

REVOLUÇÃO NA ANÁLISE DE SEMENTES: O PAPEL DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Thiago Costa Ferreira

Dr. Em Agronomia/ Proteção de Plantas (UNESP) e docente em curso de Agronomia (UEPB)

RESUMO: A produção de sementes no Brasil é regulamentada em legislações e em tecnologias de análise que visam um alto padrão de qualidade. No entanto, cada vez mais é iminente o uso de tecnologias de inteligência artificial para a realização de atividades laborais otimizando e uniformizando processos. Neste cenário, este artigo se encarrega de descrever este novo aporte metodológico. Para tal, cabe o entendimento que existe uma necessidade de utilização de meios de avaliação de sementes não destrutivas, que demandem a utilização de componentes de baixo custo e de pouca mão de obra são os mais importantes para o futuro da análise de sementes. Além do que a proposta de modernização com o uso de Inteligência Artificial e Processamento de Imagens, reflete uma necessidade de uma grande evolução para a produção agrícola. O futuro da produção de sementes no Brasil está, portanto, ligado à adoção de tais tecnologias inovadoras, porque essas tecnologias atendem às demandas da legislação quanto porque elevam o padrão de qualidade das sementes, contribuindo assim para um sistema agrícola mais robusto e sustentável.

PALAVRAS CHAVE: Avaliação, Tecnologia, Sanidade.

REVOLUTION IN SEED ANALYSIS: THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT: Seed production in Brazil is regulated by legislation and technologies to achieve high-quality standards, including quality assessment tests conducted traditionally in laboratories. However, using artificial intelligence technologies for laboratory activities is increasingly imminent, optimizing and standardizing processes. In this context, this article aims to describe this new methodological approach. It is essential to understand that there is a need for non-destructive seed assessment methods that require low-cost components and minimal labor, which are crucial for the future of seed analysis.

Furthermore, the proposal for modernization through the use of Artificial Intelligence and Image Processing reflects the need for significant advancement in agricultural production. Therefore, the future of seed production in Brazil is closely tied to adopting such innovative technologies, as these not only meet regulatory demands but also enhance the quality standards of seeds, thereby contributing to a more robust and sustainable agricultural system.

KEYWORDS: Avaluated, Technology, Sanity

INTRODUÇÃO

A produção de sementes no Brasil é regida por diversas legislações que visam garantir sua qualidade e sustentabilidade como um ramo da agricultura. A Lei nº 10.711/2003, por sua vez, orienta os rumos da produção de sementes, assegurando a propriedade das características genéticas e o uso controlado por agentes de manejo. Segundo Carvalho e Nakagawa (2000), a eficiência dessa produção está intimamente relacionada à avaliação rigorosa da qualidade das sementes, que enfatiza a relevância da cadeia de valor no que diz respeito ao desenvolvimento agrícola no Brasil (Carvalho et al., 2013).

As metodologias descritas nos documentos oficiais e que é aplicada para a análise de sementes inclui testes responsáveis pela visualização da germinação, sanidade e vigor das sementes, em condições controladas, além de algumas técnicas bioquímicas, de acordo com o Brasil (2003, 2013, 2021, 2023).

No entanto, a busca sobre a melhoria das técnicas e resultados dessas análises tem sido um questionamento importante nos dias atuais (Zhang et al., 2023). Neste ponto, cada vez mais têm sido destacados o uso de tecnologias emergentes que transformam a análise de sementes com modernização das metodologias, promissora assim para otimizar os processos de avaliação principalmente por meio do processamento de imagens e inteligência artificial (Colmer et al., 2020).

Essas inovações não apenas ampliam as capacidades de análise não destrutiva, mas também tornarem os testes menos onerosos e mais precisos, o que é de extrema importância para a sustentabilidade da agricultura (Zhang et al., 2023). Nesse cenário, a alta tecnologia integrada às metodologias tradicionais parece ser uma oportunidade

altamente promissora para elevar o nível padrão em relação à qualidade das sementes e, conseqüentemente, à produção agrícola no Brasil (Melo et al., 2019).

