

Inteligência artificial como método complementar na avaliação da qualidade fisiológica em sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit**Artificial intelligence as complementary method in the evaluation physiological quality seeds of *Leucaena leucocephala* (Lam.) Wit**

DOI:10.34117/bjdv6n8-665

Recebimento dos originais: 08/07/2020

Aceitação para publicação: 28/08/2020

Adriana dos Santos Ferreira

Mestrado em Ciências Florestal pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)
 Instituição: Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestal na Universidade Federal do Rio Grande do Norte
 Endereço: Rodovia RN 160, Km 03, S/N, CEP: 59280-000, Distrito de Macaíba-RN, Brasil
 E-mail: ferreirafra@gmail.com

Andréa Celina Ferreira Demartelaere

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CCA/Campus II)
 Professora em Agroecologia
 Instituição: Escola Técnica Estadual Senador Jessé Pinto Freire
 Endereço: Rua Monsenhor Freitas, 648, Centro, CEP: 59586-000, Parazinho-RN, Brasil
 E-mail: andrea_celina@hotmail.com

Márcio Dias Pereira

Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)
 Professor Associado em Produção e Tecnologia de Sementes
 Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN/EAJ)
 Endereço: Rodovia RN 160, Km 03, S/N, CEP: 59280-000, Distrito de Macaíba-RN, Brasil
 E-mail: marcioagron@yahoo.com.br

Hailson Alves Ferreira Preston

Doutor em Fitopatologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)
 Professor Adjunto em Fitopatologia
 Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN/EAJ)
 Endereço: Rodovia RN 160, Km 03, S/N, CEP: 59280-000, Distrito de Macaíba-RN, Brasil
 E-mail: hailson_alves@hotmail.com

Selma dos Santos Feitosa

Doutora em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CCA/Campus II)
 Professora do CST Agroecologia
 Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba - IFPB, Campus Sousa, PB
 Endereço: Rua Pres. Tancredo Neves, S/N, Jardim Sorrilândia, CEP: 58805-345, Distrito de São Gonçalo-PB, Brasil
 E-mail: selma.feitosa@ifpb.edu.br

José George Ferreira Medeiros

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CCA/Campus II)
Professor Adjunto em Fitopatologia
Instituição: Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)
Endereço: Rua Luiz Grande, S/N, CEP: 58540-000, Sumé–PB, Brasil
E-mail: georgemedeiros_jp@hotmail.com

Guilherme Vinicius Gonçalves de Pádua

Doutorando em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CCA/Campus II)
Instituição: Programa de Pós-graduação em Agronomia na Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Agrárias - Campus II
Endereço: Rodovia PB 079, Km 12, Caixa Postal: 66, CEP: 58397-000, Areia-PB, Brasil
E-mail: guilhermegpadua@yahoo.com.br

Maria Luiza de Souza Medeiros

Doutorado em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB/CCA/Campus II)
Instituição: Programa de Pós-graduação em Agronomia na Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Agrárias - Campus II
Endereço: Rodovia PB 079, Km 12, Caixa Postal: 66, CEP: 58397-000, Areia-PB, Brasil
E-mail: luizamedeiros30@hotmail.com

RESUMO

A qualidade fisiológica de sementes de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wi, torna-se importante no segmento de produção, pois avalia o potencial e o desempenho dos lotes, sendo o uso de sementes de qualidade um componente essencial para a perfeita distribuição espacial das plantas. A partir desse estudo, considera que o uso de imagem digital, possa atuar de forma conjunta com as análises tradicionais realizadas em laboratório, sendo capaz de avaliar com eficiência a qualidade fisiológica de um grande número de lotes e em curto período de tempo e assim, garantir a alta produtividade em campo. O objetivo deste trabalho foi verificar a utilização do Software ImageJ[®] no processamento digital de imagens em comparação com o método tradicional na avaliação da qualidade fisiológica em sementes de *L. leucocephala*. A coleta de sementes ocorreu no período de agosto a outubro de 2019, em áreas pertencentes à Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), região Nordeste do Brasil. Posteriormente as sementes foram selecionadas, escarificadas, e na sequência realizaram-se os testes de umidade, germinação, velocidade de germinação, teste de frio, envelhecimento acelerado tradicional, condutividade elétrica e emergência de plântulas dos cinco lotes de sementes. Em cada período de avaliação (no quarto e no sétimo dia após a semeadura) as plântulas foram analisadas pelo método manual e digital, de acordo com as mensurações de áreas de plântulas realizadas de forma computadorizada, através do Software de imagens (ImageJ[®]) para determinação dos índices de crescimento, vigor, uniformidade e vigor corrigido. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições de 25 sementes. A análise de variância foi aplicada ($P \leq 0,01$), os resultados que apresentaram significância no teste F, foram comparados pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$). O Software utilizado na análise estatística foi o R. Os testes de vigor tradicionais realizados em condições controladas possibilitaram o ranqueamento dos diferentes lotes, e a análise de imagem digital ImageJ[®] proporcionaram a avaliação da qualidade fisiológica das plântulas de *L. leucocephala*, identificando os melhores lotes, com maior rapidez e eficiência em relação aos testes tradicionais.

Palavras-chave: ImageJ[®], Leucena, Vigor.

