriormente para os demais testes de vigor (Tabelas 9, 10, 11 e 12), verificando-se menor desempenho das sementes expostas ao maior número de impactos em comparação com a testemunha. Ressalta-se, também, que esses resultados confirmam os observados na caracterização das injúrias, especialmente quanto ao teste de raios X (Tabela 7), considerando que no programa Vigor-S constatou-se para as sementes mais danificadas prejuízos ao desenvolvimento das plântulas e de suas partes, o que provavelmente está relacionado com a maior ocorrência de danos no eixo embrionário em função do aumento dos impactos.

Em ambas as épocas de testes, para o lote 1, a análise computadorizada de imagens de plântulas foi eficaz para detectar o efeito negativo dos tratamentos químicos, especialmente em relação àqueles contendo inseticidas (imidaclopride e tiocarbe) (tratamentos 3 e 4). Camilo et al. (2017) também verificaram a mistura de inseticidas (imidaclopride e tiocarbe) com fungicidas (carbendazim e thiram) foi prejudicial para o potencial fisiológico das sementes de soja antes e após o armazenamento. Em outro estudo, DAN et al. (2012) constataram efeito prejudicial do tratamento com inseticidas (imidaclopride e tiocarbe) sobre vigor de sementes de girassol após determinado período de armazenamento.

De acordo com Taylor e Salanenka (2012), determinados compostos presentes nos produtos aplicados sobre as sementes têm potencial para difundir-se através dos seus tecidos, provocando fitotoxicidade antes mesmo da emissão da raiz primária. Segundo França-Neto et al. (2016), o efeito fitotóxico do tratamento químico de sementes de soja provoca sintomas característicos no vigor das plântulas, com destaque para o engrossamento de hipocótilo e redução no comprimento da raiz primária.

Para o lote 1, verifica-se nos resultados da primeira época (Tabela 13) que os comprimentos de raiz e de plântula foram parâmetros muito sensíveis para detectar o efeito negativo dos tratamentos químicos. Observa-se que as sementes do tratamento 4 (fungicidas e inseticidas) originaram plântulas com comprimento total de 4,4 cm e comprimento de raiz de 2,6 cm, enquanto que para testemunha foi observado 8,4 cm e 5,4 cm respectivamente, podendo-se considerar uma redução expressiva do tamanho da plântula (cerca de 48%) e da raiz (cerca de 52%). Na segunda época (Tabela 15), as sementes não expostas às injúrias e provenientes do tratamento 4 (fungicidas e inseticidas) originaram plântulas com comprimento total de 3,5 cm e comprimento de raiz de 1,8 cm, enquanto que para testemunha foi observado 8,8 cm e 5,7 cm respectivamente, confirmando uma redução drástica no tamanho da plântula (cerca de 60%) e da raiz (cerca de 68%) ocasionada pela fitotoxicidade do tratamento.

Alguns autores destacaram que o elevado volume de calda foi determinante para redução do potencial fisiológico de sementes de soja (SANTOS et al., 2018) enquanto que outros utilizando menor volume de produtos observaram melhores resultados (BORK et al., 2018). Em um estudo realizado por Segalin et al. (2013), estes efeitos negativos não foram confirmados sobre o vigor das sementes de soja. Por outro lado, Brzezinski et al. (2017) enfatizaram que sementes de menor vigor quando expostas a volumes crescentes de calda, estão mais sujeitas a perda de desempenho. Cabe destacar que as sementes do lote 1 são de menor vigor (Tabela 4) e que os tratamentos identificados como mais fitotóxicos (tratamentos 3 e 4) foram constituídos com os maiores volumes de calda (Tabela 2), o que pode ter contribuído negativamente com o menor vigor das sementes observado nos parâmetros do software em ambas as épocas de testes (Tabelas 13, 14 e 15).

Na Tabela 16, avaliando-se os resultados da primeira época para as sementes do lote 2, observa-se que não ocorreram diferenças dos tratamentos químicos nos testes de germinação e primeira contagem de germinação. Por outro lado, no teste de emergência de plântulas verificou-se que os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) foram prejudiciais para desempenho das sementes em relação a testemunha, corroborando ao exposto por outros autores (FERREIRA et al., 2016; DAN et al., 2011).

Com relação ao efeito das injúrias mecânicas (Tabela 16), observa-se nos testes de germinação, emergência de plântulas e primeira contagem de germinação que as sementes expostas a dois, três e quatro impactos apresentaram desempenho inferior a testemunha e as sementes submetidas a um impacto, sendo verificado o pior desempenho para àquelas expostas a quatro impactos.

Tabela 16. Valores médios obtidos nos testes de germinação (G), emergência de plântulas (EP), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA) e teor de água após envelhecimento acelerado (TA-EA), determinados em sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, na primeira época experimental, após serem submetidas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	G	EP	PCG	EA	TA-EA
		----- % -----			
Trat. Sem	Primeira época – Lote 2				
T0*	84 a ¹	82 a ¹	79 a ¹	71 ²	28,5
T1	84 a	79 a	78 a	68	28,3
T2	85 a	81 a	78 a	65	29,1
T3	81 a	72 c	75 a	58	27,4
T4	84 a	76 b	75 a	56	28,9
Impactos					
0	90 a ¹	85 a ¹	83 a ¹	77 ²	27,6
1	88 a	83 a	82 a	66	28,9
2	85 b	79 b	79 b	61	28,7
3	82 b	75 c	75 c	62	28,6
4	73 c	68 d	66 d	52	28,4
CV%	6,6	7,6	7,6	9,2	-

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

² Interação (tratamentos de sementes x impactos)

Quanto aos resultados observados no teste de envelhecimento acelerado (Tabela 17), as diferenças significativas dos tratamentos químicos sobre o vigor das sementes ocorreram, na maioria dos casos, associadas com o efeito negativo dos impactos. Observou-se que as sementes não expostas às injúrias e provenientes do tratamento 4 (fungicidas e inseticidas) apresentaram desempenho inferior a testemunha. Para as sementes que sofreram um e três impactos, este efeito negativo foi ocasionado pelos tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas). Já para as sementes que receberam dois impactos, observou-se que apenas os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) causaram redução no percentual de plântulas normais comparado a testemunha. Verificou-se que as sementes submetidas a quatro impactos tiveram o desempenho comprometido quando foram tratadas, sendo observado para os tratamentos 1 (micronutrientes) e 2 (fungicidas) melhores resultados comparado aos tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas).