Assim, o objetivo deste trabalho é descrever como o emprego de tecnologias emergentes, como o uso de inteligência artificial, vem sendo testado para a melhoria da qualidade de análise de sementes no mundo.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a execução deste estudo foram consultados documentos oficiais disponíveis no MAPA < <https://www.gov.br/agricultura/pt-br> > e buscas de artigos científicos com a temática referida para a análise conjunta dessas possibilidades de análises de sementes com o uso de IA. Trabalho realizado em meados de setembro e a novembro de 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Qualidade de sementes

A produção de sementes no país está condicionada a observação de várias legislações, principalmente aos processos prescritos na Lei nº 10.711/ 2003, em que permite a produção de sementes utilizando caracteres que respeitem a propriedade integral em relação a geração de variedades genéticas, bem como o uso controlado de agentes em relação ao manejo (BRASIL, 2003).

Nesta mesma linha de discussão, a produção de sementes tem como base a sustentação da cadeia produtiva bastante necessária para o desenvolvimento da agricultura brasileira, conforme descrito por Carvalho e Nakagawa (2000). Com a necessidade de avaliação das sementes em consonância com Brasil (2003, 2013, 2021, 2023) que dissertam sobre a utilização de meios de avaliação, que juntamente com o manejo adequado e a efetiva ação das legislações em vigor permitem que o país tenha uma forte possibilidade de melhorar sua cadeia produtiva em relação as sementes (Carvalho et al., 2013).

A qualidade de sementes deve ser organizada a fim de promover a visualização de sua qualidade e ser representativa em relação ao seu lote de origem, de acordo com o Brasil (2003, 2013, 2021, 2023).

Análise de Sementes Convencional

Basicamente a visualização da germinação e da qualidade de sementes e plântulas germinadas realizadas em substratos como rolo de papel, areia ou vermiculita, em

temperaturas fixas ou gradientes oscilantes e na presença ou ausência de iluminação. Nestes testes, a observação de dados que podem ser constituintes de percentagens ou índices, revelando assim os parâmetros de vigor, segundo Rudnev (2017), Wijewardena et al. (2019) e Mrabet et al. (2020).

Outrossim, testes bioquímicos, como o teste de condutividade elétrica e de tetrazólio, que determinam a viabilidade de sementes em meio a parâmetros de mudança de coloração e de dispersão de sólidos em meio aquoso conforme descrevem Daibes & Cardos (2020). No país, as Regras de análises de sementes de diferentes espécies, provenientes da agricultura ou silvicultura, para a visualização de germinação, vigor e sanidade estão melhor descritas no Brasil (2003, 2013, 2021, 2023). A seguir veja exemplos Tabela 1, os métodos de análise de sementes mais usados no Brasil.

Melo et al. (2019) descrevem que o processamento de imagens automatizado, tendo em vista a possibilidade de avaliação de sementes com a aplicação de algoritmos corretos pode ser uma saída bastante importante para entraves em relação aos testes de análise de germinação e de vigor que demandam o uso de materiais de alto custo e mão-de-obra especializados.

El Beheiry e Baloget (2023) disseram em sua revisão de literatura que a necessidade de utilização de tecnologias emergentes poderá promover uma produção agrícola sustentável com maior precisão de utilização dos recursos naturais. Descrevendo que para tal ações a utilização de inovações, como as incluindo Internet das Coisas (IoT), drones, sensores, e inteligência artificial, integradas podem ser muito vantajosas dentro dessas possibilidades. Pois os pontos de manejo e de avaliação dos cultivos podem ser realizados de maneira mais precisa. Ainda, descrevem que essas tecnologias devem ser pensadas para serem acessíveis e de baixo custo, sem a necessidade de uma estrutura mais pujante e que os agricultores devem ser capacitados para utilizar as mesmas.

Srinivasaiah et al. (2023) descrevem que o aprendizado de máquinas para a utilização com projetos de análise de qualidade de sementes pode ser bastante útil em um futuro próximo, tendo em vista que a modernização de meios de produção é uma emergente ação produtiva. Nesse sentido, os autores destacam a necessidade de treinamento de redes neurais que possam dar suporte a sensores sensíveis às características que devem ser analisadas para a visualização de vigor em sementes. Podendo ser manejados para estimar a qualidade de um lote de sementes em vistas as plantas produtoras destas, por meio da verificação da qualidade vegetacional e a

possibilidade de avaliação de parâmetros inerentes à fisiologia vegetal em meio ao ambiente em que os cultivos estejam inseridos.