ABSTRACT

The physiological quality of seeds of *Leucaena leucocephala* (Lam.) of Wi, becomes important in the production segment, as it evaluates the potential and performance the lots, being use of quality seeds an essential component for the perfect spatial distribution of seeds plants. From this study, considers that the use of digital image, can act in conjunction with the traditional analyzes performed in the laboratory, being able to efficiently evaluate the physiological quality of a large number of batches and in a short period of time and thus, ensure high productivity in the field. The objective of this work was to verify the use of the ImageJ[®] Software in digital image processing in comparison with the traditional method in the evaluation of the physiological quality in *L. leucocephala* seeds. The seeds collection took place from August to October 2019, in areas belonging to the Federal University of Rio Grande do Norte (UFRN), Northeastern Brazil. Subsequently, the seeds were selected, scarified, and in the sequence the moisture, germination, germination speed, cold test, traditional accelerated aging, electrical conductivity and seedling emergence tests of the five seed lots were performed. In each evaluation period (on the fourth and seventh day after sowing) the seedlings were analyzed by manual and digital method, according to the measurements of seedling areas performed in a computerized way, through the Image Software (ImageJ[®]) for determination of growth, vigor, uniformity and corrected vigor indices. The experimental design used was completely randomized with four replications of 25 seeds. The analysis of variance was applied ($P \leq 0.01$), the results that showed significance in the F test, were compared by the Tukey test ($P \leq 0.05$). The software used in the statistical analysis was R. The traditional vigor tests carried out under controlled conditions made it possible to rank the different lots, and the ImageJ[®] digital image analysis provided the assessment of the physiological quality of *L. leucocephala* seedlings, identifying the best ones. batches, faster and more efficiently than traditional tests.

Keywords: ImageJ®, Leucena, Vigor.

1 INTRODUÇÃO

A *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit) é uma leguminosa originária da América Central, pertencente à família Fabaceae e subfamília Mimosoideae, inclui cerca de 32 espécies (WENCONO *et al.*, 2017), apresenta rápida capacidade de crescimento, desenvolvimento (rebrotas constante) e floração o ano inteiro, tornando-se uma espécie com seus múltiplos usos e alto potencial socioeconômico principalmente nos países em desenvolvimento, onde tem sido bastante difundida a sua produção, principalmente nos sistemas agroflorestais (COSTA; SANTOS, 2010).

Foi introduzida no Brasil na década de 1940, para fins de produção de madeira, recuperação de florestas (MARTELLI *et al.*, 2020), como também é responsável por aprimorar as propriedades biológicas e a fertilidade do solo, por ser uma espécie rica em nitrogênio, favorece a absorção pelas plantas, e garante a sua alta produtividade (COLLIER *et al.*, 2018).

Na região Nordeste do Brasil, está espécie se destaca no Semiárido por apresentar um potencial forrageiro na alimentação animal, devido ao seu alto valor proteico, principalmente para produtores de baixa renda, além de produzir carvão vegetal de boa qualidade, a madeira também serve para a construção de cercas para abrigar pequenos animais (DANTAS *et al.*, 2016).

A qualidade fisiológica de sementes de *L. leucocephala*, torna-se importante no segmento de produção quando avalia o potencial e o desempenho dos lotes, sendo o uso de sementes de qualidade, um componente essencial para a perfeita distribuição espacial das plantas (STALLBAUN *et al.*, 2015).

A partir desse estudo, considera que o uso de imagem digital, possa atuar de forma conjunta com as análises tradicionais realizadas em laboratório, sendo capaz de avaliar com eficiência a qualidade fisiológica de um grande número de lotes e em curto período de tempo, e assim, garantir a alta produtividade em campo (ZHANG *et al.*, 2018).

O processamento digital de imagens, por meio de sistemas que usam a inteligência artificial, proporcionam avanços significativos, pois, o Software ImageJ[®] possibilita a exibição, edição, análise e processamento, além da facilidade em salvar e imprimir imagens de 8 bits, 16 bits e 32 bits. Como também realiza leitura em vários formatos de imagens: TIFF, GIF, JPEG, dentre outros (SCHNEIDER *et al.*, 2012).

Estudos envolvendo a eficiência da utilização via processamento digital para análise de imagens de plântulas utilizando sementes de espécies florestais, são importantes para a padronização da metodologia na qualidade fisiológica, mas também permite a diferenciação entre os lotes através de diversos parâmetros, dentre eles, os vários níveis de vigor, possibilitando a agilidade das análises e a obtenção de resultados com alto nível de confiabilidade (MEDEIROS *et al.*, 2020).

Estudos atuais realizados por Noronha *et al.* (2019), demonstraram maior eficiência para classificação dos lotes de sementes de *Moringa oleifera* Lam. por meio da análise de imagens usando o Software ImageJ[®]. Sarigu *et al.* (2019), avaliaram 124 características quantitativas e qualitativas morfo-colorimétricas do grupo taxonômico da *Paeonia mascula*, usando o Software ImageJ[®], constataram, que as sementes dos táxons foram distinguíveis devido à alta porcentagem de classificação e destacaram-se em relação a três diferentes grupos de táxons.

Felix *et al.* (2020), avaliando a biometria em sementes de *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R. W. Jobson, com auxílio do Software ImageJ[®] em estudos de divergência genética, detectaram marcadores morfológicos importantes por meio de análises digitais de imagens, responsáveis por diferenciar os genótipos de *P. moniliformis* na presente pesquisa.

Os tratamentos experimentais contribuem para auxiliar o uso do recurso através de Software ImageJ[®] que produzem imagens digitais e são responsáveis por um novo método de fácil manuseio e de rápida obtenção dos resultados laboratoriais, com intuito de classificar e garantir a qualidade dos lotes de sementes e obter confiabilidade nos resultados (NORONHA *et al.*, 2018).