Tabela 17. Valores médios obtidos nos testes de envelhecimento acelerado na interação injúrias mecânicas (Número de impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, na primeira época experimental.

Trat. Sem	Número de impactos				
	0	1	2	3	4
	Envelhecimento acelerado (%)				
T0*	84 A a ¹	71 B a	67 B a	69 B a	66 B a
T1	77 A a	73 A a	69 A a	72 A a	55 B b
T2	80 A a	65 B b	69 B a	59 C b	51 C b
T3	77 A a	57 B b	54 B b	57 B b	47 C c
T4	69 A b	65 A b	49 B b	53 B b	44 B c

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante ¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada coluna e mesma letra maiúscula dentro de cada linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

Na segunda época experimental, no lote 2 (Tabela 18), foi observado efeitos significativos dos tratamentos químicos nos testes de germinação, emergência de plântulas e primeira contagem de germinação. Para os referidos testes, observou-se que os tratamentos 1 (micronutrientes), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) causaram redução no potencial fisiológico das sementes em relação a testemunha. Neste caso, as sementes do tratamento 2 (fungicidas) tiveram desempenho semelhante àquelas que não foram tratadas, corroborando um estudo realizado por Pereira et al. (2011) onde verificaram que o tratamento com fungicidas (carbendazim e thiram) associados ao recobrimento com polímero não prejudicou o desempenho das sementes de soja.

Quanto ao efeito dos impactos (Tabela 18), observa-se que as sementes não expostas as injúrias apresentaram valores mais elevados de germinação, emergência de plântulas e primeira contagem de germinação (91, 87 e 88%, respectivamente) em relação àquelas que sofreram um ou mais impactos. No teste de germinação e primeira contagem de germinação, as sementes submetidas a um e dois impactos apresentaram melhores resultados comparado àquelas que sofreram três e quatro impactos, sendo este último, o que mais comprometeu o potencial fisiológico. Por outro lado, no teste de emergência de plântulas, as sementes expostas a um impacto tiveram melhor desempenho em relação àquelas que receberam dois, três e quatro impactos, sendo observado novamente o pior desempenho para as sementes submetidas a quatro impactos (68%).

Tabela 18. Valores médios obtidos nos testes de germinação (G), emergência de plântulas (EP), primeira contagem de germinação (PCG), envelhecimento acelerado (EA) e teor de água após envelhecimento acelerado (TA-EA), determinados em sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, na segunda época experimental, após serem submetidas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	G	EP	PCG	EA	TA-EA
		----- % -----			
Trat. Sem	Segunda época – Lote 2				
T0*	85 a ¹	80 a ¹	82 a ¹	71 ²	28,3
T1	82 b	77 b	78 b	66	29,0
T2	85 a	79 a	81 a	62	29,0
T3	82 b	75 b	79 b	65	28,4
T4	80 b	73 b	77 b	60	28,3
Impactos					
0	91 a ¹	87 a ¹	88 a ¹	79 ²	28,8
1	86 b	81 b	83 b	63	28,4
2	83 b	76 c	80 b	64	28,7
3	79 c	72 c	75 c	63	29,2
4	75 d	68 d	70 d	59	27,9
CV%	5,5	8,2	6,6	10,4	-

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

² Interação (tratamentos de sementes x impactos)

No teste de envelhecimento acelerado (Tabela 19), observou-se que as sementes não expostas às injúrias tiveram o vigor reduzido pelos tratamentos 1 (micronutrientes), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) em relação a testemunha. Por outro lado, não verificou-se diferenças dos tratamentos químicos para as sementes expostas a um e três impactos. Observou-se que as sementes expostas a dois impactos tiveram o seu vigor comprometido pelos tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) em comparação com a testemunha. Para as sementes expostas a quatro impactos estes efeitos negativos foram ocasionados pelos tratamentos 1 (micronutrientes), 2 (fungicidas) e 4 (fungicidas e inseticidas).

De modo geral, o teste de envelhecimento acelerado detectou para os consecutivos impactos redução da viabilidade das sementes, sendo verificado, em poucos casos, associação destes efeitos negativos com os observados para tratamentos químicos, comportamento que foi evidente na primeira época de testes (Tabela 17). Além disso, o teste indicou que sementes mais

danificadas estão mais propensas a perda de vigor após o tratamento com determinadas combinações de produtos, sendo que os efeitos negativos da fitotoxicidade ocorreram mesmo para as sementes não expostas às injúrias (Tabela 19).

Tabela 19. Valores médios obtidos no teste de envelhecimento acelerado na interação injúrias mecânicas (Número de impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, na segunda época experimental.

Trat. Sem	Número de impactos				
	0	1	2	3	4
	Envelhecimento acelerado (%)				
T0*	91 A a ¹	67 B a	69 B a	70 B a	68 B a
T1	76 A b	64 B a	68 B a	65 B a	50 C b
T2	86 A a	61 B a	67 B a	55 B a	58 B b
T3	77 A b	67 B a	59 B b	61 B a	63 B a
T4	68 A b	60 A a	57 A b	63 A a	58 A b

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada coluna e mesma letra maiúscula dentro de cada linha, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

O efeito prejudicial das injúrias mecânicas observados para as sementes do lote 2 corroboram ao observado por outros autores em estudos com sementes de soja (PINTO et al., 2012) e de outras espécies como *Crotalaria juncea* (ARRUDA et al., 2016), amendoim (CARREGA et al., 2014), feijão comum (MONDO et al., 2009) e milho (CICERO e BANZATTO JUNIOR, 2003). Ressalta-se, também, que o efeito dos impactos (Tabelas 16, 17, 18 e 19) confirmam os resultados apresentados anteriormente na etapa de caracterização das injúrias (Tabelas 6 e 7), onde constatou-se maior ocorrência de danos severos e consequente perda de viabilidade em função do aumento dos impactos.

