



DENILSON COSTA DOS SANTOS

**ÓXIDO DE GRAFENO NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO
DE GIRASSOL**

LAVRAS – MG

2024

DENILSON COSTA DOS SANTOS

ÓXIDO DE GRAFENO NA GERMINAÇÃO E DESENVOLVIMENTO DE GIRASSOL

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 23 de agosto de 2024.

Profa. Dra. Michele Valquíria Dos Reis

Orientadora

Dr. Antônio Rodrigues da Cunha Neto

Coorientador

LAVRAS – MG

2024

Aos meus pais.

Familiares.

Dedico.

AGRADECIMENTO

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, que me deu forças nos momentos de dificuldades e me manteve firme durante toda minha vida. Agradeço aos meus pais Carlos e Francisca, sem eles eu não teria o suporte e a resiliência que precisei durante toda esta jornada e, principalmente, no período em que mais precisei ser forte e superar os desafios impostos. Agradeço aos meus irmãos, Carlos, Marília, Mariza, Charle e Silvanira, aos meus sobrinhos, Evelyn e Matheus que sempre me incentivaram e me apoiaram na busca constante aos meus sonhos, na busca incansável pelos meus objetivos. Agradeço aos professores incríveis que tive durante o curso, que me inspiram, agradecimento especial à minha Orientadora Michele, por toda paciência, dedicação e generosidade ao longo destes anos.

Agradeço aos meus coorientadores, Drucylla, Antônio e Marisa, por todo o apoio e paciência durante a realização deste trabalho. Agradeço a todos os amigos que tive o privilégio de conhecer nos anos em que estive na Universidade, e como morador do Alojamento estudantil, o Brejão, e tantos outros que estiveram comigo e compartilharam das alegrias e do privilégio que é a vida. Por fim agradeço à Universidade Federal de Lavras e ao grupo do Horto Botânico que me acolheu tão bem e me propiciou esses anos de aprendizado e oportunidades. Minha eterna GRATIDÃO a todos que de alguma forma me fizeram evoluir como pessoa e como profissional.

GRATIDÃO!

RESUMO

O uso de óxido de grafeno tem atraído cada vez mais atenção por seus efeitos, dada a capacidade de penetrar nos tegumentos de sementes, favorecendo a germinação precoce e a ativação do crescimento em plântulas. Exposto isso, objetivou-se avaliar a utilização de óxido de grafeno em diferentes concentrações em sementes de girassol (*Helianthus annuus*) e seus efeitos na germinação e crescimento em vaso. O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Horto Botânico da Universidade Federal de Lavras-UFLA. As sementes foram embebidas por uma hora em diferentes concentrações de óxido de grafeno (25, 50, 100 e 200 mg/L) mais o controle (água destilada). Após a embebição, as sementes foram semeadas em bandejas de polietileno e substrato comercial Carolina Soil. Os parâmetros avaliados foram: porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação (IVG), altura das mudas, número de folhas expandidas e não expandidas, plântulas anormais, quantificação da área foliar, com aplicativo Canopeo®. Após 21 dias da semeadura foi aferido o comprimento da raiz e da parte aérea, peso fresco e seco da parte aérea e radicular. Escolhendo-se cinco plantas de cada tratamento que foram transplantadas para vasos, onde se avaliou a cada 7 dias, durante 63 dias, crescimento e desenvolvimento em vaso, para os parâmetros: altura, número de folhas expandidas e não expandidas, diferenciação floral e início da senescência. A análise da germinação revelou que os tratamentos 50 e 200 mg/L apresentaram índices de velocidade de germinação superiores, indicando uma resposta positiva dessas sementes ao óxido de grafeno. No entanto, houve ausência de diferenças significativas em parâmetros como matéria seca, altura e número de folhas. Já para a análise do crescimento, os tratamentos com 50, 100 e 200 mg/L de óxido de grafeno induziram desempenho em altura das plântulas. Por sua vez, para a diferenciação floral, os tratamentos apresentaram respostas variadas, sugerindo uma influência das concentrações de óxido de grafeno na morfologia floral das plantas de girassol ornamental. Diante disso, é notório que o óxido de grafeno mostra-se eficiente para a germinação de sementes de girassol e desenvolvimento.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*; Sementes; nanotecnologia; nanocomposto, óxido de grafeno;