Neste sentido, o trabalho teve como objetivo a utilização do Software ImageJ[®] no processamento digital de imagens e a comparação com o método tradicional na avaliação da qualidade fisiológica em sementes de *Leucaena leucocephala*.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As vagens de *L. leucocephala*., foram retiradas de forma manual das matrizes de pequeno porte, coletadas no período de agosto a outubro de 2019, em uma área pertencente a Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Campus Central, Natal/RN (5°49'60"S e 35°12'14"W), situada na região Nordeste do Brasil.

Em seguida, transportadas para o Laboratório de Análise de Sementes, localizada na UFRN/EAJ, em Macaíba-RN (5°53'10.0" de latitude S, 35°21'52.5" de longitude W e 56 m de altitude), onde as sementes dos cinco lotes foram extraídas das vagens, selecionadas de acordo com a integridade, buscando manter um padrão de boa qualidade, eliminando, assim, as sementes furadas que apresentavam infestações por insetos.

Posteriormente, foram homogeneizadas as sementes puras, contendo 2,2 kg, e embaladas em sacos duplo de papel tipo Kraft e acondicionadas em câmara úmida com temperatura de 5 °C e 86 % UR, até o momento de realização das avaliações.

As sementes foram submetidas ao método de escarificação com uma lixa de nº 100, na região oposta ao hilo. Em seguida, foi realizado o grau de umidade dos lotes das sementes utilizando-se cápsulas alumínio contendo 50 sementes de cada lote previamente identificados e postos em estufa a 105 ± 3 °C, por 24 horas (BRASIL, 2009), os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Simultaneamente a este teste, foi feito o teste de germinação em rolo de papel, com quatro repetições de 50 sementes, dispostas sobre duas folhas de papel do tipo Germitest[®] e cobertas com uma terceira, umedecidas com água destilada equivalente a 2,5 vezes a massa do papel seco e mantidas a 25 °C em câmara de germinação do tipo B.O.D. (*Biochemical Oxygen Demand*), por um período de 10 dias, a porcentagem de germinação de plântulas normais por lote na primeira contagem foi realizada no quarto dia após a semeadura (BRASIL, 2009).

A velocidade de germinação foi conduzida em conjunto com o teste de germinação, determinada por meio do índice de velocidade de germinação (IVG), conforme metodologia descrita por Maguire (1962).

Na etapa seguinte, para o teste de frio, as sementes foram distribuídas em rolos de papel Germitest[®] umedecidos, descritos anteriormente para o teste de germinação, mantidas em câmaras do tipo B.O.D. a 10 °C durante sete dias. Em seguida, transferidas para B.O.D. a 25 °C, onde

permaneceram por quatro dias. Ao final, determinou-se o número de plântulas normais, e os resultados expressos em porcentagem (%). (KRZYZANOWSKI *et al.*, 1999).

Para a determinação do teste de envelhecimento acelerado tradicional, 250 sementes pertencentes a cada lote foram distribuídas em camada única sobre telas de alumínio, em caixas do tipo “Gerbox” contendo na parte inferior 40 mL de água destilada, fechadas e levadas para câmara de B.O.D. a 41 °C, por 96 horas (LIMA *et al.*, 2006).

Para análise conjunta dos testes, as sementes foram pesadas e distribuídas em copos de polietileno transparente e identificados, com quatro repetições de 50 sementes, em seguida, imersas em 40 mL de água destilada onde permaneceram por 24 horas a 25 °C. A leitura da condutividade elétrica da solução foi realizada em condutivímetro de bancada, Tecnopon, modelo MCA 150 e os valores das leituras expressos em $\mu\text{S}/\text{cm}/\text{g}$ de semente.

Para análise conjunta da qualidade fisiológica dos lotes de sementes, foi determinado também à emergência de plântulas, com quatro repetições de 50 sementes por lote, semeadas em bandejas de *Polietileno* (32 cm x 28 cm x 10 cm) contendo substrato, areia fina, lavada e esterilizada, umedecida previamente com 350 mL de água destilada.

Diariamente foi realizada a quantificação do número de plântulas emersas. Sempre que necessário o substrato era irrigado com 200 mL de água destilada a fim de se manter com a capacidade de campo, de acordo com Brasil (2009), a contagem final das plântulas que emergiram foi realizada no décimo dia, e os resultados foram expressos em porcentagem (%).

Para corroborar com as avaliações fisiológicas em sementes de *L. leucocephala* realizadas em laboratório de forma tradicional, utilizou-se a análise computadorizada através do Software de imagens (ImageJ®), amplamente utilizado em mensurações de áreas para análises de plântulas, que funciona em múltiplas plataformas com código aberto através do endereço eletrônico: <http://rsbweb.nih.gov/ij/>.

Cada lote de sementes de *L. leucocephala* foram submetidos ao teste de germinação, constituído por quatro repetições de 25 sementes a 25 °C, para avaliação no quarto e no sétimo dia após a semeadura. Sendo, que cada um dos períodos de avaliação, realizou-se a mensuração de plântulas pelo método tradicional e digital, conforme descrito abaixo:

Dez plântulas foram retiradas ao acaso e mensuradas com uso de régua centimetrada, para avaliação do comprimento do hipocótilo, raízes e total, a seguir as mesmas plântulas foram avaliadas no método digital da seguinte forma.

As plântulas foram transferidas para uma folha de espuma de vinil acetato (40 x 60 cm), contendo 11 células de 5 cm de largura e divididas por faixas brancas, a extremidade superior da

primeira célula à direita foi atribuído uma escala (1 cm) e o restante das células foi ocupado individualmente por cada plântula e submetidas à captura de imagem com uso de *Smartphone* Modelo XT-1543, e arquivadas em nuvem computacional para posterior análise das imagens do crescimento de plântulas, com o uso do Software ImageJ®, para avaliar os comprimentos do hipocótilo, da raiz primária e total.