Na Tabela 20, encontram-se os resultados da análise computadorizada de imagens de plântulas obtidos para as sementes do lote 2, na primeira época experimental. Verificou-se para os índices de vigor, de crescimento, de uniformidade, comprimentos de raiz e de plântula que o tratamento com micronutrientes (cobalto e molibdênio) (tratamento 1) não prejudicou o vigor das sementes, que originaram plântulas com desempenho semelhante ao observado para a testemunha. De maneira geral, os demais tratamentos químicos exerceram influência negativa no vigor das sementes e os efeitos observados sobre o desempenho das plântulas ocorreram de acordo com cada parâmetro da análise.

Tabela 20. Valores médios obtidos nos índices de vigor (IV), de crescimento (IC), de uniformidade de desenvolvimento (IU), comprimentos de raiz (CR) e de plântula (CP), na análise computadorizada de imagens de plântulas, realizada com sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, na primeira época experimental, após serem submetidas às injúrias mecânicas (Impactos) e aos tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	IV	IC	IU	CR	CP
	----- Índices -----			----- cm -----	
Trat. Sem	Primeira época – Lote 2				
T0*	678 a ¹	669 a	698 a	6,4 a	9,2 a
T1	680 a	672 a	697 a	6,4 a	9,4 a
T2	581 b	562 b	626 b	5,3 b	7,9 b
T3	531 b	497 c	613 b	4,7 c	7,0 c
T4	481 c	432 d	595 b	4,0 d	6,3 c
Impactos					
0	673 a	651 a	726 a	6,1 a	9,1 a
1	636 a	606 a	707 a	5,7 a	8,6 a
2	578 b	553 b	638 b	5,2 b	7,8 b
3	545 b	518 b	606 b	4,9 b	7,4 b
4	519 b	505 b	551 c	4,8 b	6,9 b
CV%	14,6	17,0	13,1	18,0	15,3

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

Para o índice de vigor por exemplo (Tabela 20), o tratamento 2 (fungicidas) não diferiu do tratamento 3 (inseticidas) e o pior resultado foi observado para o tratamento 4 (fungicidas e inseticidas). Já para o índice de crescimento e comprimento de raiz, o tratamento 4 (fungicidas e inseticidas) também foi o mais prejudicial para o desempenho das plântulas, contudo, o tratamento 2 (fungicidas) proporcionou melhores resultados comparado ao tratamento 3 (inseticidas). Quanto ao índice de uniformidade, observa-se que as sementes dos tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) originaram plântulas mais desuniformes independentemente das combinações de produtos. Em relação ao comprimento de plântula, o tratamento 2 (fungicidas) foi menos prejudicial em comparação com os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (inseticidas e fungicidas), que ocasionaram redução mais acentuada no tamanho das plântulas.

Quanto ao efeito das injúrias mecânicas (Tabela 20), para os índices de vigor, de crescimento, de uniformidade, comprimentos de raiz e de plântula verificou-se que as sementes expostas a dois ou mais impactos apresentaram desempenho inferior a testemunha e as sementes que sofreram um impacto. Como destaque, o índice de uniformidade foi o parâmetro mais sensível para detectar o efeito das injúrias, sendo observado que as sementes expostas a quatro impactos apresentaram o pior desempenho.

Na segunda época experimental, para o lote 2 (Tabela 21), observou-se efeitos de interação para maioria dos parâmetros avaliados, com exceção do índice de uniformidade, que detectou apenas para as sementes do tratamento 4 (inseticidas e fungicidas) o pior desempenho comparado a testemunha. Em relação ao efeito dos impactos, assim como observado na primeira época de testes (Tabela 20), o índice de uniformidade detectou para as sementes submetidas a dois, três e quatro impactos desempenho inferior àquelas que não sofreram injúrias ou que receberam apenas um impacto; novamente, as sementes expostas a quatro impactos tiveram o pior desempenho.

Na Tabela 22, observa-se para o índice de vigor e comprimento de plântula que as sementes não expostas às injúrias e provenientes dos tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) apresentaram desempenho inferior a testemunha. Para este mesmo nível de injúrias, também foi observado para o índice de crescimento e comprimento de raiz menor desempenho das sementes tratadas, sendo verificado melhores resultados para o tratamento 1 (micronutrientes) em comparação com os tratamentos 2 (fungicidas), 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas).

Para as sementes expostas a um impacto (Tabela 22), foi observado correspondência entre os resultados dos índices de vigor, de crescimento, comprimentos de raiz e de plântula. Verificou-se que apenas os tratamentos 3 (inseticidas) e tratamento 4 (inseticidas e fungicidas) causaram redução destes parâmetros comparados a testemunha, destacando a combinação de fungicidas com inseticidas como a mais prejudicial para o vigor das sementes (tratamento 4). Para as sementes submetidas a quatro impactos foi observado que apenas os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) provocaram redução no vigor das sementes comparado àquelas sem tratamento químico.

Quanto as sementes que foram expostas a três impactos, observou-se novamente para o índice de vigor que os tratamentos 3 (inseticidas) e 4 (fungicidas e inseticidas) comprometeram o vigor das sementes em relação a testemunha. Por outro lado, para o índice de crescimento não houve diferenças significativas entre os tratamentos, enquanto que para os comprimentos de raiz e de plântula, os tratamentos 1 (micronutrientes), 3 (inseticidas) e 4

(fungicidas e inseticidas) causaram efeitos negativos sobre o vigor das sementes comparado a testemunha. Observou-se para as sementes expostas a quatro impactos que não ocorreram diferenças entre os tratamentos químicos para todos os parâmetros avaliados (Tabela 22).

Tabela 21. Valores médios dos índices de vigor (IV), de crescimento (IC), de uniformidade de desenvolvimento (IU) e dos comprimentos de raiz (CR) e de plântula (CP), obtidos na análise computadorizada de imagens de plântulas, realizada com sementes de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, segunda época experimental, após serem submetidas a injúrias mecânicas (Impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem).