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Distribuição da produção mundial de grafite em 2021, dados referenciados do US Geological Survey, 2022.	13
Figura 2: Sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de solução com óxido de grafeno.	16
Figura 3: Sementes de girassol semeadas em bandejas e alocadas em casa de vegetação, após embebição em soluções com diferentes concentrações de óxido de grafeno.....	17
Figura 4: Mudanças de girassol em bandejas advindas de sementes embebidas em soluções com 100mg/L de concentração de óxido de grafeno.	17
Figura 5: Plantas de girassol advindas de sementes embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno infestadas com oídio, evolução da doença.	18
Figura 6: Medição de altura da parte aérea e raízes de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.....	19
Figura 7: Flor de girassol em desenvolvimento e totalmente formada advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno aos 63 dias do desenvolvimento em vaso.....	20
Figura 8: Porcentagem de germinação em bandejas de sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	21
Figura 9: Índice de velocidade de germinação (IVG) calculado segundo a metodologia de Maguire (1962), de sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.....	22
Figura 10: Quantificação de área vegetativa obtidas através de imagens feitas a partir do aplicativo Canopeo®, aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura das sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	23
Figura 11: Imagens feitas a partir do aplicativo Canopeo® da área vegetativa aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura de sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.....	24
Figura 12: Análise de regressão do crescimento em altura de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.....	27
Figura 13: Análise de regressão do número de folhas completamente expandidas ao longo do experimento de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	29
Figura 14: Análise de regressão do número de folhas não expandidas ao longo do experimento de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	30
Figura 15: Porcentagem por dia da diferenciação floral, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, após transplântio para vasos.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão da germinação de sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	21
Tabela 2: Médias em gramas de matéria fresca da parte aérea (MF aérea), matéria seca da parte aérea (MS aérea), matéria fresca de raiz (MS Raiz) e matéria seca de raiz (MS Raiz) de mudas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno aos 21 dias após a semeadura.....	25
Tabela 3: Médias de altura, comprimento de raiz, número de folhas expandidas e não expandidas de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno aos 21 dias após a semeadura.	25
Tabela 4: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão da altura de plantas de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	27
Tabela 5: Médias de altura, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, medidas em diferentes dias, após transplantio para vasos.....	28
Tabela 6: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão do número de folhas completamente expandidas de plantas de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	29
Tabela 7: Médias do número de folhas expandidas, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, contabilizadas em diferentes dias, após transplantio para vasos.	29
Tabela 8: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão do número de folhas não expandidas de plantas de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.	30
Tabela 9: Médias do número de folhas não expandidas, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, contabilizadas em diferentes dias, após transplantio para vasos.	31

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	8
2 REFERENCIAL TEÓRICO	9
1. A cultura do girassol.....	9
1.1 Importância da cultura:	9
1.2 Aspectos gerais e produção de flores de girassol:.....	10
1.3 Aspectos botânicos:	11
2 Grafeno	12
3. Grafeno na agricultura e nas sementes	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1 Óxido de Grafeno:	15
3.2 Sementes:	15
3.3 Preparo das soluções com o Óxidos de grafeno:.....	16
3.4 Avaliações da germinação das sementes.....	18
3.5 Avaliações em vaso:.....	19
3.6 Análise estatística.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES:.....	21
4.1 Germinação em bandejas:	21
4.2 Crescimento das plantas em vaso:.....	26
4.3 Discussão:.....	33
5 CONCLUSÃO:.....	35
REFERÊNCIAS:	36

1 INTRODUÇÃO

A floricultura é um dos setores mais inovadores e desafiadores do agronegócio brasileiro, sendo necessário o incremento de tecnologias e a busca pela melhor qualidade e inovação. Sendo amplamente distribuída por todas as regiões do país, muito embora o maior volume de produção ainda seja proveniente das regiões Sudeste e Sul (CEPEA, 2022).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Floricultura (IBRAFLO, 2022) o crescimento nos últimos cinco anos do setor ornamental no país tem sido bastante satisfatório. Com isso, se destaca como um importante campo da economia brasileira, com aproximadamente 8 mil agricultores de flores e plantas, com 209.000 empregos diretos, sendo que 81.000 (38,76%) relativos à produção, 9.000 (4,31%) à distribuição, 112.000 (53,59%) no varejo e 7.000 (3%) em outras funções, em maior parte como apoio (IBRAFLO, 2022).