Após a análise e avaliação de plântula aos 4 e 7 dias de idade com uso do Software ImageJ®, os dados foram editados no SeedCalc do *software* R®, disponível gratuitamente em <https://CRAN.R-project.org/package=SeedCalc>, para determinação dos índices de crescimento, o vigor, conforme Sako *et al.* (2001), a uniformidade, Castan *et al.* (2018) e o vigor corrigido de acordo com Medeiros; Pereira (2018).

A análise de variância foi aplicada ($P \leq 0,01$), os resultados quando apresentaram significância no teste F, foram comparados pelo teste de Tukey ($P \leq 0,05$) e as análises estatísticas foram realizadas no Software R (R CORE TEAM, 2018).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações da umidade apresentadas nas sementes *L. leucocephala*, foram entre 13 a 19%. Esse intervalo apesar de ser considerado um baixo teor de umidade para a espécie, verifica-se a ocorrência de diferentes percentagens de teores de água nos lotes avaliados na presente pesquisa, as menores percentagens de umidade, apresentaram alta qualidade fisiológica nos lotes 1, 3, 4 e 5, quando comparadas com o teor de água verificado no lote 2 e também a baixa qualidade fisiológica em sementes de *L. leucocephala* (Tabela 1).

Tabela 1 - Avaliação da umidade (U), germinação (G), emergência de plântulas (E), teste de frio (TF), envelhecimento acelerado (EA), índice de velocidade de germinação (IVG) e condutividade elétrica (CE) em cinco lotes de sementes de *L. leucocephala* pelo método convencional. Macaíba-RN, 2019.

Lotes	U	G	E	TF	EA	IVE	IVG	CE
	-----%-----					Plântulas dia ⁻¹		µScm ⁻¹ g ⁻¹
1	17	85 a	36 ab	57 c	6 c	9 ab	8 a	203 a
2	19	50 b	32 b	18 d	0 c	8 b	4 b	125 ab
3	15	87 a	36 ab	79 ab	53 b	9 ab	9 a	221 a
4	13	93 a	63 a	89 a	57 b	16 a	9 a	83 b
5	14	83 a	57 ab	70 bc	71 a	14 ab	8 a	189 ab
Fc		45,67**	4,34*	59,5**	187,1**	4,34*	40,79**	4,86*
CV (%)		6,28	30,75	11,39	12,58	30,75	7,00	31,92

Letra minúscula = comparação dentro de cada coluna para cada avaliação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); *, **; = significativo ($p < 0,01$) e ($p < 0,05$) pelo teste de F, respectivamente; Fc = valor de F calculado; CV = coeficiente de variação expresso em porcentagem.

O valor da umidade de sementes encontrado nesse estudo foi superior ao percentual obtido na pesquisa realizada por Araújo *et al.* (2017), quando avaliaram a umidade das sementes de *L. leucocephala* em diferentes lotes, constataram uma variação de 10,9 a 12,3%.

Medeiros *et al.* (2019), avaliando a umidade de sementes de *L. leucocephala em vários lotes*, através de imagens digitais utilizando o raio-X, verificaram que o percentual da umidade variou de 8,1 a 8,8%.

Tal fato pode ser explicado por Lima Junior (2010), quando afirmou a variação 8,0 a 13,0% para essa espécie é considerada um percentual baixo de teor de água presente em sementes ortodoxas, fator de grande importância para a conservação e manejo, uma vez que a atividade fisiológica está diretamente relacionada com o teor de água, além de ser um importante critério para o estabelecimento das sementes, proporcionando alto poder germinativo das plântulas, como pode ser observado na Tabela 1.

Observou-se diferença significativa nos tratamentos quando avaliou-se a qualidade fisiológica em semente de *L. leucocephala*. Visto que o percentual de germinação (G), emergência (E), índice de velocidade de emergência (IVE) e índice de velocidade de germinação (IVG) de *L. leucocephala* nos lotes 1, 3, 4 e 5, apresentaram médias superiores em relação ao lote 2 (Tabela 1).

De acordo com o trabalho realizado por Guedes *et al.* (2013), afirmam que qualidade fisiológica dos lotes de sementes de *Amburana cearenses* (Allemão) A. C. Smith, de menor e maior vigor, diferiram estatisticamente entre si, com de 66% e 98%.

Ressaltando ainda a necessidade de que os testes de vigor sejam complementares para separar os lotes, uma vez que os resultados elevados do percentual de germinação, não significa necessariamente, que os lotes possuem alto vigor, visto que o teste de germinação é conduzido sob condições favoráveis de temperatura, luz, substrato e umidade, permitindo que os lotes de sementes expressem o potencial máximo para produzir plântulas normais.

O teste de frio indicou diferença significativa nos tratamentos. Visto que separou os lotes em três diferentes níveis de vigor, o lote 3 e 4, foi classificado como de melhor qualidade, os lotes 1 e 5, foram classificados como intermediários, e o lote 2, considerado o menos qualificado fisiologicamente (Tabela 1).

Pode-se afirmar que o teste de frio é considerado um teste de resistência, ou seja, o lote de sementes que apresenta melhor desempenho sob condições adversas, é considerado mais vigoroso e tem grande possibilidade de apresentar alto poder germinativo sob uma ampla faixa de condições ambientais (GUISCEM *et al.*, 2010).