Tratamentos	IV	IC	IU	CR	CP
	-----	Índices	-----	-----	cm -----
Trat. Sem	Segunda época – Lote 2				
T0*	651 ²	609 ²	694 a ¹	5,7 ²	8,6 ²
T1	604	574	679 a	5,3	8,2
T2	638	594	684 a	5,5	8,6
T3	541	487	648 a	4,5	6,7
T4	469	412	588 b	3,8	6,1
Impactos					
0	651 ²	602 ²	744 a ¹	5,6 ²	8,7 ²
1	655	630	715 a	5,9	9,0
2	521	473	652 b	4,4	6,8
3	535	514	619 b	4,9	6,9
4	483	483	562 c	4,3	6,7
CV%	12,9	14,3	12,0	14,6	14,1

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, dentro de tratamentos de sementes e impactos, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

² Interação (tratamentos de sementes x impactos)

De modo geral, para o lote 2, observou-se com o Vigor-S que os consecutivos impactos comprometeram o vigor das sementes e o desempenho das plântulas. Além disso, o efeito da fitotoxicidade foi mais evidente para as combinações de produtos em que foram incluídos os inseticidas (imidaclopride e tiocarbe), assim como verificado para o lote 1 (Tabelas 13, 14 e 15), sendo poucos os casos em que ocorreram efeitos significativos conjuntos das injúrias e dos tratamentos químicos (Tabelas 17 e 19). Entretanto, vale ressaltar que para as duas épocas de testes os resultados observados com a análise computadorizada de imagens de plântulas foram coerentes com boa parte dos demais testes de vigor (Tabelas 16, 17, 18 e 19).

Tabela 22. Valores médios obtidos na análise computadorizada de imagens de plântulas para os índices de vigor e de crescimento, comprimentos de raiz e de plântula, na interação injúrias mecânicas (Número de impactos) e tratamentos de sementes (Trat. Sem) de soja ‘M6410 IPRO’ provenientes do lote 2, na segunda época experimental.

Trat. Sem	Número de impactos				
	0	1	2	3	4
Índice de vigor					
T0*	807 A a ¹	737 B a	553 C a	612 C a	496 C a
T1	724 A a	696 A a	566 B a	547 B a	502 B a
T2	624 A b	719 A a	623 A a	577 B a	492 B a
T3	583 A b	580 A b	480 A b	487 A b	513 A a
T4	556 A b	417 B c	431 B b	492 A b	440 B a
Índice de crescimento					
T0	806 A a ¹	662 B a	507 C a	593 C a	474 C a
T1	693 A b	739 A a	520 B a	504 B a	484 B a
T2	568 B c	694 A a	591 B a	549 B a	472 B a
T3	542 A c	518 A b	410 A b	457 A a	460 A a
T4	502 A c	354 B c	370 B b	457 A a	393 B a
Comprimento de raiz (cm)					
T0	7,7 A a ¹	6,2 B a	4,7 D a	5,6 D a	4,4 C a
T1	6,6 A b	7,0 A a	4,8 B a	4,7 B b	4,6 B a
T2	5,3 B c	6,5 A a	5,5 B a	5,1 B a	4,5 B a
T3	5,1 A c	4,9 A b	3,8 A b	4,3 A b	4,3 A a
T4	4,6 A c	3,3 B c	3,8 B b	4,3 A b	3,6 B a
Comprimento de plântula (cm)					
T0	10,9 A a ¹	9,4 B a	7,2 C a	8,3 C a	6,8 C a
T1	9,7 A a	10,4 A a	7,5 B a	7,2 B b	6,8 B a
T2	8,3 B b	9,9 A a	8,5 B a	7,8 B a	6,6 C a
T3	7,9 A b	7,4 A b	6,0 A b	6,4 A b	6,6 A a
T4	7,5 A b	5,2 B c	5,5 B b	6,6 A b	5,8 B a

* T0: sementes não tratadas (testemunha); T1: micronutrientes, polímero e pó secante; T2: fungicidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T3: inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante; T4: fungicidas, inseticidas, micronutrientes, polímero e pó secante

¹ Médias seguidas pela mesma letra minúscula dentro de cada coluna e mesma letra maiúscula dentro de cada linha, para cada parâmetro avaliado, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ($p \leq 0,05$)

Resultados contrários aos observados para o lote 2 (Tabelas 20, 21 e 22) foram verificados em outros trabalhos com misturas similares de produtos (CONCEIÇÃO et al., 2016; CONCEIÇÃO et al., 2014), no entanto, utilizando tratamentos químicos com menor volume de calda final em relação à presente pesquisa (Tabela 2), o que pode ser determinante para

comprometer o potencial fisiológico das sementes de soja antes e após o armazenamento (SANTOS et al., 2018). Observa-se também, em boa parte dos resultados, que o tratamento com micronutrientes (cobalto e molibdênio) não prejudicou o desempenho das sementes. Bays et al. (2007) verificaram que a utilização de micronutrientes (cobalto e molibdênio) até a dose de 2 mL kg⁻¹ misturado com polímero não ocasionou efeitos negativos no vigor das sementes de soja. Estes autores ainda destacaram que a mistura de fungicidas, micronutrientes (2 mL kg⁻¹) e polímero não prejudicou o potencial fisiológico das sementes, o que não foi observado na presente pesquisa para a primeira época de testes (Tabela 20).

Utilizando tratamentos similares à presente pesquisa, Brzezinski et al. (2017), verificaram que a mistura de inseticidas (imidaclopride e tiocarbe), fungicidas (carbendazim e thiram), micronutrientes (cobalto e molibdênio) e recobrimentos (polímero e pó secante) foi prejudicial para o potencial fisiológico, o que foi mais evidente para sementes de soja com menor vigor. Conforme os resultados apresentados anteriormente para o lote 1 (Tabelas 13, 14 e 15), a presença desses ingredientes ativos na mistura de produtos foi muito danosa para o vigor das sementes. Para as sementes do lote 2, caracterizadas como de maior potencial fisiológico (Tabela 4), esse comportamento também ocorreu para maioria dos parâmetros avaliados com o Vigor-S em ambas as épocas de testes (Tabelas 20, 21 e 22). O efeito negativo dos inseticidas associados ou não a outros produtos também foi verificado por outros autores em estudos com sementes de soja (PEREIRA et al., 2018; CAMILO et al., 2017).

