

# Qualidade fisiológica de sementes de milho, soja e trigo tratadas com o micronutriente vanádio

LAUREANE VERISSIMO SOARES

Discente de Agronomia (UNIPAM)  
ealaureaneverissimos@unipam.edu.br

WELLINGTON FERRARI DA SILVA

Professor orientador (UNIPAM)  
wellingtonferrari@unipam.edu.br

---

**Resumo:** O presente estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tratamento com o micronutriente vanádio ( $V_2O_5$ ) na qualidade fisiológica de sementes de milho, soja e trigo. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com sete doses (0; 0,05; 0,25; 0,45; 0,75; 0,95; e 1,05 g·kg<sup>-1</sup> de sementes) e quatro repetições. Foram avaliadas as variáveis porcentagem de plântulas normais, comprimento de raiz e parte aérea. As médias foram submetidas à análise de variância através do programa computacional SISVAR, e posteriormente submetidas ao teste de Tukey, a nível de 5% de significância. A aplicação do micronutriente vanádio influenciou positivamente a qualidade fisiológica das sementes. Em milho, a dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> resultou na maior porcentagem de plântulas normais, no maior comprimento radicular e na maior parte aérea. Na soja, observou-se maior plântulas normais na dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> e maior comprimento radicular com 0,25 g·kg<sup>-1</sup>. Para o trigo, as doses de 0,25 e 1,05 g·kg<sup>-1</sup> proporcionaram os maiores índices de plântulas normais, enquanto a dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> favoreceu o crescimento da parte aérea. Conclui-se que o vanádio apresenta potencial como bioestimulante no tratamento de sementes, sendo as doses entre 0,05 e 0,25 g·kg<sup>-1</sup> as mais eficazes para a promoção do vigor inicial em milho, soja e trigo.

**Palavras-chave:** tratamento de sementes, vigor, vanádio.

**Abstract:** This study aimed to evaluate the effects of seed treatment with the micronutrient vanadium ( $V_2O_5$ ) on the physiological quality of maize, soybean, and wheat seeds. The experiment was conducted in a completely randomized design with seven doses (0; 0.05; 0.25; 0.45; 0.75; 0.95; and 1.05 g·kg<sup>-1</sup> of seeds) and four replications. The evaluated variables were percentage of normal seedlings, root length, and shoot length. Data were subjected to analysis of variance using SISVAR software, followed by Tukey's test at a 5% significance level. Vanadium application positively influenced seed physiological quality. In maize, 0.05 g·kg<sup>-1</sup> resulted in the highest percentage of normal seedlings, longest root, and greatest shoot length. In soybean, the highest seedling percentage was observed at 0.05 g·kg<sup>-1</sup> and the longest root at 0.25 g·kg<sup>-1</sup>. In wheat, 0.25 and 1.05 g·kg<sup>-1</sup> provided the highest percentages of normal seedlings, while 0.05 g·kg<sup>-1</sup> favored shoot growth. It is concluded that vanadium shows potential as a biostimulant in seed treatment, with doses between 0.05 and 0.25 g·kg<sup>-1</sup> being the most effective in promoting early vigor in maize, soybean, and wheat.

**Keywords:** seed treatment, vigor, vanadium.

---

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é reconhecido como um dos principais produtores agrícolas mundiais, destacando-se na produção e exportação de grãos como soja, milho e trigo. No ciclo 2023/2024, a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2024) estimou a produção total de grãos em aproximadamente 298,41 milhões de toneladas, representando uma redução de 7% em relação à safra anterior, atribuída a condições climáticas adversas que afetaram as principais regiões produtoras do país (CONAB, 2024).

Mesmo assim, o Brasil segue consolidando sua posição de liderança na produção de grãos, especialmente soja e milho. A safra de 2024/2025 apresentou números recordes, com a produção de soja estimada em 167,3 milhões de toneladas, um aumento de 15,4% em relação à safra anterior (IBGE, 2025). O milho também registrou crescimento, com uma produção estimada de 120,6 milhões de toneladas, 5,1% superior ao volume produzido em 2024 (IBGE, 2025).

Dentre as culturas de inverno, destaque para o trigo que apresentou variações significativas na safra 2024/2025. A área semeada foi reduzida em 11,9% em relação à safra anterior, embora a produtividade tenha aumentado 13%, atingindo 2.634 kg ha<sup>-1</sup>, resultando em uma produção estimada de 8,064 milhões de toneladas, ligeiramente abaixo das 8,1 milhões de toneladas produzidas na safra de 2023 (EMBRAPA, 2024).

No entanto, a produtividade da cultura é dependente de diversos fatores que variam desde um preparo do solo adequado, a semeadura na época certa, a utilização correta de fungicidas, inseticidas, e tratamento de sementes associadas à utilização de sementes de qualidade. Neste sentido, pesquisas demonstram que o uso de defensivos químicos como inseticidas, fungicidas e fertilizantes auxiliam na sua máxima expressão do potencial fisiológico (Bays *et al.*, 2007).

Várias pesquisas têm mostrado os efeitos positivos do tratamento de sementes com elementos minerais, principalmente, com micronutrientes. Por exemplo, o Zn, o B e o Co têm papel fundamental na formação das raízes por estarem envolvidos em hormônios reguladores desse processo (Soares *et al.*, 2016).