Novas oportunidades para a Avaliação de Sementes com Inteligência Artificial

A inteligência artificial (IA) está revolucionando a forma como os agricultores avaliam as sementes, tornando suas atividades agrícolas mais eficientes e eficazes. Por meio da aprendizagem automática, é possível verificar e prever rapidamente a qualidade das sementes, auxiliando os agricultores na tomada de decisões informadas. Essa tecnologia é fundamental na identificação de características essenciais, como qualidade e sanidade das sementes, proporcionando avaliações mais precisas e detalhadas, segundo Melo et al. (2019).

Métodos avançados de classificação, como os desenvolvidos por de Medeiros e colegas (2020), integram informações provenientes de espectroscopia e imagens, elevando os padrões de qualidade das sementes desde o início do processo. A capacidade de prever o desempenho das sementes é uma habilidade valiosa que pode impactar diretamente na produtividade agrícola. Por exemplo, essa abordagem pode otimizar a verificação do desenvolvimento inicial das plantas, resultando em uma agricultura mais eficiente, de acordo com Colmer et al. (2020).

Essa transformação no setor agrícola pode tornar as avaliações do crescimento das plantas significativamente mais ágeis, em relação ao descrito de Zhang et al. (2023). Sistemas automatizados baseados em IA não apenas aceleram o processo, mas também garantem resultados mais consistentes e confiáveis. Essa integração de tecnologias inteligentes promove práticas agrícolas mais sustentáveis e eficientes, beneficiando tanto os agricultores quanto o meio ambiente, de acordo com o entendimento de Medeiros et al. (2020).

Tabela 1 - Métodos de análise de sementes mais usados no país (BRASIL, 2003, 2013, 2021, 2023).

Método	Objetivo	Procedimento Básico
Teste de Germinação (em Papel ou Substrato)	Capacidade de germinação em sementes, passível também de avaliações de vigor	Sementes dispostas no substrato, sob ou sobre os mesmos, e colocadas em condições controladas de incubação. As análises podem ser diárias ou por períodos específicos (ex.: 5, 7, 14 dias), contando o número de sementes germinadas. Ao final é possível visualizar a qualidade das sementes e plântulas, dividindo em plântulas normais e anormais, sementes duras e mortas
Teste de Tetrazólio	Determinar a viabilidade das sementes através da atividade enzimática da respiração	Imersão das sementes em solução de tetrazólio (0,075% - 1%), seguida de cortes ou escarificação para observar a coloração; tecidos viáveis adquirem coloração vermelha ou rosa, facilmente visualizável na condição de qualidade de respiração.
Teste Frio	Avaliar a tolerância das sementes a temperaturas	Teste de germinação modificado a uma primeira exposição a frio (10-18°C) por 5-7 dias. Depois, o teste acontece normalmente a avaliação conforme o teste de geração, explicado anteriormente.

	baixas, simulando condições adversas de campo.	
Peso de Mil Sementes	Determinar a uniformidade e o tamanho médio das sementes para avaliação da qualidade.	Pesagem uma amostra de mil sementes, divididas em grupos de 100 para obter média de peso total e de cada grupo.
<i>Blotter Test</i> (Teste de Patologia)	Identificar a presença de patógenos nas sementes.	Sementes dispostas em recipientes internamente recobertos e expostos a um período de 8 dias em temperatura constante. exame de visual de incidência de patógenos.
Teste de Condutividade Elétrica	Avaliar a integridade da membrana celular e, indiretamente, o vigor da semente.	Imersão das sementes em água destilada a 25°C por 24 horas, após mede-se a condutividade elétrica da solução para quantificar a quantidade de eletrólitos liberados.
Análise de Qualidade Física (grãos duros, choques, quebras)	Avaliar a qualidade física das sementes.	Separar e contar sementes intactas, quebradas, e com defeitos visuais (ex.: grãos duros, rachaduras) usando lupa ou inspeção visual.

Grau de umidade	Quantidade de água disponível nas sementes	Pesagens realizadas antes e depois de um período de exposição a secagem (24 h a 104,00 °C)
Análises de sementes revestidas	Análise da qualidade de germinação e vigor	Teste de germinação convencional, sem excisar a semente
Exame de infestação por pragas	Qualidade sanitária das sementes - pragas	Análise visual e identificação de pragas e de suas injúrias em lotes de sementes
Peso volumétrico	Qualidade de sementes em relação ao seu volume	Análise de comparação entre o peso e o volume de um dado lotes de sementes com o intuito de inferir a quantidade de sementes murchas, chocas e sem conteúdo interno
Testes de Raios X	Qualidade de sementes em forma e conteúdo	Avaliar a presença de tecidos, sua formação e constituição, por meio de difração de Raios X, tendo em vista a possibilidade de mensurar da qualidade por meio da análise de parâmetros bioquímicos e morfológicos dispostos em biblioteca especializada

Tabela 2 - Autoria e principais avanços em uso de IA na análise de sementes.