Vale destacar, também, que embora existam muitos métodos disponíveis para determinar o desempenho das sementes, a avaliação da uniformidade de desenvolvimento de plântulas é uma das mais relevantes e destacada na própria conceituação de vigor (MARCOS-FILHO et al., 2009). Na presente pesquisa, os resultados observados para o índice de uniformidade (Tabelas 20, 21 e 22) além de consistentes podem ser comparados aos obtidos no teste de emergência de plântulas (Tabelas 16 e 18), onde foram observados para as sementes expostas ao maior número de impactos o pior desempenho. Além disso, assim como verificado para o lote 1, o efeito das injúrias detectados pelos parâmetros do programa Vigor-S também estão de acordo com os resultados do teste de raios X (Tabelas 7), onde foi observado a maior ocorrência de danos no eixo embrionário e nos cotilédones e consequente perda da viabilidade das sementes em função do aumento dos impactos.

De maneira geral, os testes de vigor foram eficazes para detectar diferenças significativas dos tratamentos da pesquisa para as sementes de ambos os lotes e épocas. Observou-se que os valores obtidos para teor de água final das sementes após a realização do

teste de envelhecimento acelerado, em ambos os lotes e épocas, provavelmente não interferiram nos resultados (Tabelas 9, 11, 16 e 18), considerando que as variações no grau de umidade ocorreram dentro dos limites toleráveis (3 a 4%) conforme preconizado na literatura (MARCOS-FILHO, 1999). A eficácia do teste de envelhecimento acelerado em estudo com sementes de soja tem sido destacada por muitos autores, entre estes, Marcos-Filho et al. (2000).

Quanto a análise computadorizada de imagens de plântulas, embora os estudos com o Vigor-S sejam recentes têm mostrado resultados satisfatórios e que evidenciam a eficiência desta técnica de análise, conforme verificado por Rodrigues (2019) e Castan et al. (2018) em pesquisas com vigor de sementes de soja e milho, respectivamente. De acordo com o exposto na literatura, as avaliações que mensuram o comprimento de plântula e de suas partes têm sido consideradas como eficientes para detectar diferenças no potencial fisiológico de sementes de diferentes espécies, sendo que a análise computadorizada de imagens de plântulas tem o reconhecido destaque (MARCOS-FILHO, 2015b; NAKAGAWA, 1999).

Quanto aos resultados de interação observados para ambos os lotes e épocas (Tabelas 10, 12, 15, 17, 19 e 22), de modo geral, algumas explicações podem ser atribuídas em relação aos efeitos negativos dos tratamentos químicos associados aqueles previamente ocasionados pelas injúrias mecânicas.

É sabido que a proteção das partes internas da semente contra diversos agentes externos, entre estes, os químicos, depende da adequada funcionalidade do tegumento, estritamente relacionada a sua integridade física (MARCOS-FILHO, 2015a). De acordo com França-Neto et al. (2016), sementes de soja danificadas estão mais propensas a soltura do tegumento quando expostas a volumes elevados de calda, prejudicando o seu desempenho fisiológico. Na presente pesquisa, as combinações de produtos mais prejudiciais para o potencial fisiológico (tratamentos 3 e 4) foram constituídas com elevados volumes de calda (Tabela 2) aplicados na superfície de sementes com injúrias mecânicas, o que pode ter intensificado os efeitos da fitotoxicidade dos tratamentos químicos.

Afim de ilustrar esta hipótese, conforme apresentado na Figura 9, observa-se um exemplo de semente de soja, proveniente da pesquisa, em que foi realizada análise de micro-TC. Pode-se observar com detalhes a ocorrência de injúrias no tegumento, como indicado pelas setas, que comprometeu a proteção e a integridade física da semente causando rupturas externas ao embrião.

Observa-se, por meio das imagens tomográficas transaxial e sagital (Figuras 9a e 9b), que as injúrias causaram a ruptura do tegumento expondo os tecidos internos da semente. De acordo com os resultados apresentados anteriormente para sementes danificadas (Tabela 6 e

Figura 3d), foi constatado, para ambos os lotes, aumento do percentual de sementes com injúrias no tegumento em função dos consecutivos impactos. Dessa forma, é provável que essa exposição do embrião ocasionada por estas injúrias (danos mecânicos aparentes e não aparentes) tenha facilitado o seu contato com os produtos oriundos do tratamento químico, contribuindo para os efeitos negativos observados sobre o potencial fisiológico das sementes (Tabelas 10, 12, 15, 17, 19 e 22).

Figura 9. Imagens tomográficas (micro-TC) transaxial (a) destacando a ocorrência de injúrias mecânicas no tegumento da região oposta ao eixo embrionário (setas) e sagital (b) evidenciando a ruptura dos tecidos externos (seta) e exposição do embrião da semente soja ‘M6410 IPRO’.

5. CONCLUSÃO

O aumento progressivo de injúrias mecânicas nas sementes de soja reduz o seu potencial fisiológico e aumenta a sua sensibilidade ao efeito fitotóxico dos tratamentos químicos de sementes.

Os tratamentos em que foram incluídos os inseticidas (imidaclopride e tiocarbe), prejudicam de forma mais acentuada o vigor das sementes, no momento em que são aplicados e após um período de 60 dias.