Já o Co, o Mo, o Ni, o Fe, o Mn, o Zn e o Cu são indispensáveis no processo de FBN (O'hara, 2001). Além disso, foi demonstrado que o zinco quando aplicado isoladamente estimula o crescimento de plântulas de soja, proporciona maior tolerância das plantas a doenças e aumenta a produtividade de grãos (Kumari *et al.*, 2019). A utilização de Cu, Mn e Zn possibilita o aumento da altura de plantas e do rendimento de grãos (Wiatrak, 2013). Aplicações de Co e Mo em associações com microrganismos eleva o teor de nitrogênio foliar, peso de grãos e a produtividade de soja (Galindo *et al.*, 2017).

Contudo, para que o tratamento de sementes com elementos minerais seja eficaz e proporcione suporte seguro ao desenvolvimento inicial das plântulas, é fundamental que os produtos ou suas combinações não exerçam efeitos negativos sobre o potencial fisiológico das sementes, tanto imediatamente após a aplicação quanto ao longo do período de armazenamento (Bork *et al.*, 2018). Além disso, a eficiência do tratamento está condicionada à aplicação da dose recomendada de forma uniforme sobre as sementes, evitando-se concentrações excessivas que possam comprometer microrganismos benéficos presentes na superfície ou na rizosfera (Taylor; Harman, 1990).

Diante disso, um dos nutrientes que tem relatos na agricultura é o vanádio, que pode ser essencial para certas plantas e microrganismos (Ronquim, 2020). Em experiências realizadas em areia, observou-se que, no cultivo de milho, a aplicação de vanádio nas concentrações de 0,05 a 0,25g aumentou o crescimento das folhas e a altura da planta (Singh, 1971). Muito interessantes foram as experiências realizadas com beterraba por (Singh; Wort, 1969) em um solo contendo 0,075g de vanádio. Ao aplicar vanádio de amônio junto com outros micronutrientes, a produção de beterraba aumentou lenta, mas significativamente.

A presença conjunta de vanádio e molibdênio em soluções nutritivas exerce ação favorável na redução de nitrato, com o conseqüente aumento do teor de aminoácidos livres das plantas, dados obtidos por Catalina (1966). A adição de 40g de vanádio a uma solução nutritiva sem molibdênio parece não exercer ação da redução de N-Nítrico em plantas cultivadas em areia (Catalina, 1966). O mesmo autor constatou que a presença do elemento vanádio favorece a sua absorção pelas plantas.

Por outro lado, plantas de arroz tratadas com vanádio a concentrações de 40 e 80 mgL<sup>-1</sup> obtiveram uma diminuição de sua fase vegetativa e do seu crescimento reprodutivo para os 42 e 70 dias, respectivamente. Observou-se que, na fase do crescimento vegetativo das plantas de arroz, o vanádio diminuiu significativamente a altura, o diâmetro, o número de perfilho, o peso do caule fresco e seco, o comprimento de raiz e o peso das raízes frescas e secas. Em termos de crescimento reprodutivo, as plantas de arroz tratadas com 40 e 80 mgL<sup>-1</sup> de vanádio morrem antes da fase de floração. As concentrações de vanádio foram encontradas na raiz de arroz em proporções maiores do que as do caule e da semente, em ordem decrescente (Chongkid; Vachirapattama; Jirakiattikul, 2007).

Sendo assim, a pesquisa científica e a descoberta de novas tecnologias são ferramentas fundamentais para elevar a eficiência e a rentabilidade no campo. Dentro destas ferramentas, há alguns métodos que garantem maior desempenho e produtividade nas culturas, sendo uma delas o uso de micronutrientes. Diante do exposto este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho, soja e trigo em resposta à utilização de elemento mineral vanádio no tratamento de sementes.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório Núcleo de Pesquisas e Análises de Sementes do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM) durante o período de 2024/2025. Foram utilizadas as seguintes sementes: de milho, K9606VIP3; soja TMG 2378 IPRO; trigo, MGS Brilhante, fornecidas por uma empresa idônea da região da cidade de Patos de Minas (MG), Brasil.

O experimento foi realizado seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC), com sete tratamentos e quatro repetições de 50 sementes cada uma, totalizando 350 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em aplicações nas sementes de milho, soja e trigo com o elemento mineral vanádio (óxido de vanádio – V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>). As doses utilizadas para cada tratamento estão descritas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Tratamentos referentes ao experimento

Tratamentos	Doses g. kg <sup>-1</sup> de sementes
T <sub>1</sub>	0
T <sub>2</sub>	0,05
T <sub>3</sub>	0,25
T <sub>4</sub>	0,45
T <sub>5</sub>	0,75
T <sub>6</sub>	0,95
T <sub>7</sub>	1,05

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Para o teste padrão de germinação, as sementes tratadas com vanádio para os grãos de milho, soja e trigo, seguiram a metodologia da Tabela 1. As sementes foram distribuídas aleatoriamente em papel germitest, previamente umedecidos com uma quantidade de água equivalente a 2,5 vezes o peso do substrato seco. Os rolos de cada tratamento foram colocados juntos em sacos plásticos transparentes e amarrados; posteriormente, foram acondicionados em germinador ELETROLAB (controlador de temperatura microprocessado), mantidas a 20°C para sementes de trigo e 25°C para sementes de soja e milho. As avaliações foram realizadas no 7<sup>o</sup>, 8<sup>o</sup> e 8<sup>o</sup> dias após a semeadura, para as sementes de milho, soja e trigo, respectivamente, segundo os critérios estabelecidos pelas Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais, sendo consideradas aquelas que apresentassem parte aérea e raízes bem desenvolvidas.