Autoria	
Wang et al. (2023)	O monitoramento por meio do uso de sensores auto suficientes são potenciais ferramentas de uso para o monitoramento de sementes e cultivos, que podem ser organizados para melhorar o aprendizado de máquina e desenvolver ações de melhoria da qualidade da avaliação visual, havendo a minimização dos erros possíveis pela avaliação humana.
Medeiros et al. (2020)	A qualidade de sementes de soja pode ser visualizada por meio da combinando espectroscopia FT-NIR e imagens de raios X, permitindo que a presença e a quantidade de elementos químicos possam ser a base comparativa entre a amostra e uma biblioteca, realizando assim sua qualificação.
Andrade et al. (2020)	Realizam a modelagem utilizando ATR-FTIR e validaram os resultados vigor de lotes de milho submetidas ao teste de envelhecimento artificial, que por sua vez demonstra a capacidade de um dado lote a sobreviver ao longo de um período de tempo hipotético. Testes importantes para melhorar a qualidade da avaliação de sementes a longo prazo de armazenamento.
Jiang et al. (2020)	Análise não destrutivas por NIR para determinar a qualidade de sementes de sementes de soja, uma vez que as quantidades utilizadas para as análises de qualidade são pequenas em relação ao conjunto representado e analisado. Mas despendiam a coleta, envio e análise destas amostras compostas para um laboratório credenciado. Neste artigo é possível ser identificado que no próprio local de coleta podem ser

	realizados os testes de qualidade.
Huang et al. (2019)	Defeitos em sementes de milho identificados por meio do diagnóstico de imagens, ou seja, a automatização do processo pode gerar uma maior rapidez da avaliação de qualidade de sementes, que é realizado pela observação minuciosa de amostras de lotes e categorização das frações da amostra analisada.
Medeiros et al. (2020)	Classificação de sementes e plântulas de soja por meio da visualização em máquina.
Samiei et al. (2020)	Aprendizagem de maquiagem para classificar lotes de sementes de soja, por meio de gradientes de cor comparados com o vigor de sementes saudáveis.
Zhang et al. (2023)	Automação para visualizar a qualidade e a germinação de sementes de arroz, para a visualização de grandes quantidades de lotes, visando principalmente ser utilizado em locais de recepção de grãos para distribuição comercial a mercados longínquos.
Ahmad et al. (2023)	Detector de infecção fungica em sementes de grão-de-bico, com o uso de smartphones, que pode ser útil para a visualização de patógenos de armazenamento ou de campo, presente nas sementes sem a necessidade de testes laboratoriais que permeiem por mais de oito dias de execução.
Caldar et al. (2023)	Modelagem de avaliação de sementes por silhueta das mesmas visualizadas por IA, neste sentido a visualização espacial pondera a possibilidade de comparação com uma biblioteca que determina com exatidão a visualização de formas na superfície das sementes como maneira de visualizar sua qualidade.

Ahmad et al. (2023)	Desenvolveram um detector de infecção fônica em sementes de grão-de-bico, utilizando câmeras de smartphones para monitorar a germinação, havendo assim a necessidade e possibilidade de uma análise mais rápida dos lotes de sementes.
Sharon et al. (2023)	Monitoramento de crescimento e produção de biomassa em plantas, para serem utilizados em testes de germinação e vigor, tendo em vista automação do processo.
Zhang et al. (2023)	Método automatizado para visualizar a taxa de germinação de sementes de arroz de modo matemático, inferindo por meio de formulas a qualidade e a organização das estruturas externas das sementes em comparação com os meio de vigor pré-estabelecidos em uma biblioteca de dados.
D et al. (2023)	<i>Sedai</i> para previsão da germinação de sementes, como um programa computacional que promete revolucionar os meios de visualização das sementes por meio de comparações com uma biblioteca em rede.
Afaría et al. (2020)	Predição da germinação de sementes sob estresses ecológicos usando inteligência artificial, servindo assim a uma catalogação apurada em meios de organização de qualidade em áreas de recepção de lotes de sementes.
Esmail et al. (2021)	Modelagem da germinação <i>in vitro</i> de sementes <i>Cannabis sativa</i> , que visa a visualização da qualidade em meios mais apurados, principalmente pela condição de proteção legislativa e restritiva que alguns países apresentam em relação a análise deste tipo de material em laboratórios credenciados de análises de