REFERÊNCIAS

- ABATI, J.; BRZEZINSKI, C.R.; ZUCARELI, C.C.; COSTA, D.S.; HENNING, A.A.; HENNING, F.A. Physiological potential of soybean seeds treated in the industry with and without the application of dry powder. **Journal of Seed Science**, v.40, n.2, p.179–184, 2018.
- ALBANEZE, R; VILLELA, F.A.; POSSENTI, J.C.; GUOLLO, K.G.; RIEDO, I.C. Mechanical damage caused by the use of grain carts for transport during soybean seed harvest. **Journal of Agricultural Science**, v.40, n.4, p.422–427, 2018.
- ARRUDA, N.; CICERO, S.M.; GUILHIEN GOMES-JUNIOR, F. Radiographic analysis to assess the seed structure of *Crotalaria juncea* L. **Journal of Seed Science**, v.38, n.2, p.161–168, 2016.
- BAYS, R.; BAUDET, L.; HENNING, A.A.; LUCCA-FILHO, O. Recobrimento de sementes de soja com micronutrientes, fungicida e polímero. **Revista Brasileira de Sementes**, v.29, n.2, p.60–67, 2007.
- BENATTO-JUNIOR, J.C.; BARROS, A.C.S.A.; TAVARES, L.C.; RUFINO, C.A.; TUNES, L.V.M.; MENEGHELLO, G.E. Physiological quality of soybeans seeds treated with fungicide and coating with polymers. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.2, p.269–273, 2012.
- BORK, C.R.; ALMEIDA, A.S.; CASTELLANO, C.S.; ZIMMER, G.; AVILA, T.D.; MENEGHELLO, G.E.; DELLAOSTIN, S.M.; RODRIGUES, D.B.; MATTOS, F.; ROSSETTI, C.; FONSECA, H.W.; TUNES, C.; SUÑÉ, A.S.; BARRETO, B.; TUNES, L. M.; SUCHCH, L. O. B. Soybean industrial seed treatment: effect on physiological quality during storage. **Journal of Agricultural Science**, v.10, n.8, p.468, 2018.
- BRASIL. Regras para análise de sementes. Brasília: **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, p.388, 2009.
- BRZEZINSKI, C.R.; ABATI, J.; HENNING, F.A.; HENNING, A.A.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; ZUCARELI, C. Spray volumes in the industrial treatment on the physiological quality of soybean seeds with different levels of vigor. **Journal of Seed Science**, v.39, n.2, p.174–181, 2017.
- CAMILO, G.L; CASTELLANOS, C.I.S.; SUÑE, A.S.; ALMEIDA, A.S.; SOARES, V.N.; TUNES, L.V.M. Qualidade fisiológica de sementes de soja durante o armazenamento após

revestimento com agroquímicos. **Revista de Ciências Agrárias**, v.40, n.2, p.436–446, 2017.

CAPELARO. **Utilização de técnicas de análise de imagens para avaliação da morfologia interna de sementes de soja e milho**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", p.62, 2017.

CARREGA, W.C.; MICHELOTTO, M.D.; GALLI, J.A.; NETTO, J.C.; FINOTO, E.L.; GODOY, I.J. Injúrias mecânicas no beneficiamento de amendoim alto oleico e reflexos na qualidade de sementes. **Revista Agro@Mambiente on-Line**, v.8, n.2, p.253, 2014.

CARVALHO, D. C; ALBUQUERME, M. C. F.; CANEPPELE, M. A. B.; BRITO, J.; COSTA, J. Evaluation of mechanical strength of corn grain by impact test. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.7, p.724–730, 2011.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 4.ed. Jaboticabal: FUNEP, p.588, 2000.

CARVALHO, T.C.; NOVENBRE, A.D.L.C. Comparação de métodos para avaliação de injúrias mecânicas em sementes de duas cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.3, p.372–379, 2012.

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 Agrícola**, v.75, n.2, p.167–172, 2018.

CAVERZAN, A.; GIACOMIN, R.; MÜLLER, M.; BIAZUZ, C.; LÂNGARO, N.C.; CHAVARRIA, G. How does seed vigor affect soybean yield components? **Agronomy Journal**, v.110, n.4, p.1318–1327, 2018.

CICERO, S.M; HEIJDEN, G.V.D.; BURG, W.J.V.D.; BINO, R.J. Evaluation of mechanical damage in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging. **Seed Science and Technology**, v.26, n.3, p.603–612, 1998.

CICERO, S.M.; BANZATTO JUNIOR, H.L. Avaliação do relacionamento entre danos mecânicos e vigor, em sementes de milho, por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v.25, n.1, p.29–36, 2003.

CONCEIÇÃO, G.M.; BARBIERI, A.P.P.; LÚCIO, A.D.; MARTIN, T.N.; MERTZ, L.M.; MATTIONI, N.M.; LORENTZ, L.H. Desempenho de plântulas e produtividade de soja submetida a diferentes tratamentos químicos nas sementes. **Bioscience Journal**, v.30, n.6, p.1711–1720, 2014.

CONCEIÇÃO, G.M.; LÚCIO, A.D.; HENNING, L.M.M.; HENNING, F.A.; BECHE, M.; ANDRADE, F.F. Physiological and sanitary quality of soybean seeds under different