O teste de envelhecimento acelerado foi capaz de diferenciar três lotes de sementes de *L. leucocephala* de forma eficiente. O lote 5 favoreceu a expressão do potencial máximo de germinação, com 71%, mesmo para aquelas sementes que apresentaram menor vigor.

Contudo, o lote 4, obteve diferenças significativas na qualidade de sementes germinadas em relação ao lote 5, e, os lotes 2 e 1, apresentam maiores taxas de deteriorações de sementes, sendo que as sementes do lote 2, ocorreu uma perda na qualidade fisiológica (Tabela 1).

Os resultados obtidos no teste de envelhecimento acelerado em trabalhos realizados por Araújo *et al.* (2017), corroboram com o presente estudo, pois os lotes de sementes de *L. leucocephala*, submetidos à temperatura de 41 °C durante 0, 48, 72 e 96 h, demonstraram eficiência sob o período de 96 h, sendo capaz de diferenciar os lotes de sementes em níveis de vigor.

O teste de condutividade elétrica mostra que os lotes diferiram significativamente entre si. Destacando que o lote 4 apresentou menor lixiviação de eletrólitos, e indicando maior vigor em comparação com os lotes, 2, 5, 1 e 3, visto que esses, demonstraram aumento de exsudatos para o meio externo ao término da embebição (Tabela 1).

Resultados semelhantes ao presente trabalho foram verificado por Pereira *et al.* (2015), quando estudaram o comportamento fisiológico das sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth, família Fabaceae, constaram que a germinação se mostrou sensível aos valores mais alto de condutividade elétrica, isto é, sementes menos vigorosas liberaram maiores quantidades de solutos para o ambiente externo.

Araújo *et al.* (2017), verificaram que a melhor qualidade fisiológica dos lotes de sementes *L. leucocephala*, foram atingidas, quando obtiveram condutividades elétrica baixa.

De acordo com Lopes; Franke (2010), a quantidade de exsudatos liberados pelas sementes vigorosas no decorrer do processo de embebição vai se estabilizando, em razão, principalmente, da reorganização das membranas, favorecendo a ordenação dos lotes em níveis de qualidade. Sementes mais vigorosas apresentam melhor reorganização das membranas celulares quando embebidas, e consequentemente, menor será a liberação de exsudatos para o exterior das células.

Na tabela 2, encontraram-se informações adicionais da qualidade fisiológica dos lotes, com base na avaliação biométrica do potencial de crescimento das plântulas de *L. leucocephala*, parte aérea, raiz e comprimento total da plântulas, determinado pelo método tradicional e por método de análise de imagens de plântulas (Software – Image J®) em dois períodos de avaliações.

Tabela 2. Médias do comprimento de hipocótilo e raiz primária e comprimento total, determinado pelo método tradicional e por processamento digital de imagens, utilizando plântulas de *Leucaena leucocephala*, em dois períodos de avaliações. Macaíba - RN, 2019.

Lotes	Manual			Digital		
	Hipocótilo	Raiz	Total	Hipocótilo	Raiz	Total
cm plântula ⁻¹						
Plântulas de 4 dias						
1	1,55 b	4,34 a	5,89 b	1,27 b	3,45 a	4,27 bc
2	1,44 b	3,24 b	4,68 c	1,16 b	2,58 b	3,48 c
3	2,18 a	4,17 a	6,35 ab	1,70 a	3,39 a	5,13 ab
4	2,08 a	5,06 a	7,14 a	1,76 a	3,49 a	5,98 a
5	1,04 c	3,25 b	4,29 c	0,74 c	2,58 b	3,58 c
Fc	81,38**	14,02**	25,47**	33,83**	7,56**	10,69**
CV	6,29	10,35	8,24	10,83	11,17	14,46
Plântulas de 7 dias						
1	4,25 b	7,44 a	11,69 a	3,45 b	7,11 a	10,11a
2	3,53 c	5,32 b	8,86 b	2,44 c	5,12 b	8,41 b
3	4,98 a	6,90 ab	11,88 a	4,23 a	5,98 ab	10,35 a
4	4,83 a	7,90 a	12,73 a	4,30 a	6,88 a	10,25 a
5	2,89 d	6,25 ab	9,14 b	0,67 d	5,88 ab	7,90 b
Fc	69,09**	6,30**	16,45**	93,84**	6,13**	10,85**
CV	5,19	11,92	7,92	10,34	10,54	7,46

Letra minúscula = comparação dentro de cada coluna para cada avaliação pelo teste de Tukey ($p < 0,05$); ** = significativo pelo teste de F ($p < 0,01$), respectivamente; Fc = valor de F calculado; CV = coeficiente de variação.

Os testes de vigor realizado pelos métodos tradicional e o digital ImageJ[®] foram fundamentais para avaliar a qualidade fisiológica, pois forneceram respostas similares nos dois métodos quanto ao comprimento do hipocótilo, raiz e comprimento total de plântulas de *L. leucocephala* com 4 e 7 dias de avaliação (Tabela 2).

Para os parâmetros comprimento de hipocótilo, raiz e total, verificaram-se que não houveram diferenças significativas nos lotes 3 e 4, porém, esses lotes apresentaram resultados superiores em todas as avaliações em relação aos demais lotes, e nos dias avaliados pelos métodos tradicional e digital (Tabela 2).