Dentre as espécies cultivadas com finalidade ornamental, merece destaque o *Helianthus annuus* L. conhecido como girassol. Essa espécie representa uma alternativa muito viável para o setor, por apresentar grande aceitação por parte do freguês e por possuir inflorescências exuberantes, que dão mais existência e movimento ao ambiente em arranjos e decorações. Vários são os aspectos positivos na escolha do girassol como planta ornamental, o ciclo curto, possibilitando o cultivo durante o ano todo, e a facilidade de manejo (CURTI et al., 2012).

Portanto, devido a importância da floricultura no país e grandes potencialidades do cultivo de girassol ornamental, estudos científicos que visem o aprimoramento das técnicas de cultivo dessa espécie são de grande importância para os produtores, consumidores e para a movimentação econômica do setor.

A utilização de novas moléculas e compostos, como o óxido de grafeno (GO), vem despertando o interesse para o uso na agricultura, pois pesquisas indicam efeitos positivos em diferentes espécies de plantas. Os efeitos do óxido de grafeno no crescimento da planta variam em diferentes estágios de desenvolvimento, como germinação de sementes, crescimento de raiz e parte aérea e floração (KHODAKOVSKAYA et al, 2012). Os efeitos biológicos do óxido de grafeno parecem estar intimamente relacionados a variáveis como espécies de plantas e concentrações utilizadas (ZHANG et al, 2015).

Com isso, o objetivo deste estudo foi aferir a influência de diferentes concentrações de óxido de grafeno na germinação de sementes e posteriormente o desenvolvimento de plantas de girassol ornamental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

1. A cultura do girassol

1.1 Importância da cultura:

A cultura do girassol apresenta grande importância no cenário agrícola nacional, provavelmente devido à capacidade de se adaptar a condições edafoclimáticas diversas, mas sobretudo à sua ampla versatilidade no que diz respeito às formas de comercialização. Semente, óleo comestível, farelo, torta, biodiesel e ornamental são algumas formas de exploração dessa magnífica cultura (OLIVEIRA et al., 2022).

A grande importância da cultura do girassol no mundo se deve à excelente qualidade do óleo comestível que é extraído de seus aquênios, é considerado como um dos óleos de melhor qualidade nutricional e organoléptica (aroma e sabor). Se destaca como uma das oleaginosas potencialmente promissora, capaz de fomentar o programa Biodiesel no Brasil (YOKOMIZO, 2003; SANTOS JÚNIOR et al., 2011). Além disso, a massa resultante da extração do óleo rende torta rica em proteínas, que pode ser utilizada na produção de ração. O girassol também pode ser utilizado na silagem para alimentação animal, para consumo humano e, além disso, seu cultivo pode ser associado a apicultura (OLIVEIRA; VIEIRA, 2004; EMBRAPA, 2005).

Como a maioria das espécies cultivadas, a planta de girassol pode ser utilizada de diversas formas: flor ornamental; grãos in natura e farelo (ração) para alimentação de aves, suínos e bovinos, forragem, silagem. Também pode ser consumido na alimentação humana, tostado. Sendo mais tradicional o consumo do fruto in natura para alimentação de aves, neste caso utilizam-se as sementes não oleosas, pelo fato de serem facilmente removíveis. No processo de melhoramento e desenvolvimento da cultura, a destinação dos frutos, entretanto, foi redirecionada para a extração de óleo, a qual hoje é a principal finalidade do girassol (MANDARINO, 2005).