	sementes.
Peng et al. (2022)	Monitoramento automático para testes de germinação de sementes, tendo em visto a visualização de tecnologias de análise em campo que podem inferir a qualidade das sementes produzidas pelos mesmos.
Colmer et al. (2020)	Plataforma <i>SeedGerm</i> para fenotipagem de cultivos, visando assim a possibilidade de inferência da qualidade das sementes produzidas pelas áreas analisadas por meio desta plataforma.

Festa forma, a modernização das metodologias de avaliação de sementes, promovida no Brasil pela incorporação de tecnologias emergentes como Inteligência Artificial e Processamento de Imagens, reflete uma grande necessidade de evolução para a produção agrícola. Esse desenvolvimento oferece maior precisão e rapidez nos testes de qualidade e apoia a sustentabilidade do setor por meio da redução de custos e da promoção de práticas agrícolas mais eficazes.

O uso de sistemas automatizados e métodos de teste não destrutivos provavelmente permitirá uma análise de qualidade de sementes rápida e confiável. Isso possibilitará decisões mais informadas por parte dos agricultores, o que é essencial em um contexto onde a concorrência e as necessidades de produção sustentável se tornam cada vez mais relevantes.

Além disso, a própria possibilidade de antecipar o desempenho das sementes por meio de algoritmos e aprendizado de máquina abre novas perspectivas sobre como gerenciar a produção agrícola de uma forma que garanta a produção de qualidade sem esgotar os recursos naturais. Assim, a renovação das metodologias para a avaliação de sementes torna-se essencial para a sustentabilidade da agricultura brasileira, visando iniciar um ciclo de benefícios mútuos para produtores e meio ambiente.

O futuro da produção de sementes no Brasil está, portanto, ligado, em síntese, à adoção de tais tecnologias inovadoras, tanto porque essas tecnologias atendem às demandas da legislação quanto porque elevam o padrão de qualidade das sementes, contribuindo assim para um sistema agrícola mais robusto e sustentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agarwal, R. L. *Seed Technology*. Oxford and IBH Publishing, 2018.
- Alves, R. M. et al. Stored diaspores of *Astronium urundeuva* Fr. (M. Alemão) Engl. (Anacardiaceae) submitted to hydropriming. *Journal of Seed Science*, **2020**, 42, e202042026. DOI: [10.1590/2317-1545v42n2a26](https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2a26).
- Andrade, T. C. S. et al. Is the physiological potential of oilseed rape influenced by fertilization with nitrogen and sulfur? *Journal of Seed Science*, **2020**, 42, e202042027. DOI: [10.1590/2317-1545v42n2a27](https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2a27).
- BRASIL. Instrução para a Análise de Sementes de Espécies Florestais. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária, **2013**.

BRASIL. Manual de Análise de Sementes. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Defesa Agropecuária, **2009**.

Benech-Arnold, R.; Sánchez, R. A.; Binswanger, M.; Saubidet, M. I. *Handbook of Seed Physiology: Applications to Agriculture*. CRC Press, **2004**.

Carvalho, E. R.; Villela, F. A.; Toledo, M. Z. Phytotoxicity in soybean seeds treated with phytosanitary products at different application times. *Journal of Seed Science*, **2020**, 42, e202042036. DOI: [10.1590/2317-1545v42n2a36](https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n2a36).

Carvalho, L. B. de. *Plantas Daninhas*. Lages, SC: [s.n.], **2013**. Disponível em: https://www.fcav.unesp.br/Home/departamentos/fitossanidade/leonardobiancodecarvalho/livro_plantasdaninhas.pdf.

Carvalho, N. M.; Nakagawa, J. *Sementes: Ciência, Tecnologia e Produção*. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, **2012**.

Castan, D. O. C. et al. Vigor-S, a new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. *Scientia Agrícola*, **2018**, 75, 2, 167–172. DOI: [10.1590/1678-4499.20180003](https://doi.org/10.1590/1678-4499.20180003). CORREA, A. R. et al. Germination and seed ecology of *Buchenavia tomentosa* Eichler (Combretaceae). *Journal of Seed Science*, **2020**, 42. DOI: [10.1590/2317-1545v42n3a06](https://doi.org/10.1590/2317-1545v42n3a06).