- chemical treatments during storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.11, p.1020–1024, 2016.
- COSTA, N.P.; MESQUITA, C.M.; HENNING, A.A. Avaliação das perdas e qualidade de semente na colheita mecânica de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.1, n.3, p.59–70, 1979.
- COSTA, N.P.; OLIVEIRA, M.C.N.; HENNING, A.A.; KRZYZANOWSKI, F.C.; MESQUITA, C.M.; TAVARES, L.C.V. Efeito da colheita mecânica sobre a qualidade da semente de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.18, n.2, p.232–237, 1996.
- CUNHA, R.P.; CORRÊA, M.F.; SCHUCH, L.O.B.; OLIVEIRA, R.C.; JUNIOR, J.S.A.; SILVA, J.D.G.; ALMEIDA, T.L. Diferentes tratamentos de sementes sobre o desenvolvimento de plantas de soja. **Ciência Rural**, v.45, n.10, p.1761–1767, 2015.
- DAN, L.G.M.; DAN, H.A.; PICCININ, G.G.; RICCI, T.T.; ORTIZ, L.H.T. Tratamento de sementes com inseticidas e a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Caatinga**, v.25, n.1, p.45–51, 2011.
- DAN, L.G.M.; GOULART, M.M.P.; DAN, H.A.; SILVA, A.G.; BARROSO, A.L.L.; BRACCINI, A.L.; MENEZES, J.F.S. Desempenho de sementes de girassol tratadas com inseticidas sob diferentes períodos de armazenamento. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v.6, n.1, p.30-37, 2012.
- DAN, L.G.M.; BRACCINI, A.L.; BARROSO, A.L.L.; DAN, H.A.; PICCININ, G.G.; VORONIAK, J.M. Physiological potential of soybean seeds treated with thiamethoxam and submitted to storage. **Agricultural Sciences**, v.4, n.11, p.19–25, 2013.
- DELOUCHE, J.C. Seed deterioration. **Seed Word**, v.92, n.4, p.14–15, 1963.
- DUTRA, A.S.; VIEIRA, R.D. Envelhecimento acelerado como teste de vigor para sementes de milho e soja. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.715–721, 2004.
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja - Paraná 2005. Londrina: **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**, 2004.
- EMBRAPA. Tecnologias de Produção de Soja - Região Central do Brasil 2014. Londrina - PR: **Embrapa Soja (CNPSo)**, p.266, 2013.
- FERREIRA, T.F.; OLIVEIRA, J.A.; CARVALHO, R.A.; RESENDE, L.S.; LOPES, C.G.M.; FERREIRA, V.F. Quality of soybean seeds treated with fungicides and insecticides before and after storage. **Journal of Seed Science**, v.38, n.4, p.278–286, 2016.

- FINCH-SAVAGE, W.E.; BASSEL, G.W. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. **Journal of Experimental Botany**, v.67, n.3, p.567–591, 2016.
- FLOR, E.P.O.; CICERO, S.M.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Avaliação de danos mecânicos em sementes de soja por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v.26, n.1, p.68–76, 2004.
- FORTI, V.A.; CICERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos e causados por percevejos em semente de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v.30, n.1, p.121–130, 2008.
- FORTI, V.A.; CICERO, S.M.; PINTO, T.L.F. Avaliação da evolução de danos por “umidade” e redução do vigor em sementes de soja, cultivar TMG113-RR, durante o armazenamento, utilizando imagens de raios X e testes de potencial fisiológico. **Revista Brasileira de Sementes**, v.32, n.3, p.123–133, 2010.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; COSTA, N.P.; BARRETO, J.N. Efeitos de níveis de vigor das sementes sobre diversas características agronômicas da soja. In: Resultados de Pesquisa de Soja 1982/83. Londrina - PR: **Embrapa Soja (CNPSo)**, p.70–73, 1983.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; HENNING, A.A.; PÁDUA, G.P.; LORINI, I.; HENNING, F.A. Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade. **Embrapa Soja - Documentos**, p.75, 2016.
- FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Metodologia do teste de tetrazólio em sementes de soja. Londrina: **Embrapa Soja (CNPSo)**, p.108, 2018.
- FRANÇA-NETO, J.B.; HENNING, A.A. Qualidades fisiológica e sanitária de sementes de soja. **Circular Técnica**, n.9, p.5–24, 1984.
- GOMES-JUNIOR, F.G.; VAZ, C.M.P.; CICERO, S.M.; JORGE, L.A.C. Procedimentos para avaliação da estrutura de sementes de soja e milho por microtomografia computadorizada de raios X. **Anais do Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária: ciência, inovação e mercado 2014**. Embrapa Instrumentação Agropecuária (CNPdIA), p.621–624, 2014.
- GOMES-JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M.; VAZ, C.M.P.; LASSO, P.R.O. X-ray microtomography in comparison to radiographic analysis of mechanically damaged maize seeds and its effect on seed germination. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.41, n.e42608, p.1–12, 2019.

- GOMES JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. X-Ray analysis to assess mechanical damage in sweet corn seeds. **Revista Brasileira de Sementes**, v.34, n.1, p.78–85, 2012.
- GOULART, A.C.P. Tratamento de sementes de soja com fungicidas: recomendações técnicas. Embrapa-CPAO. **Circular Técnica**, v.8, p.32, 1998.
- HENNING, A.A.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C.; LORINI, I. Importância do tratamento de sementes de soja com fungicidas na safra 2010/2011, ano de “La Niña”. **Circular Técnica**, v.82, p.1-7, 2010.
- HENNING, A.A.; ALMEIDA, A.M.R.; GODOY, C.V.; SEIXAS, C.D.S.; YORINORI, J.T.; COSTAMILAN, L.M.; FERREIRA, L.P.; MEYER, M.C.; SOARES, R.M.; DIAS, S.W.P. Manual de identificação de doenças de soja. 5.ed. Londrina - PR: **Embrapa Soja**, p.78, 2014.
- HENNING, A.A. Guia prático para identificação de fungos mais frequentes em sementes de soja. Londrina: **Embrapa**, p.33, 2015.
- HENNING, F.A.; MERTZ, L.M.; JACOB-JUNIOR, E.A.; MACHADO, R.D.; FISS, G.; FISS, G.; ZIMMER, P.D. Composição química e mobilização de reservas em sementes de soja de alto e baixo vigor. **Bragantia**, v.69, n.3, p.727–734, 2010.
- 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.
- HOLTZ, V.; REIS, E.F. Perdas na colheita mecanizada de soja: uma análise quantitativa e qualitativa. **Revista Ceres**, v.60, n.3, p.347–353, 2013.
- JIJON, A.V.; BARROS, A.C.S.A. Efeito dos danos mecânicos na semeadura sobre a qualidade de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Tecnologia de Sementes**, v.6, n.1/2, p.3-22, 1983.
- KOLCHINSKI, E.M.; SCHUCH, L.O.; PESKE, S.T. Crescimento inicial de soja em função do vigor das sementes. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.12, n.2, p.163–166, 2006.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina - PR: ABRATES, p.218, 1999.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; COSTA, N.P. Teste do hipoclorito de sódio para semente de soja. **Circular técnica**, n.37, p.1-4, 2004.
- KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; MESQUITA, C.M. Kit medidor de sementes partidas de soja. Londrina - PR: **Embrapa Soja**, p.14, 2015.