É utilizado também como uma importante alternativa econômica no sistema de rotação, consórcio e sucessão de culturas nas regiões produtoras de grãos (PORTO et al., 2007; BACKES, 2008).

1.2 Aspectos gerais e produção de flores de girassol:

A produção de girassol no Brasil e no mundo tem grande relevância tanto na indústria alimentícia quanto na produção de óleo vegetal e uso ornamental.

Originária da América do Norte, a cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) foi levada pelos colonizadores para a Europa em meados do século XVI, despertando neste continente grande interesse como planta ornamental. A produção de óleo de girassol em escala comercial ocorreu posteriormente na Rússia, onde teve início o fomento ao desenvolvimento da cultura, o melhoramento genético da espécie e a instalação das primeiras prensas (OLIVEIRA et al., 2022). Posteriormente, foi reintroduzido nos Estados Unidos e disseminado para diversos países com o propósito de produção de grãos e biodiesel (DALLAGNOL; VIEIRA; LEITE, 2005).

A floricultura sempre se caracterizou como um dos segmentos mais promissores da horticultura intensiva e vista como uma importante atividade socioeconômica no mercado, na geração de emprego e renda; e, também valorizando a inclusão social de parcelas e segmentos importantes da pequena propriedade e da agricultura familiar, especialmente a mão de obra feminina. Mesmo com a crise da pandemia da Covid-19, o mercado brasileiro de flores e plantas ornamentais movimentou em 2020 cerca de R\$ 9,6 bilhões, um crescimento de 10% em relação a 2019 (IBRAFLOR, 2021; DE MOURA et al., 2022).

No âmbito nacional, há um aumento no mercado nacional de flores de 15% em 2021 em comparação com o ano anterior, resultando em uma soma de 10,9 milhões de faturamento (IBRAFLOR, 2021). No Brasil, mais de 90% da produção é direcionada ao abastecimento do mercado interno, sendo que a maioria dos produtores se encontra no ramo de micro e pequenas empresas. É possível pontuar que o mercado brasileiro de flores tem grande importância econômica e social, contribuindo para a geração de empregos, tanto na produção, distribuição, varejo, dentre outras funções. No país, há uma estimativa de que existe uma média de oito mil produtores de flores e plantas, cultivando mais de duas mil espécies, gerando empregos em diversas áreas (COSTA et al., 2019).

Embora o girassol seja amplamente cultivado para fins agrícolas e industriais, sua beleza e imponência também o tornaram uma escolha popular para fins ornamentais. A produção de girassol ornamental geralmente segue técnicas semelhantes às do girassol cultivado para outros fins. É necessário fornecer as condições edafoclimáticas para o cultivo dessas flores (SILVA, 2017).

Dentre as espécies ornamentais cultivadas, nos últimos anos houve um aumento significativo na utilização do girassol ornamental, tanto para flores de corte quanto para vasos. O girassol ornamental tem se destacado pela beleza, aparência rústica, fácil propagação e manejo, e, ciclo curto, o que permite seu cultivo e produção em diferentes regiões, tornando-se uma excelente alternativa para pequenos produtores (NASCIMENTO et al., 2019; EZZ et al., 2021, DE MOURA et al., 2022).

Do ponto de vista econômico, a produção de girassol ornamental desperta grande interesse dos produtores e investidores devido a sua alta rentabilidade, demanda de pequenas áreas, produção intensiva e o rápido retorno do capital investido (OLIVEIRA et al., 2017). Se destacando por sua beleza, aparência rústica e fácil manejo, possibilitando seu cultivo em diferentes regiões (ALVES et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2019). Essas características tornam o girassol ornamental uma escolha versátil para paisagismo e decoração.

Segundo o IBGE a cultura do girassol no Brasil, atingiu em produção 131 173 toneladas de grãos em uma área de 80.818 hectares no ano de 2019 (IBGE, 2019).

1.3 Aspectos botânicos:

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma dicotiledônea anual com distribuição cosmopolita e pertencente à família Asteraceae (HEISER JR, 1978; MEDEIROS, 2021). Que se reproduz por meio de polinização cruzada, é anual, extremamente atrativa para paisagismo e exibe flores chamativas. Possuindo características arbustivas e herbáceas, suas flores formam capítulos, com pétalas que se desenvolvem ao redor de um disco formado por brácteas protetoras das sementes (LORENZI, 2008).