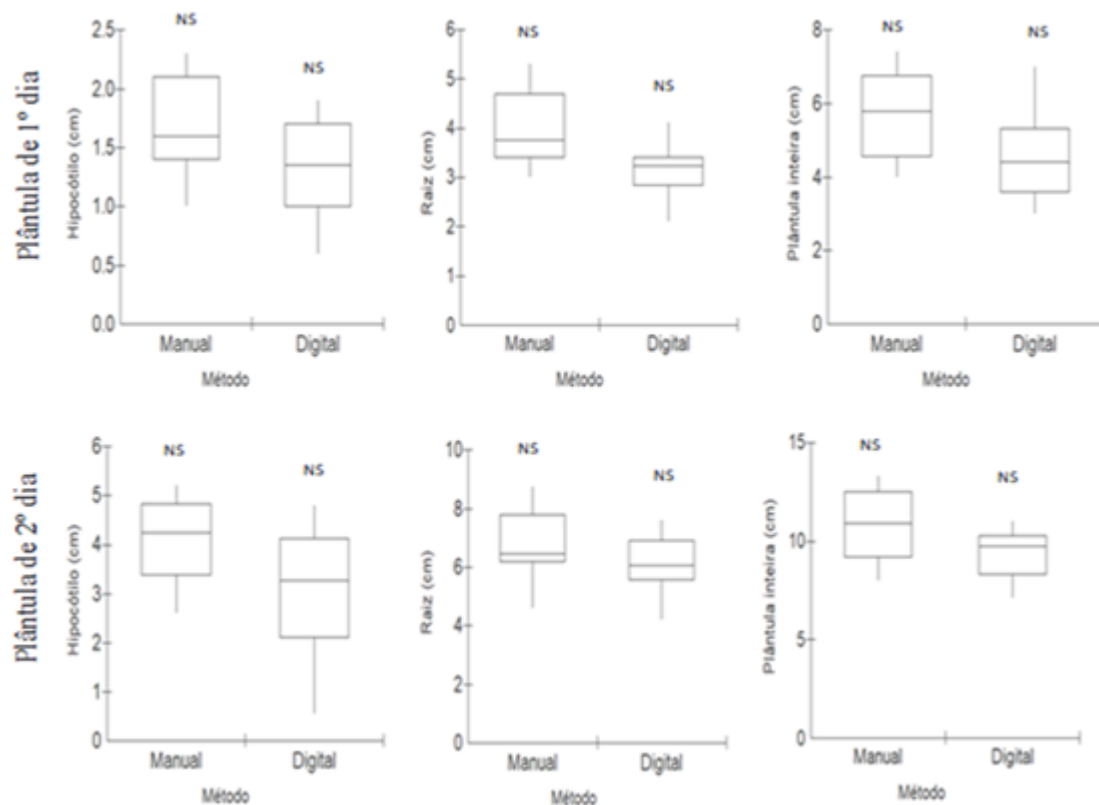
Presume-se que na avaliação da qualidade fisiológica dos lotes, as sementes de maior tamanho, ocasionaram melhor efeito do vigor, favorecendo o crescimento das estruturas essenciais das plântulas, raízes e da parte aérea, perante os demais lotes avaliados. De acordo com Carvalho; Nakagawa (2000), as sementes maiores, normalmente apresentam embriões bem formados e com maiores quantidades de reservas, sendo potencialmente vigorosas.

Os resultados permitiram inferir que o sistema de avaliação utilizando o método de imagem digital promovem eficiência e rapidez, em comparação com o método tradicional. Pode-se afirmar que automatização desses procedimentos via recursos computacionais, contribuem significativamente para aprimorar a precisão de resultados, além da obtenção mais rápida das informações (MARCOS FILHO *et al.*, 2009).

Pesquisas realizadas por Silva *et al.* (2013), verificaram que o método digital viabiliza análises dimensionais mais apuradas nas áreas internas das sementes de *Acca sellowiana* (Berg). Noronha *et al.* (2018), utilizando *Software Image J*® para analisar a morfologia interna de sementes de *Moringa oleifera* Lam. por meio de imagens radiografadas e compará-la aos testes de germinação e vigor, concluíram que o *Image J*® permite a mensuração das áreas preenchidas e áreas livres no interior das sementes, bem como a associação entre estas e a germinação.

De acordo com os dados quantitativos obtidos pelos métodos de mensuração tradicional e digital, apresentados na Tabela 2, realizou-se análise descritiva dos dados apresentados no gráfico de Box-plot (Figura 1).

Figura 1. Box plot da comparação entre os métodos de medição de plântulas para as variáveis de comprimento avaliadas. ^{ns} não diferiram entre si pelo teste T ($p < 0,05$) (n = 5, número de lotes avaliados).



Não verificaram-se diferenças significativas para ambos os métodos (tradicional e digital) na avaliação de crescimento de plântulas (hipocotilo, raízes e comprimento total). Tal fato comprova que ambos os métodos de avaliações da qualidade fisiológica podem ser utilizados, todavia o método digital se consolida devido a agilidade e confiabilidade nos resultados, além de obterem resultados em um curto período de tempo (Figura 1).

De acordo com Medeiros; Pereira (2018), o uso de procedimentos informatizados a partir de informações baseadas em imagens digitais são promissores para a realização de diferentes tipos de avaliações em sementes, uma ferramenta poderosa para capturar e quantificar os dados sobre a qualidade fisiológica das sementes de diversas espécies.

Os dois métodos de avaliações foram fundamentais para avaliar os índices de uniformidade, o crescimento, o vigor e o vigor corrigido de plântulas de *L. leucocephala* aos 4 e 7 dias (Tabela 3).

Tabela 3. Vigor dos lotes de sementes de *L. leucocephala* a partir de valores médios dos índices de qualidade de uniformidade (IU), índice de crescimento (IC), índice de vigor (IV) e índice de vigor corrigido (IVC), em dois períodos de avaliações, Macaíba - RN, 2019.