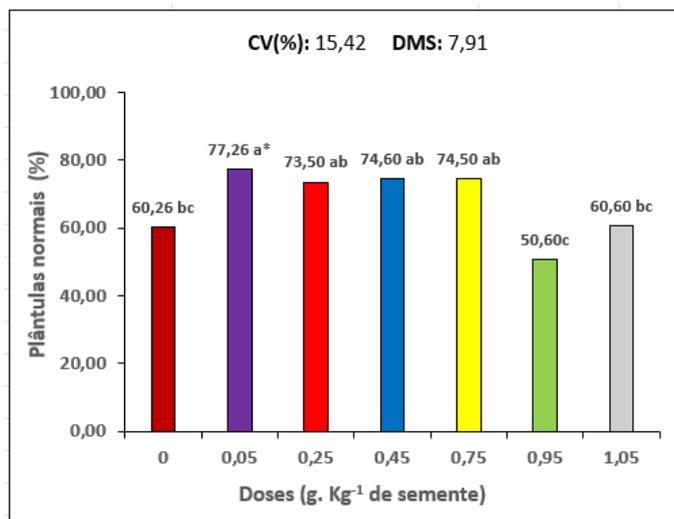
Após o teste de germinação, realizou-se a análise de crescimento de plântulas. Nas plântulas normais de cada tratamento e repetição, foram medidas a raiz e a parte aérea com auxílio de uma régua graduada em centímetros, sendo os resultados expressos em cm plântula<sup>-1</sup> (Krzyzanowski *et al.*, 1999).

As médias foram submetidas à análise de variância através do programa computacional SISVAR e posteriormente submetidas ao teste de Tukey, a nível de 5% de significância (Ferreira, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados revelou que o tratamento com diferentes doses de vanádio promoveu variações significativas no percentual de plântulas normais de milho (Figura 1). A dose de 0,05 g. kg<sup>-1</sup> foi a que apresentou maior desempenho (77,26%), sendo estatisticamente superior à testemunha (60,26%) e à dose de 0,95 g.kg<sup>-1</sup> (50,60%). As demais doses (0,25 a 1,05 g. kg<sup>-1</sup>) não diferiram estatisticamente da testemunha, apresentando desempenho intermediário. A maior dose avaliada (1,05 g. kg<sup>-1</sup>) também resultou em valor inferior, sugerindo um possível efeito tóxico em concentrações elevadas.

**Figura 1:** Porcentagens de plântulas normais em sementes de milho tratadas com vanádio



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

O efeito positivo observado na dose de 0,05 g. kg<sup>-1</sup> indica que o vanádio pode atuar como estimulante fisiológico em baixas concentrações, favorecendo o desempenho germinativo. Esse comportamento é compatível com a ação hormética descrita por Calabrese e Baldwin (2003), segundo a qual baixos níveis de estresse químico podem induzir respostas positivas no metabolismo vegetal.

O vanádio, embora não seja considerado essencial para plantas, pode influenciar o metabolismo enzimático e redox, favorecendo a atividade antioxidante e o crescimento inicial das plântulas (Wang *et al.*, 2025). Em milho, resultados similares foram observados por Ávila *et al.* (2006), que relataram melhora na emergência e vigor com a aplicação de micronutrientes em doses adequadas, sendo que o excesso pode comprometer o desempenho fisiológico das sementes.

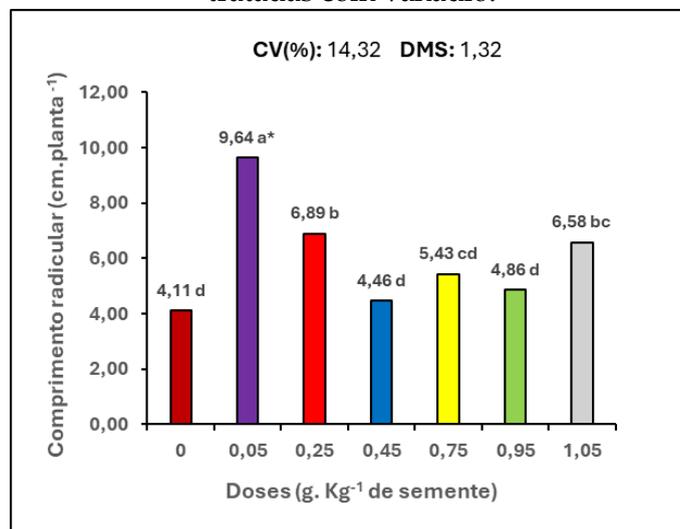
A redução da qualidade fisiológica nas doses mais altas, especialmente 0,95 g. kg<sup>-1</sup>, pode estar relacionada ao efeito tóxico do vanádio em excesso, levando à inibição de enzimas-chave, estresse oxidativo e comprometimento das membranas celulares (Hansch; Mendel, 2009). Isso reforça a importância da definição de doses seguras e eficazes para o uso desse elemento em tecnologias de tratamento de sementes.

Em relação ao comprimento radicular, o vanádio afetou de modo significativo o comprimento radicular de plântulas de milho (Figura 2). A dose de 0,05 g. kg<sup>-1</sup> de semente promoveu o maior alongamento radicular (9,64 cm), sendo estatisticamente superior ao controle (4,11 cm) e a todas as demais doses (CV = 14,32%; DMS = 1,32). Em contraste, concentrações ≥ 0,45 g. kg<sup>-1</sup> resultaram em comprimentos intermediários a baixos (4,46-6,58 cm), sugerindo uma resposta hormética não linear.