Além do sistema radicular do tipo pivotante, que cresce mais rapidamente que a parte aérea da planta, desenvolve numerosas raízes secundárias que possibilitam uma exploração eficiente do solo e de seus recursos. Esses atributos contribuem para sua resistência à seca em comparação com outras espécies produtoras de grãos, além de facilitar a ciclagem de nutrientes nas camadas mais profundas do solo (BORTOLINI et al., 2012).

Geralmente constituída por única haste (podendo apresentar ramificações), a parte aérea é ereta, pubescente ou lisa, vigorosa, cilíndrica e maciça. Ao longo do caule, distribuem-se folhas pecioladas em número e formas variáveis (ROSSI, 1998), com dois tipos de filotaxia: oposta em pares da fase V4 até a V8 e, posteriormente, alternada em espiral (CASTRO e FARIAS, 2005).

Possui inflorescências do tipo capítulo, com formação plana, convexa ou côncava, contendo flores do disco que dão origem aos frutos (aquênios), e flores do raio, que são estéreis e servem para atrair insetos polinizadores. Os capítulos, geralmente com diâmetros de 6 a 50 cm, podem conter entre 100 e 8000 flores, com 800 a 1700 por capítulo (CASTRO et al., 1996). A haste e a inflorescência do girassol são os principais componentes na produção de massa ou em arranjos ornamentais (KAKIDA et al., 1981).

O órgão da planta de maior importância econômica é o fruto, impropriamente chamado semente. O fruto do girassol é um fruto seco, do tipo aquênio, oblongo, geralmente achatado,

composto pelo pericarpo (casca) e pela semente propriamente dita (polpa ou amêndoa). Conforme o cultivar, o fruto é variável quanto ao tamanho, cor e teor de óleo (PEIXOTO, 2004).

2 Grafeno

Nanoestruturas de carbono têm despertado grande interesse nas pesquisas devido às suas propriedades excepcionais, inaugurando uma nova era de estudos na ciência e nanotecnologia. Isso se deve à versatilidade do elemento carbono, considerado a unidade estrutural fundamental da química orgânica. Sob diferentes condições de formação, o carbono se manifesta em variadas formas alotrópicas, como diamante, fulerenos, nanotubos de carbono, grafite e grafeno (NARKSITIPAN, 2014; SILVA, 2013; YUAN, 2014).

O óxido de grafeno (GO), quimicamente semelhante ao grafite oxidado, é a forma oxidada do grafeno que contém os grupos epóxi, hidroxila e carboxila. Esses grupos permitem que o GO tenha melhores características do que outros derivados do grafeno (por exemplo, haletos ou amidas), e essas características do GO incluem estabilidade fisiológica, biocompatibilidade e hidrofiliabilidade (SHAH, 2015).

O termo “grafeno” foi usado pela primeira vez em 1987, mas a definição oficial foi dada pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) em 1994. A existência era considerada impossível em condições ambientais por mais de 80 anos, devido à crença de que a vibração natural do material o destruiria (GEIM & NOVOSELOV, 2007). Somente em 2004, pesquisadores conseguiram isolar pequenos fragmentos esfoliados a partir de grafite e após análises de caracterização verificaram que se tratava de uma estrutura de uma única camada de átomos de carbono (PEI et al. 2010).

Apresenta a estrutura do grafeno como bloco básico de construção para quase toda a família de alótropos de carbono. Os fulerenos e nanotubos de carbono podem ser visualizados como sendo uma folha de grafeno enrolada, formando uma esfera e sobre o próprio eixo formando um cilindro, respectivamente (NARKSITIPAN, 2014; SILVA, 2013; YUAN, 2014). O grafite, no entanto, pode ser descrito como uma pilha de folhas de grafeno deslocados alternadamente (GEIM & NOVOSELOV, 2007).