Cheruku, R.; Prakash, K. SeedAI: A novel seed germination prediction system using dual stage deep learning framework. *Environmental Research Communications*, **2023**. DOI: [10.1088/2515-7620/ad16f1](https://doi.org/10.1088/2515-7620/ad16f1).

Elbeheiry, N.; Balog, R. Technologies driving the shift to smart farming: A review. *IEEE Sensors Journal*, **2023**, 23, 1752–1769. DOI: [10.1109/JSEN.2022.3225183](https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3225183).

Ferreira, A. G.; Borghetti, F. *Germinação do Básico ao Aplicado*. Porto Alegre: Artmed, **2004**.

Filho, J. M. Seed vigor testing: An overview of the past, present, and future perspectives. *Scientia Agrícola*, **2015**, 72, 4, 363–374. DOI: [10.1590/0103-9016-2015-0007](https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0007).

Hajar, A.; Balog, R.; Ahmed, K. Turning smartphone camera into a fungal infection detector for chickpea seed germination. In: *Proceedings of the 2023 International Conference on Multimedia Computing, Networking and Applications (MCNA)*. IEEE, **2023**, 27–32. DOI: [10.1109/MCNA59361.2023.10185850](https://doi.org/10.1109/MCNA59361.2023.10185850).

Hesami, M. et al. Modeling and optimizing in vitro seed germination of industrial hemp (*Cannabis sativa* L.). *Industrial Crops and Products*, **2021**, 170. DOI: [10.1016/j.indcrop.2021.113753](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113753).

Jiang, G.-L. Comparison and application of non-destructive NIR evaluations of seed protein and oil content in soybean breeding. *Agronomy*, **2020**, 10, 1. DOI: [10.3390/agronomy10010077](https://doi.org/10.3390/agronomy10010077).

Melo, P. et al. Evaluating seed quality using image processing and machine learning techniques. *Sensors*, **2019**, 19, 4, 846. DOI: [10.3390/s19040846](https://doi.org/10.3390/s19040846).

Peng, Q.; Wang, X.; Lin, S. Automatic monitoring system for seed germination test based on deep learning. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, **2022**. DOI: [10.1155/2022/4678316](https://doi.org/10.1155/2022/4678316).

Rudnev, S. G. Principles of organization of post-harvest grain processing. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference on World Science*, **2017**.

Saffariha, M.; Jahani, A.; Potter, D. Seed germination prediction of *Salvia limbata* under ecological stresses in protected areas: An artificial intelligence modeling approach. *BMC Ecology*, **2020**, 20. DOI: [10.1186/s12898-020-00316-4](https://doi.org/10.1186/s12898-020-00316-4).

Shadryn, D.; Wang, Y.; Chen, J. Assessment of leaf area and biomass through AI-enabled deployment. *Engineering*, **2023**, 4. DOI: [10.3390/eng4030116](https://doi.org/10.3390/eng4030116).

Shorten, C.; Khoshgoftaar, T. M. A survey on image data augmentation for deep learning. *Journal of Big Data*, **2019**, 6, 1. DOI: [10.1186/s40537-019-0197-0](https://doi.org/10.1186/s40537-019-0197-0).

TUJO, T. et al. A predictive model to predict seed classes using machine learning. *International Journal of Engineering Research and Technology*, v. 6, p. 334–344, 2019.

Van Klompenburg, T.; Kassahun, A.; Catal, C. Crop yield prediction using machine learning: A systematic literature review. *Computers and Electronics in Agriculture*, **2020**, 177, 105709. DOI: [10.1016/j.compag.2020.105709](https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105709).

Wijewardana, C. et al. Soybean seed physiology, quality, and chemical composition under soil moisture stress. *Food Chemistry*, **2019**, 278, 92–100. DOI: [10.1016/j.foodchem.2018.12.025](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.025).

Wang, H.; Zhang, X.; Chen, S. An attack detection method for self-powered sensor IoTs based on ensemble learning. *IEEE Sensors Journal*, **2023**, 23, 20663–20671. DOI: [10.1109/JSEN.2022.3215556](https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3215556).

Zhang, Y.; Liu, H.; Sun, Q.; Zhu, J. An automated method for the assessment of the rice grain germination rate. *PLoS ONE*, **2023**, 18. DOI: [10.1371/journal.pone.0279934](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0279934).