A resposta ótima observada na dose de 0,05 g. kg<sup>-1</sup> indica que baixas concentrações de vanádio podem atuar como sinalizadores redox e moduladores de vias hormonais, especialmente as de giberelinas, promovendo a divisão e o alongamento celular na região de crescimento radicular. Estudos recentes demonstram que a regulação de proteínas “della” por giberelinas, associada à sinalização redox, é crucial

para a extensibilidade da parede celular e o alongamento de tecidos jovens (Waadt *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2020).

**Figura 2:** Comprimento radicular (cm. planta<sup>-1</sup>) em sementes de milho tratadas com vanádio.

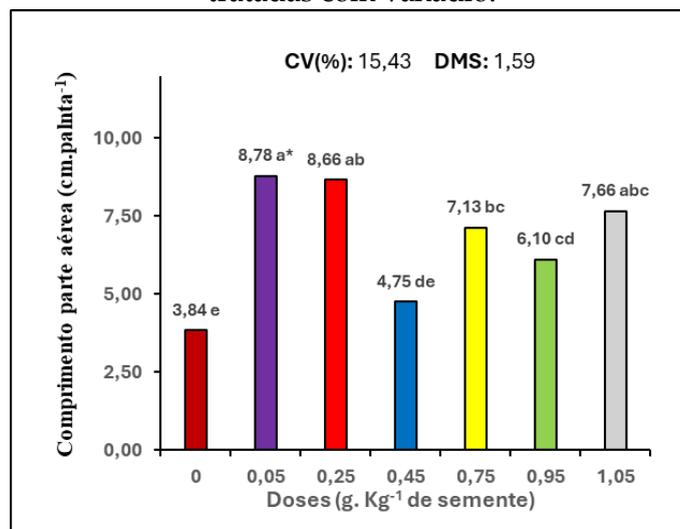


\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.  
Fonte: dados da pesquisa, 2024.

A aplicação de vanádio teve impacto significativo no comprimento da parte aérea das plântulas de milho (Figura 3). A dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> promoveu o maior crescimento, alcançando 8,78 cm, valor estatisticamente superior ao controle (3,84 cm). A dose de 0,25 g·kg<sup>-1</sup> (8,66 cm) apresentou desempenho semelhante, sem diferença estatística. Doses intermediárias (0,45–0,75 g·kg<sup>-1</sup>) e mais elevadas (0,95; 1,05 g·kg<sup>-1</sup>) resultaram em crescimentos moderados (4,75 a 7,66 cm).

A máxima resposta observada com 0,05 g·kg<sup>-1</sup> sugere que baixas concentrações de vanádio podem atuar como bioestimulante, ativando processos fisiológicos relacionados ao alongamento celular e crescimento, possivelmente via modulação de sistemas redox e vias hormonais como as de giberelinas (Waadt *et al.*, 2022; Chen *et al.*, 2020).

**Figura 3:** Comprimento da parte aérea (cm. planta<sup>-1</sup>) (C) em sementes de milho tratadas com vanádio.



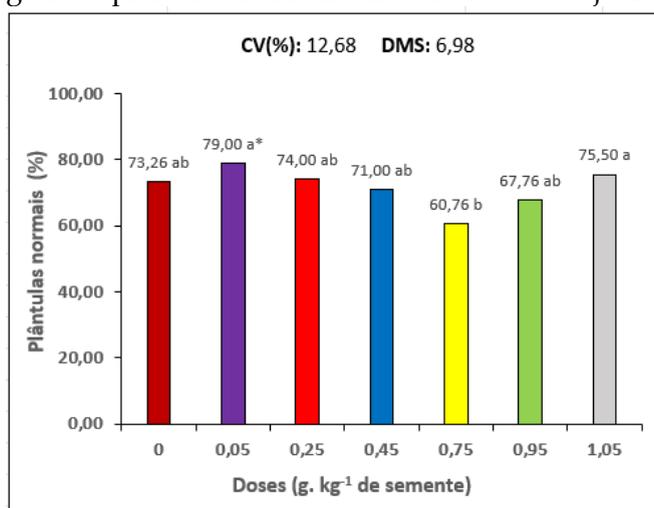
\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

A aplicação de diferentes doses de vanádio no tratamento de sementes de soja influenciou significativamente a porcentagem de plântulas normais (Figura 4). Os dados indicam uma resposta não linear à aplicação do micronutriente, com variação estatística significativa entre os tratamentos.

A dose de 0,05 g kg<sup>-1</sup> de semente proporcionou a maior porcentagem de plântulas normais diferindo estatisticamente da dose de 0,75 g. kg<sup>-1</sup>, que resultou no menor valor observado. A maior dose de 1,05 g. kg<sup>-1</sup> foi estatisticamente igual à dose de 0,05 g. kg<sup>-1</sup>. As demais doses apresentaram valores intermediários, variando estatisticamente similares à dose mais eficiente.