A estrutura do grafeno é composta de átomos de carbono sp^2 ligados e dispostos em um retículo bidimensional. A rede pode ser vista como composta de dois subretículos interpenetrados em forma triangular, sendo a distância entre esses retículos igual a 3.35Å e o comprimento da ligação entre os átomos de carbono 1.42Å (SOLDANO et al. 2010).

Cada átomo tem um orbital no plano s e dois no plano p, que contribuem para a estabilidade mecânica da folha de carbono. Os orbitais p restantes, perpendiculares e

orientados para o plano molecular, cruzam-se para formar as bandas de condução e de valência, que causam os fenômenos de condução planar (SOLDANO et al. 2010).

A distribuição da produção mundial de grafite em 2021 é mostrada na (Figura 1). De acordo com os dados mais recentes da US Geological Survey, a China assumiu a primeira posição na produção de grafite em 2021, seguida pelo Brasil e Moçambique (U.S. GEOLOGICAL SURVEY 2022). Em comparação com os países desenvolvidos no mundo, a China tinha menos grafite de alta qualidade e alto grau (ZHANG et al., 2021). No ano de 2020, um depósito extra grande de grafite foi descoberto na cidade de Datong, na China, com um total de cerca de 100 milhões de toneladas de recursos minerais de grafite na área. O depósito descoberto é de grafite cristalino, que tem as características de ser grande, fácil de selecionar e fácil de processar. É importante ressaltar que esse minério é a matéria prima do grafeno de alta qualidade (WANG, 2020).

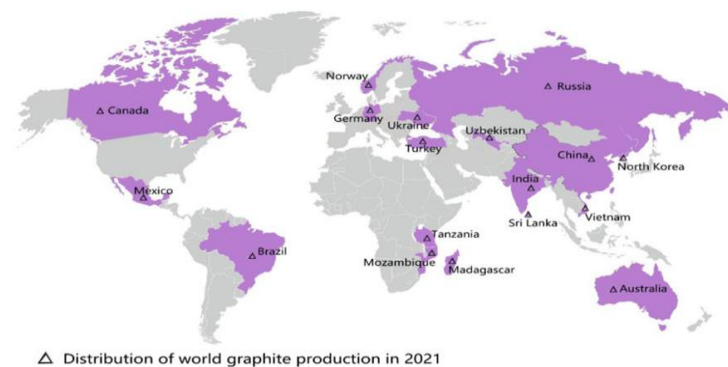


Figura 1: Distribuição da produção mundial de grafite em 2021, dados referenciados do US Geological Survey, 2022.

3. Grafeno na agricultura e nas sementes

As excelentes propriedades do GO estenderam rapidamente suas promissoras aplicações em biomedicina, química, proteção ambiental, armazenamento de energia e agricultura (XU et al., 2010).

Os efeitos positivos do GO têm sido observados em diferentes espécies de plantas. Os efeitos do GO no crescimento da planta variam em diferentes estágios de desenvolvimento, como germinação de sementes, crescimento de raiz e parte aérea e floração (CHEN et al., 2021).

De acordo com recentes pesquisas (YANG et al 2022), os efeitos biológicos do GO parecem estar intimamente relacionados a variáveis como espécies de plantas e

concentração de GO. Segundo (ZHANG et al., 2021) em comparação com a parte aérea, 10-100 mg/L de GO apresentou maior influência no crescimento radicular da *Aloe vera*. O peso fresco da raiz, o comprimento total da raiz, a área total da superfície da raiz e o volume total da raiz foram significativamente elevados por diferentes concentrações de tratamento com GO.

Já para (REN, 2020; GRAO, 2019), uma concentração de 100 mg/L de GO poderia promover o crescimento radicular de mudas de trigo e o alongamento do rizoma de arroz. Uma concentração de 50 mg/L de tratamento com GO aumentou notavelmente o comprimento total da raiz, o volume da raiz e o número de pontas e forquilhas de raízes de mudas de milho em comparação com as do grupo controle (CHEN et al., 2021).