- LOPES, M.M.; PRADO, M.O.D.; SADER, R.; BARBOSA, R.M. Efeitos dos danos mecânicos e fisiológicos na colheita e beneficiamento de sementes de soja. **Bioscience Journal**, v.27, n.2, p.230–238, 2011.
- LUDWIG, M.P.; LUCCA-FILHO, O.A.; BAUNET, L.; DUTRA, L.M.C.; AVELAR, S.A.G.; CRISEL, R.L. Qualidade de sementes de soja armazenadas após recobrimento com aminoácido, polímero, fungicida e inseticida. **Revista Brasileira de Sementes**, v.33, n.3, p.395–406, 2011.
- MARCOS-FILHO, J. Qualidade fisiológica de sementes de soja cultivares Bragg. U.F.V.-1. e comportamento das plantas no campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.3, p.405–415, 1981.
- MARCOS-FILHO, J. Teste de Envelhecimento Acelerado. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.3–21, 1999.
- MARCOS-FILHO, J.; NOVENBRE, A.D.C.; CHAMMA, H.M.C.P. Tamanho da semente e o teste de envelhecimento acelerado para soja. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.473–482, 2000.
- MARCOS-FILHO, J. Importância do potencial fisiológico da semente de soja. **Informativo ABRATES**, v.23, n.1, p.46, 2013.
- MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. 2.ed. Londrina - PR: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes - ABRATES, p.660, 2015a.
- MARCOS-FILHO, J. Seed vigor testing: an overview of the past, present and future perspective. **Scientia Agrícola**, v.72, n.4, p.363–374, 2015b.
- 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.
- MARYAM, D.; OSKOUIE, B. Study the effect of mechanical damage dt Processing. **Journal of Agricultural and Biological Science**, v.6, n.7, p.60–64, 2011.
- MERTZ, L.M.; HENNING, F.A.; ZIMMER, P.D. Bioprotetores e fungicidas químicos no tratamento de sementes de soja. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.13–18, 2009.
- MONDO, V.H.V.; GOMES-JUNIOR, F.G.; PUPIM, T.L.; CICERO, S.M. Avaliação de danos mecânicos em sementes de feijão por meio da análise de imagens. **Revista Brasileira de Sementes**, v.31, n.2, p.27–35, 2009.
- MOREANO, T.B.; MARQUES, O.J.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; FRANÇA-NETO, J.B.; KRZYZANOWSKI, F.C. Evolution of the physical and physiological quality of soybean seeds during processing. **Journal of Seed Science**, v.40, n.3, p.313–322, 2018.

- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no crescimento de plântulas. In: VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. **Testes de vigor em sementes**. Jaboticabal: FUNEP, p.164, 1994.
- NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA-NETO, J.B. **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, p.218, 1999.
- NEVES, J.M.G.; OLIVEIRA, J.A.; SILVA, H.P.; REIS, R.G.E.; ZUCHI, J.; VIEIRA, A.R. Quality of soybean seeds with high mechanical damage index after processing and storage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.20, n.11, p.1025–1030, 2016.
- NING, X.; YANG, D.; GONG, Y.; HAN, C.; LIU, D. Seeds of soybean with internal mechanical damage feature and influence to its germination. **Engineering in Agriculture, Environment and Food**, v.7, n.2, p.59–63, 2014.
- PEREIRA, C.E.; OLIVEIRA, J.A.; GUIMARÃES, R.M.; VIEIRA, A.R.; EVANGELISTA, J.R.E.; OLIVEIRA, G.E. Tratamento fungicida e peliculização de sementes de soja submetidas ao armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.1, p.158–164, 2011.
- PEREIRA, L.C.; GARCIA, M.M.; BRACCINI, A.L.; SUZUKAWA, A.K.; MARTELI, D.C.V.; MATERA, T.C.; PEREIRA, R.C.; CORREIA, L.V. Physiological potential of soybean seeds over storage after industrial treatment. **Journal of Seed Science**, v.40, n.3, p.272–280, 2018.
- PINTO, T.L.F.; MONDO, V.H.V.; GOMES-JUNIOR, F.G.; CICERO, S.M. Análise de imagens na avaliação de danos mecânicos em sementes de soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.42, n.3, p.310–316, 2012.
- R. **R: a language and environment for statistical computing**. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 4 mar. 2019.
- RODRIGUES, M. **Vigor-S: sistema para avaliação automatizada do vigor de sementes de soja**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, p.67, 2019.
- ROSSI, R.F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J.B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, v.60, n.3, p.215–222, 2017.
- SANTOS, S.F.; CARVALHO, E.R.; ROCHA, D.K.; NASCIMENTO, R.M. Composition and volumes of slurry in soybean seeds treatment in the industry and physiological quality during storage. **Journal of Seed Science**, v.40, n.1, p.67–74, 2018.

- SEGALIN, S.R.; BARBIERI, A.P.P.; HUTH, C.; BECHE, M.; MATTIONI, N.M.; MERTZ, L.M. Physiological quality of soybean seeds treated with different spray volumes. **Journal of Seed Science**, v.35, n.4, p.501–509, 2013.
- SHELAR, V.R. Role of mechanical damage in deterioration of soybean seed quality during storage - a review. **Agricultural Reviews**, v.29, n.3, p.177–184, 2008.
- SILVA, R.P.; SILVA, B.M.S.; BARROZO, L.M.; SALUM, J.D.; ROSA, M.S.; GOMES, D.P. Perdas qualitativas na colheita mecanizada de sementes de soja. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.2, p.477–484, 2013.
- TAYLOR, A.G.; SALANENKA, Y.A. Seed treatments: phytotoxicity amelioration and tracer uptake. **Seed Science Research**, v.22, p.86–90, 2012.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. Relationship of seed vigor to crop yield. **Crop Science**, v.31, n.3, p.816–822, 1991.
- 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.
- 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.
- ZORATO, M.F.; HENNING, A.A. Influência de tratamentos fungicidas antecipados, aplicados em diferentes épocas de armazenamento, sobre a qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.23, n.2, p.236–244, 2001.