**Figura 4:** Porcentagens de plântulas normais em sementes de soja tratadas com vanádio.



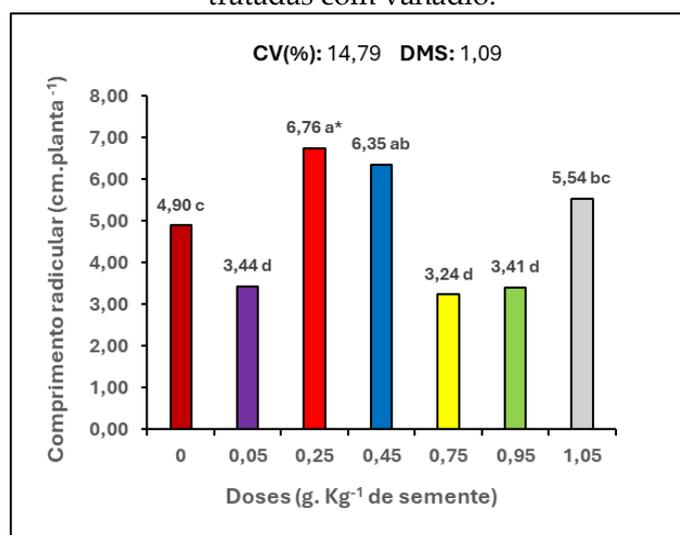
\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Na dose mais elevada de  $1,05 \text{ g. kg}^{-1}$ , houve uma tendência de recuperação dos valores, com formação de plântulas normais em níveis semelhantes à dose ótima. Esse comportamento pode indicar a ativação de mecanismos de defesa antioxidante mais eficazes nas sementes de soja expostas a concentrações mais altas, conforme também relatado por Taiz *et al.* (2017), que discutem a capacidade adaptativa de algumas espécies em contextos de estresse moderado. O micronutriente, embora não seja considerado essencial para plantas superiores, tem demonstrado efeitos bioestimulantes em concentrações traço, especialmente em leguminosas como a soja, nas quais pode atuar favorecendo processos metabólicos e bioquímicos relacionados à germinação (Silva *et al.*, 2008). Em doses reduzidas, como observado no presente estudo, o vanádio pode estimular a atividade de enzimas antioxidantes como a superóxido dismutase e a catalase, além de favorecer a mobilização de reservas nos tecidos de armazenamento, resultando em maior porcentagem de plântulas vigorosas (Gan; Chen.; Yang, 2020).

Em relação à aplicação de diferentes doses de vanádio no tratamento de sementes de soja, resultou em variações significativas no comprimento radicular das plântulas (Figura 5).

**Figura 5:** Comprimento radicular (cm. planta<sup>-1</sup>) em sementes de soja tratadas com vanádio.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

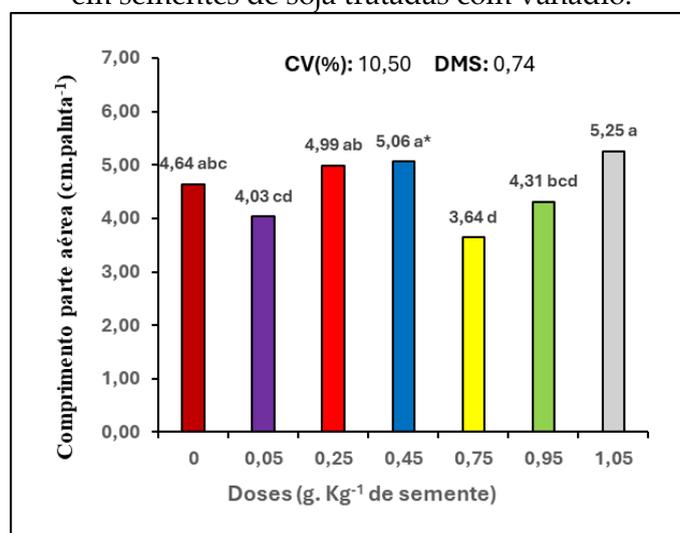
Fonte: dados da pesquisa, 2024.

A dose de  $0,25 \text{ g. kg}^{-1}$  de sementes apresentou o maior comprimento radicular diferindo estatisticamente da testemunha e da maioria das demais doses testadas. Esses dados indicam que há um efeito dose dependente do vanádio no crescimento radicular, sendo que concentrações intermediárias favorecem a alongação das raízes, enquanto doses muito baixas ou excessivas inibem esse crescimento. Tal comportamento está em consonância com estudos que apontam o vanádio como um elemento com efeitos bifásicos em plantas, podendo atuar como bioestimulante ou agente fitotóxico, dependendo da concentração (Kabata-Pendias, 2011). O estímulo ao crescimento radicular em doses moderadas pode estar relacionado ao aumento na atividade de

enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT), bem como à melhoria na absorção de nutrientes essenciais, conforme relatado por Altaf *et al.* (2022) em mudas de pimenta. Além disso, o vanádio pode modular processos hormonais, principalmente relacionados ao metabolismo de auxinas, hormônios diretamente envolvidos na diferenciação e alongamento celular (Taiz *et al.*, 2017).

Nas diferentes doses de vanádio no tratamento de sementes de soja em relação ao comprimento da parte aérea das plântulas, houve variações significativas, como consta na Figura 6. Observa-se que as doses de 1,05 e 0,45 g. kg<sup>-1</sup> respectivamente proporcionaram os maiores comprimentos, não diferindo estatisticamente entre si. Ambas também se mostraram superiores à testemunha e às doses que apresentaram as menores médias.

**Figura 6:** Comprimento da parte aérea (cm. planta<sup>-1</sup>) (C) em sementes de soja tratadas com vanádio.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Esses resultados reforçam o efeito estimulante do vanádio em doses específicas, especialmente nas fases iniciais de desenvolvimento das plântulas. A atuação do vanádio pode estar relacionada ao seu papel na regulação de enzimas antioxidantes e no metabolismo celular, contribuindo para o alongamento celular e diferenciação tecidual (Altaf *et al.*, 2022).