Porém, além dos efeitos positivos, resultados adversos nas plantas também foram relatados em relação ao risco potencial de GO. Uma alta concentração de GO pode inibir o crescimento e desenvolvimento das plantas e resultar em alterações morfológicas prejudiciais. O estresse oxidativo é o principal mecanismo de inibição do crescimento da planta em uma alta concentração de GO, o que leva a uma alta quantidade de espécies reativas de oxigênio (ROS), como sugerido pelas altas atividades de enzimas antioxidantes relatado em estudos de YANG et al (2022).

Em estudos de (ANJUM et al 2014) investigando os efeitos negativos do GO na fisiologia e bioquímica da planta têm focado nas atividades de enzimas antioxidantes e no conteúdo de malondialdeído (MDA), que funciona como biomarcador de estresse oxidativo, pois é um dos metabólitos resultantes da peroxidação lipídica. Por exemplo, o mesmo autor relatou os impactos negativos do GO, indicados pelas altas atividades de enzimas antioxidantes como CAT e ascorbato peroxidase (APX), e pelos aumentos nos níveis de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxidação lipídica. Já (LI et al., 2018) descreveu que o tratamento com 0,1–10 mg/L de GO aumenta as atividades das enzimas do estresse oxidativo, incluindo CAT, POD e SOD, em macieiras, em relação aos seus controles. Além disso, os níveis de MDA diminuíram com 10 mg/L de GO. No entanto, (ZHAO et al., 2021) depois de tratar mudas de milho com diferentes concentrações de GO, não houve diferenças significativas na atividade de SOD e POD (peroxidase), enquanto a atividade de CAT e o teor de MDA aumentaram com o aumento da concentração de GO. Além disso, descobriu-se que o tratamento com 5-100 mg/L de GO não teve efeito significativo no conteúdo de MDA, mas afetou as atividades das enzimas SOD, POD e CAT (CHENG et al., 2016).

Curiosamente (ZHANG et al., 2021), verificou que, embora o tratamento com GO tenha aumentado o teor de EL e MDA em *Aloe vera*, o tratamento com GO não aumentou as atividades das enzimas antioxidantes da raiz ou diminuiu o vigor da raiz. Esses experimentos

indicam que os efeitos adversos do GO no crescimento e desenvolvimento da planta são muito complicados e dependem do genótipo da planta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido de janeiro a abril de 2023 em casa de vegetação do Horto Botânico, no Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras, UFLA, localizada no sul do Estado de Minas Gerais com altitude: 918 m; latitude: 21° 14' S; longitude: 45° 00' W.

3.1 Óxido de Grafeno

O óxido de grafeno foi originalmente produzido pela Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, a qual detém tecnologia para produção, na concentração de 5g/L, sendo utilizado como solução estoque, adquirido e conservado em condições refrigeradas, e utilizado para os experimentos.

3.2 Sementes

Para o experimento, foram utilizadas as sementes comerciais obtidas em casa de produtos agropecuários, no município de Lavras- MG. As sementes foram selecionadas manualmente, observando caracteres de qualidade física e sanitária. Relacionados a qualidade física, foram selecionadas sementes de mesmo tamanho e largura e que não apresentassem malformação ou se fossem sementes chochas. A respeito da qualidade sanitária, foram evitadas as sementes que estavam danificadas por brocas e que apresentavam fungos visíveis a olho nu.

3.3 Preparo das soluções com o Óxidos de grafeno

A partir de solução estoque de óxido de grafeno, foram utilizadas diferentes concentrações como tratamentos para o estudo, onde: T1-25; T2-50; T3-100 e T4-200 mg/L e também água destilada como o tratamento controle (T0).

Após o preparo das soluções, as sementes foram colocadas em um frasco com as respectivas concentrações e mantidas por uma hora para embebição (Figura 2). Para o controle, foi utilizada somente água destilada. Utilizou-se 50 sementes por tratamento, totalizando 250 sementes.



Figura 2: Sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de solução com óxido de grafeno.

Posteriormente, as mesmas sementes foram semeadas em bandeja de polietileno, com substrato comercial Carolina Soil, cujo CE é 0,7 e a classe interna é XVI, como demonstrado na (Figura 3). As bandejas foram mantidas em casa de vegetação, sendo regadas apenas com água, todos os dias da semana (Figura 4). Nesse período, não foi feito nenhum tipo de adubação.