Lote	Manual				Digital			
	IU	IC	IV	IVC	IU	IC	IV	IVC
Plântulas de 4 dias								
1	906 ab	406 a	556 a	470 b	916 a	328 ab	504 ab	426 bc
2	861 b	306 b	472 c	246 d	855 a	281 c	453 b	236 d
3	891 ab	397 a	545 ab	472 b	889 a	335 ab	502 ab	434 b
4	930 a	476 a	613 a	570 a	900 a	399 a	549 a	511 a
5	910 ab	303 b	485 bc	403 c	908 a	263 b	456 b	379 c
Fc	3,60 ^{NS}	15,18 ^{NS}	12,98 ^{NS}	83,32 ^{NS}	1,84 ^{NS}	9,97 ^{NS}	7,76 ^{NS}	71,93*
CV (%)	3,01	10,02	5,92	6,09	3,9	10,53	5,79	6,05
Plântulas de 7 dias								
1	910 a	713 ab	772 ab	652 ab	842 a	657 a	713 a	602 a
2	905 a	515 c	632 c	328 c	902 a	325 b	498 a	259 c
3	914 a	671 abc	744 abc	644 b	921 a	619 a	710 a	614 a
4	922 a	759 a	808 a	751 a	915 a	622 a	710 a	660 a
5	894 a	581 bc	675 bc	560 b	919 a	417 b	568 a	471 b
Fc	0,55 ^{NS}	7,37 ^{NS}	6,45 ^{NS}	48,3 ^{NS}	3,0 ^{NS}	22,16 ^{NS}	2,28 ^{NS}	3,17 ^{NS}
CV (%)	3,12	11,26	7,78	7,83	4,24	11,89	7,73	7,82

Letra minúscula = comparação dentro de cada coluna para cada avaliação pelo teste de Tukey ($p < 0.05$); *, ^{NS} = significativo e não significativo pelo teste de F ($p < 0,05$), respectivamente; Fc = valor de F calculado; CV = coeficiente de variação.

Para os índices de uniformidade, crescimento e vigor, verificaram-se que não houveram diferenças significativas nos lotes 1, 3, 4 e 5 nas avaliações, e o lote 2 mostrou-se inferior em relação aos dias de avaliações no método tradicional e no método digital (Tabela 3). Esse resultado é importante, pois a introdução de novos procedimentos de avaliação do vigor de sementes é um dos requisitos básicos para encontrar uma maior sensibilidade, em relação à caracterização de lotes mais vigorosos. (GOMES JUNIOR *et al.*, 2014).

Para o índice de vigor corrigido na primeira e na segunda avaliação, o método tradicional ranqueou os lotes 2 e 5 como inferiores e no método digital permitiu-se classificar os lotes em categorias, como baixo, intermediário e alto vigor com segurança e exatidão. Os lotes como excelentes (lote 4), ótimo (lote 3), bom (lote 1), intermediário (lote 5) e ruim (lote 2) (Tabela 3).

De acordo com Medeiros; Pereira (2018), os índices de qualidade de vigor permitem separar os lotes de sementes em diferentes categorias de vigor, por isso, são considerados eficientes. Conforme os referidos autores, o índice de vigor corrigido mostra-se sensível na categorização dos lotes de sementes e não apenas entre os lotes que mostram baixo e alto vigor, mas também para aqueles apresentam comportamento intermediário na referida avaliação.

4 CONCLUSÃO

Os testes de vigor tradicionais realizados em condições controladas possibilitaram o ranqueamento dos diferentes lotes, e a análise de imagem digital ImageJ® proporcionou a avaliação da qualidade fisiológica das plântulas de *L. leucocephala*, identificando os melhores lotes, com maior rapidez e eficiência em relação aos testes tradicionais.

REFERÊNCIAS

1. Araújo, F. S.; Félix, F. C.; Ferrari, C. S.; Bruno, R. L. A.; Pacheco, M. V. Adequação do teste de envelhecimento acelerado para avaliação do vigor de sementes de leucena. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 2017; 12(1): 92-97.
2. Brasil. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Regras para análise de sementes. Secretaria de Defesa Agropecuária: Brasília, MAPA/ ACS, 2009. 395 p.
3. Carvalho, N. M.; Nakagawa, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.
4. Castan, D. O. C.; Gomes-Junior, F. G.; Marcos-Filho, J. Vigor-S, new system for evaluating the physiological potential of maize seeds. *Scientia Agricola*, 2018; 75(2): 167-172.
5. Collier, L. S.; Arruda, E. M.; Campos, L. F. C.; Nunes, J. N. V. Atributos químicos do solo e produtividade de milho em residual de leguminosas em sistema agroflorestral. *Revista Caatinga*, 2018; 31(2): 279-289.
6. Costa, C. J.; Santos, C. P. Teste de tetrazólio em sementes de leucena. *Revista Brasileira de sementes*, 2010; 32(2): 66-72.
7. Dantas, R. P.; Pereira, K. T. O.; Cavalcante, A. L. G.; Souza, A. A. T.; Souza-Neta, M. L.; Oliveira, F. A. Fertirrigação por capilaridade em mudas de *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit. *Revista Agro@mbiente*, 2016; 10(2): 161-167.
8. Felix, F. C.; Medeiros, J. A. D.; Ferrari, C. S.; Vieira, F. A.; Pacheco, M. V. Biometry of *Pityrocarpa moniliformis* seeds using digital imaging: implications for studies of genetic divergence. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)*, 2020; 15(1): e6128.
9. Gomes Junior, F. G.; Chamma, H. M. C. P.; Cicero, S. M. Análise automatizada de imagens de mudas para avaliação de vigor de sementes de feijão comum. *Acta Scientiarum Agronomia*, 2014; 36(2): 195-200.
10. Guedes, R. S.; Alves, E. U.; Costa, E. M. T.; Santos-Moura, S. S.; Silva, R. S.; Cruz, F. R. S. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de *Amburana cearensis* (Allemão) AC Smith. *Bioscience Journal*, 2013; 29(4): 859-866.
11. Guissem, J. M.; Farias, A. S.; Figueiredo, R. T. Chaves, A. M. S.; Figueiredo, B. T.; Pereira, C. F.; Araújo, J. R. G.; Martins, M. R. Teste de frio e envelhecimento acelerado na avaliação de vigor de sementes de feijão-frade. *Revista de Ciências Agrárias*, 2010; 33(2): 182-191.
12. Krzyzanowski, F. C.; Vieira, R. D.; França Neto, J. B. (Ed.). (1999) - Vigor de sementes: conceitos e testes. Informativo Abrates, Londrina, 121 pp.
13. Lima Junior, M. J. Manual de Procedimentos para Análise de Sementes Florestais. UFAM - Manaus-Amazonas, Brasil. 2010. 146 p.