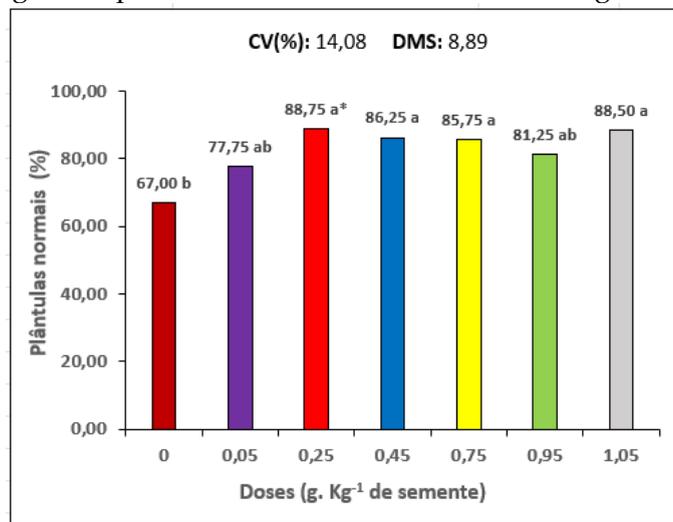
A parte aérea é uma estrutura fundamental para a emergência da plântula, e seu alongamento eficiente está diretamente ligado à capacidade de superar a resistência do solo e de estabelecer a planta no campo (Taiz *et al.*, 2017). Doses moderadas de vanádio parecem modular positivamente os níveis de auxinas e citocininas, hormônios essenciais para a expansão celular, o que pode justificar o maior desenvolvimento do hipocótilo observado nas doses de 0,45 e 1,05 g (Kabata-Pendias, 2011).

Ao analisar as sementes de trigo tratadas com o micronutriente vanádio observou-se que a aplicação do vanádio influenciou significativamente a qualidade fisiológica das sementes na formação de plântulas normais (Figura 7). Observou-se que

a dose de 0,25 e 1,05 g. kg<sup>-1</sup>, que proporcionaram os maiores percentuais de plântulas normais (88,75% e 88,50%), foi estatisticamente superiores à testemunha (67,00%).

Em contrapartida estudos desenvolvidos por Altaf *et al.* (2025) revelaram que o estresse por vanádio suprimiu significativamente o crescimento das mudas de arroz, evidenciado por reduções no peso fresco da parte aérea, conteúdo de pigmento de clorofila, assimilação fotossintética e atributos da raiz. Estudos com outros micronutrientes aplicados via tratamento de sementes indicam efeitos similares ao vanádio, como o molibdênio e o selênio, que também atuam como cofatores enzimáticos e melhoram o metabolismo das sementes em sua fase inicial (Malavolta, 2006; Gupta; Gupta, 2014).

**Figura 7:** Porcentagens de plântulas normais em sementes de trigo tratadas com vanádio.



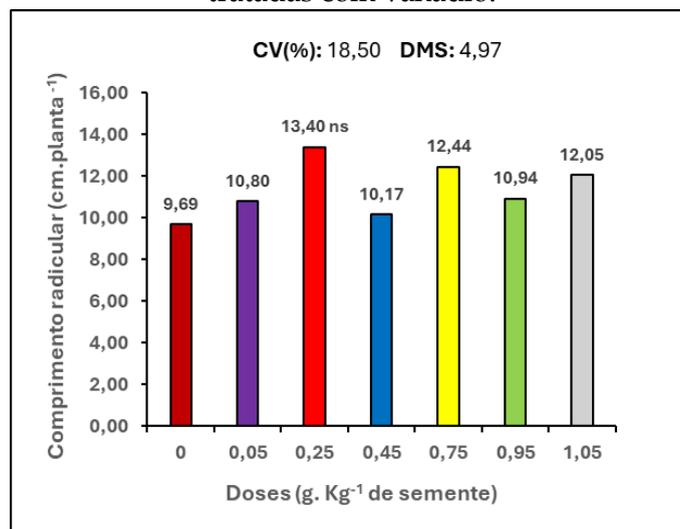
\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

Além disso, a atuação do vanádio pode estar relacionada à regulação de vias metabólicas secundárias e à atenuação de estresses abióticos, como demonstrado por Wang *et al.* (2025), o que pode justificar a resposta consistente em doses entre 0,25 e 1,05 g.

A análise do comprimento radicular de plântulas de trigo tratadas com diferentes doses de vanádio revelou variações entre os tratamentos, embora sem diferença estatística significativa (Figura 8). A maior média foi observada na dose de 0,25 g. 100 kg<sup>-1</sup> de sementes, com 13,40 cm, enquanto a testemunha apresentou 9,69 cm, sugerindo um possível estímulo morfofisiológico, mesmo em ausência de significância estatística.

**Figura 8:** Comprimento radicular (cm. planta<sup>-1</sup>) em sementes de trigo tratadas com vanádio.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

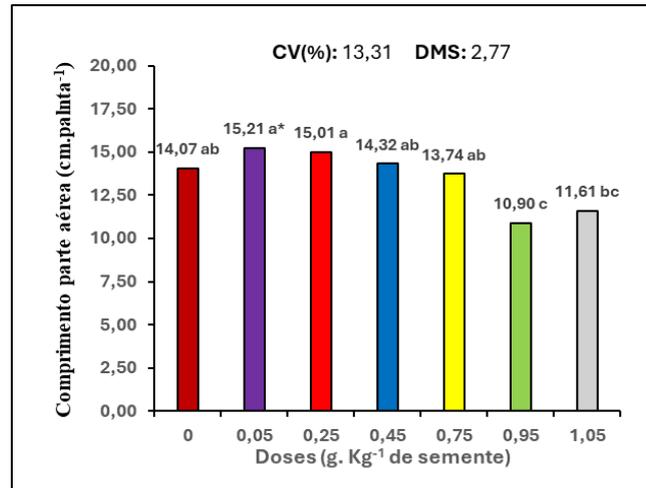
Fonte: dados da pesquisa, 2024.

O aumento do comprimento radicular em doses como 0,25 g pode indicar que o vanádio, mesmo em pequenas quantidades, pode atuar na ativação de mecanismos fisiológicos associados ao crescimento radicular, como a indução da síntese de auxinas ou a regulação da atividade de peroxidases, enzimas diretamente envolvidas na alongação celular (Taiz *et al.*, 2017).

Segundo Kranner *et al.* (2010), é relevante destacar que o comprimento radicular está diretamente relacionado à capacidade de absorção hídrica e nutricional, sendo um indicador importante de vigor e potencial de estabelecimento em campo.

A variável comprimento da parte aérea demonstrou respostas diferenciadas às doses de vanádio aplicadas no tratamento de sementes de trigo (Figura 9). Observou-se que a dose de 0,05 g. kg<sup>-1</sup> de sementes apresentou maior média estatística (15,21 cm), significativamente superior à dose de 0,95 g (10,90 cm).

**Figura 9:** Comprimento da parte aérea (cm. planta<sup>-1</sup>) (C) em sementes de trigo tratadas com vanádio.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: dados da pesquisa, 2024.

A testemunha apresentou 14,07cm, enquanto as doses de 0,25 e 0,45 g mantiveram médias estatisticamente similares às das mais altas, indicando que o vanádio, em doses reduzidas, favorece o desenvolvimento do eixo aéreo inicial da plântula. García-Jiménez *et al.* (2018) observaram em plantas de pimenta um possível efeito estimulante do vanádio sobre o alongamento celular no epicótilo, possivelmente relacionado à sua interação com vias metabólicas de crescimento, como a síntese de giberelinas e o metabolismo redox celular, bioquímicos de alongação, influenciando diretamente no comprimento de órgãos jovens em plantas.

#### 4 CONCLUSÃO

A aplicação do micronutriente vanádio influenciou positivamente a qualidade fisiológica das sementes. Em milho, a dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> resultou na maior porcentagem de plântulas normais (77,26%), no maior comprimento radicular (9,64 cm) e na maior parte aérea (8,78 cm). Na soja, observou-se que as maiores plântulas normais foram na dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> e maior comprimento radicular com 0,25 g·kg<sup>-1</sup>. Para o trigo, as doses de 0,25 e 1,05 g·kg<sup>-1</sup> proporcionaram os maiores índices de plântulas normais (88,75% e 88,50%, respectivamente), enquanto a dose de 0,05 g·kg<sup>-1</sup> favoreceu o crescimento da parte aérea (15,21 cm). Concluiu-se que o vanádio apresenta potencial como bioestimulante no tratamento de sementes, sendo as doses entre 0,05 e 0,25 g·kg<sup>-1</sup> as mais eficazes para a promoção do vigor inicial em milho, soja e trigo.

## REFERÊNCIAS

- ALTAF, M. M.; ASHRAF, S.; KHAN, M. Q.N.; SUN, X.; LI, D.; EL-SHEIKH, M. A.; XU, S.; ZHU, Z. Effectiveness of sulfur-modified wheat straw biochar in alleviating vanadium stress in rice: impacts on growth, photosynthesis, and redox regulation. **Biochar**, v. 7, n. 1, p. 71, 2025.
- ALTAF, M. A.; SHU, H.; HAO, Y.; ZHOU, Y.; MUMTAZ, M. A.; WANG, Z. Vanadium Toxicity Induced Changes in Growth, Antioxidant Profiling, and Vanadium Uptake in Pepper (*Capsicum annuum* L.) Seedlings. **Horticulturae**, 8(1), 28. 2022. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010028>.
- ÁVILA, M. R.; SILVA, M. L.; SILVA, E. F.; et al. Qualidade fisiológica e produtividade das sementes de milho tratadas com micronutrientes e cultivadas no período de safrinha. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 28, n. 4, p. 427–432, 2006. DOI: 10.4025/actasciagron.v28i4.927.
- BAYS, R. *et al.* Recobrimento de sementes de soja com micronutrientes, fungicida e polímero. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 29, n. 2, p. 60-67, ago. 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-31222007000200009>.
- BORK, C. R. *et al.* Soybean Industrial Seed Treatment: effect on physiological quality during storage. **Journal Of Agricultural Science**, v. 10, n. 8, p. 468, 10 jul. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5539/jas.v10n8p468>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.
- CALABRESE, E. J.; BALDWIN, L. A. Hormesis: the dose-response revolution. **Annual Review of Pharmacology and Toxicology**, v. 43, n. 1, p. 175-197, abr. 2003. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.pharmtox.43.100901.140223>.
- CATALINA, L. Vanadio y la Reduccion de Nitratos en las Plantas. II. Influencia del vanadio en presencia de molibdeno sobre el contenido de aminoácidos libres. **Anales de Edafologia y Agrobiologia**, v. 25, n. 11-12, p. 717-722, 1966.
- CONAB - Companhia Nacional do Abastecimento. **Perspectivas para a safra 2024/25**, v. 12, Brasília, 2024.
- CHEN, L. *et al.* IPyA glucosylation mediates light and temperature signaling to regulate auxin-dependent hypocotyl elongation in Arabidopsis. **Proceedings of the national academy of sciences**, v. 117, n. 12, p. 6910-6917, 9 mar. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.2000172117>.