14. Lima, T. C.; Medina, P. F.; Fanan, S. Avaliação do potencial fisiológico de sementes de trigo (*Triticum aestivum* L.) pelo teste de envelhecimento acelerado. *Revista Brasileira de Sementes*, 2006; 57(2): 106-113.
15. Lopes, R. R.; Franke, L. B. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de azevém (*Lolium multiflorum* L.). *Revista Brasileira de Sementes*, 2010; 32(1): 123-130.
16. Maguire, J. D. Speed of germination-aid selection evolution for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 1962; 2(1): 176-177.
17. 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*, 2009; 31(1): 102-112.
18. Rodrigues, W. M.; Sales, E. C. J.; Monção, F. P.; Marques, O. F. C.; Rigueira, J. P. S.; Pires, D. A. A. pH, perdas por gases, efluentes e valor nutricional de silagens de milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] com diferentes níveis de leucena (*Leucaena Leucocephala* (Lam.) de Wit) no Semiárido. *Brazilian Journal Development*, 2020; 6(4): 33-47.
19. Medeiros, A. D.; Pereira, M. D. SAPL®: a free software for determining the physiological potential in soybean seeds¹. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 2018; 48(3): 222-228.
20. Medeiros, A. D.; Zavala León, M. J.; Araújo, J. O.; Pereira, M. D.; Dias, D. C. F. S.; Silva, L. J. Relationship between internal morphology and physiological quality of *Leucaena leucocephala* seeds using image analysis. *Revista Árvore*, 2019; 43(2): e430208.
21. Noronha, B. G.; Medeiros, A. D.; Pereira, M. D. Incremento de área em sementes de moringa durante a embebição por meio da análise de imagens. *Revista Ciência Florestal*, 2019; 29(1): 221-232.
22. Noronha, B. G.; Medeiros, A. D.; Pereira, M. D. Avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Moringa oleífera* Lam. *Revista Ciência Florestal*, 2018; 28(1): 393-402.
23. Pereira, D. M.; Reis, J. A.; Ferrari, C. S.; Vale, A. M. P. G. Processamento digital de imagens de plântulas na avaliação do vigor de sementes de *Moringa oleífera* Lam. *Revista Ciência Florestal*, 2020; 30(2): 291-306.
24. Pereira, K. T. O.; Medeiros, G. S. M. A.; Alves, T. R. C.; Benedito, C. P.; Torres, S. B. Electrical conductivity test in *Piptadenia moniliformis* Benth., seeds. *Journal of Seed Science*, 2015; 37(4): 199-205.
25. R Core Team. R. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.
26. Sako, Y.; McDonald, M. B.; Fujimura, K.; Evans, A. F.; Bennett, M. A. A system for automated seed vigour assessment. *Seed Science and Technology*, 2001; 29(3): 625-636.

27. Sarigu, M.; Porceddu, M.; Camarda, E. S. I.; Bacchetta, G. Taxonomic discrimination of the *Paeonia mascula* group in the Tyrrhenian Islands by seed image analysis. *Systematics and Biodiversity*, 2019; 10(1): 801-810.
28. Schneider, C. A.; Rasband, W. S.; Eliceiri, K. W. N. Image to ImageJ: 25 years of Image Analysis. *Nat Methods*, 2012; 9(7): 671–675.
29. Silva, V. N.; Sarmiento, M. B.; Silveira, A. C.; Silva, C. S.; Cicero, S. M. *Acca sellowiana* O. Berg seed morphology evaluation by image analysis. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 2013; 35(4): 1158-1169.
30. Stallbaun, P. H.; Souza, P. A.; Martins, R. C. C.; Matos, J. M. M.; Moura, T. M. Testes rápidos de vigor para avaliação da viabilidade de sementes de *Anadenanthera falcata*. *Enciclopédia Biosfera*, 2015; 11(21): 1.834-1.846.
31. Wencomo, H. B.; Ortíz, R.; Cáceres, J. Quality of seeds from *Leucaena* species stored under ambient conditions. *African Journal of Agricultural Research*, 2017; 12(4): 279-285.
32. Zhang, C.; SI, Y.; Lamkey, J.; Boydston, R. A.; Garland-Campbell, K. A.; Sankaran, S. High-Throughput Phenotyping of Seed/Seedling Evaluation Using Digital Image Analysis. *Agronomy*, 2018, 8(63): 1-14.