CHONGKID, B; VACHIRAPATTAMA, N; JIRAKIATTIKUL, Y. Effects of Vanadium on Rice Growth and Vanadium Accumulation in Rice Tissues. **Kasetsart J. (Nat. Sci.)**, v. 41, p. 28-33, 2007.

EMBRAPA. **Produção de trigo no Brasil: safra 2024/2025**. 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um sistema de análise computacional. Para efeitos fixos do tipo Split Plot. **Revista brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, dez. 2019. Disponível em: <http://www.biometria.ufla.br/index.php/BBJ/article/view/450>.

GALINDO, F. S. *et al.* Modos de aplicação de cobalto, molibdênio e Azospirillum brasilense na produtividade e lucratividade da soja profitability. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 180-185, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n3p180-185>.

GAN, C.; CHEN, T.; YANG, J. Remediation of vanadium contaminated soil by alfalfa (*Medicago sativa* L.) combined with vanadium-resistant bacterial strain. **Environmental Technology & Innovation**, v. 20, p. 101090, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101090>.

GARCÍA-JIMÉNEZ, Atonaltzin *et al.* Vanadium stimulates pepper plant growth and flowering, increases concentrations of amino acids, sugars and chlorophylls, and modifies nutrient concentrations. **Plos One**, v. 13, n. 8, p. 0201908, 9 ago. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0201908>.

GUPTA, U. C.; GUPTA, S. C. Sources and Deficiency Diseases of Mineral Nutrients in Human Health and Nutrition: a review. **Pedosphere**, v. 24, n. 1, p. 13-38, fev. 2014. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160\(13\)60077-6](http://dx.doi.org/10.1016/s1002-0160(13)60077-6).

HÄNSCH, R.; MENDEL, R. R. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). **Current Opinion In Plant Biology**, v. 12, n. 3, p. 259-266, jun. 2009. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama da Produção de Grãos no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 548 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/b10158>

KUMARI, S. *et al.* Zinc-functionalized thymol nanoemulsion for promoting soybean yield. **Plant Physiology And Biochemistry**, v. 145, p. 64-74, dez. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.10.022>.

KRANNER, I. *et al.* What is stress? Concepts, definitions and applications in seed science. **New Phytologist**, v. 188, n. 3, p. 655-673, set. 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03461.x>.

KRZYŻANOWSKI, F. C. *et al.* **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina, ABRATES, 1999.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

O'HARA, G. W. Nutritional constraints on root nodule bacteria affecting symbiotic nitrogen fixation: a review. **Australian Journal Of Experimental Agriculture**, v. 41, n. 3, p. 417, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1071/ea00087>.

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. 2. ed. Campinas: Embrapa Territorial, 2020. 34 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, ISSN 1806-3322, n. 35).

SINGH, B. B. Effect of vanadium on the growth, yield and Chemical composition of maize (*Zea mays L.*), **Plant and Soil**, vol. 34, n. 1, p. 209-213, 1971. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01372773>.

SINGH, B., WORT, D. J. Effect of vanadium on growth, chemical composition, and metabolic processes of mature sugar beet (*Beta vulgaris L.*) plants. **Plant Physiology**, 44(9), 1321-1327, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.1104/pp.44.9.1321>.

SILVA, T. T. A.; VON PINHO, É. V. R.; CARDOSO, D. L.; FERREIRA, C. A.; ALVIM, P. O.; COSTA, A. A. F. Qualidade fisiológica de sementes de milho na presença de bioestimulantes. Physiological quality of corn seeds in the presence of biostimulants. **Ciência e Agrotecnologia**, 32(3), 840-846, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000300021>

SOARES, L. H., L. H. *et al.* Soybean seed treatment with micronutrients, hormones and amino acids on physiological characteristics of plants. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 35, p. 3314-3319, 1 set. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5897/ajar2016.11229>.

TAIZ, L. *et al.* **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TAYLOR, A. G; HARMAN, G. E. Concepts and Technologies of Selected Seed Treatments. **Annual Review of Phytopathology**, v. 28, n. 1, p. 321-339, set. 1990. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.py.28.090190.001541>.

WAADT, R. *et al.* Plant hormone regulation of abiotic stress responses. **Nature Reviews Molecular Cell Biology**, v. 23, n. 10, p. 680-694, maio 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41580-022-00479-6>.

WANG, Zhe; TANG, Chengjing; YAO, Debao; LIU, Yanlan; MI, Xue; LI, Yanhua; ZHAO, Yongping. **Zinc nanoparticles alleviate vanadium stress in wheat (*Triticum aestivum* L.)**: impacts on vanadium accumulation, nitrogen assimilation, and amino acid profile. SSRN, 13 jun. 2025. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.5291412>.

WIATRAK, P. P. Effect of Polymer sees coating with micronutrientes on soybeans in Southeastern Coastal Plains. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, v. 8, n. 4, p. 302-308, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3844/ajabssp.2013.302.308>.