Figura 3: Sementes de girassol semeadas em bandejas e alocadas em casa de vegetação, após embebição em soluções com diferentes concentrações de óxido de grafeno.



Figura 4: Mudanças de girassol em bandejas advindas de sementes embebidas em soluções com 100mg/L de concentração de óxido de grafeno.

Após 21 dias nas bandejas de germinação, foram escolhidas cinco plantas de cada tratamento que foram transplantadas para vasos. Os vasos foram preenchidos com um substrato comercial Carolina Soil®, além de terra, argila e feitas irrigações todos os dias. Os vasos com as plantas de girassol foram mantidos em casa de vegetação por 63 dias. Nesse período, não foi feito nenhum tipo de adubação.

Aos 14 dias do transplante das mudas para os vasos, foi observada a presença de oídio *Erysiphe cichoracearum* DC. em todos os tratamentos (Figura 5), para o controle do oídio, foi aplicado 0,5 mL de óleo de nim *Azadirachta indica* A. Juss, por litro de água, as aplicações foram feitas após a irrigação das plantas, na parte mais fria do dia, sendo feitas duas aplicações sequenciais, no intervalo de 7 dias, no entanto, o controle não mostrou-se tão eficaz.



Figura 5: Plantas de girassol advindas de sementes embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno infestadas com oídio, evolução da doença.

3.4 Avaliações da germinação das sementes

As plântulas foram avaliadas com 4, 7, 10, 13, 16 e 21 dias após o plantio das sementes nas bandejas. Foram contabilizados a porcentagem de germinação de cada dia e

índice de velocidade de germinação. O índice de velocidade de germinação foi calculado de acordo com a fórmula de Maguire (1962):

$$IVG = \frac{N1}{D1} + \frac{N2}{D2} + \dots + \frac{Nn}{Dn}$$

(1)

Onde:

N = números de plântulas germinadas no dia da contagem;

D = números de dias após a semeadura em que foi realizada a contagem

Foram aferidas a altura das mudas, número de folhas expandidas e não expandidas e contabilizado o número de plântulas anormais, ou seja, plântulas que apresentassem deformidades e malformações em folhas e caules. Após 21 dias da semeadura, foi avaliado o comprimento da raiz e da parte aérea, peso fresco e seco da parte aérea e radicular. Análises visuais foram feitas diariamente a fim de identificar possível toxicidade foliar pelo uso do óxido de grafeno.

A altura das plântulas foi medida com régua graduada, tomando como padrão a gema terminal (meristema apical) até a base do caule onde se iniciavam as raízes como ilustrado na figura 6. Para a contagem do número de folhas, foram contabilizadas somente as folhas completamente expandidas e as não expandidas. Para quantificação da matéria seca, as plântulas foram colocadas em sacos de papel manteiga devidamente identificados e, posteriormente, foram alocadas em estufa a 105 °C por um período de aproximadamente 120 horas (até adquirir peso constante). A determinação do peso da matéria fresca e seca foi feita em balança digital de precisão e os resultados expressos em miligramas.



Figura 6: Medição de altura da parte aérea e raízes de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Foi também utilizado um aplicativo para quantificação de área foliar, denominado Canopeo®, para tal, foram feitas fotos de cada tratamento ao longo de 7, 14 e 21 dias após o plantio em bandejas e quantificado a área foliar em cm².

3.5 Avaliações em vaso:

Após 21 dias nas bandejas de germinação, as plantas foram transferidas para os vasos e avaliadas a cada 7 dias, durante 63 dias (Figura 7). Foram contabilizados a altura, número de folhas expandidas e não expandidas, diferenciação floral e início da senescência.



Figura 7: Flor de girassol em desenvolvimento e totalmente formada advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno aos 63 dias do desenvolvimento em vaso.

A Altura foi medida com auxílio de régua graduada, tomando como padrão a gema terminal (meristema apical) até a base do caule onde iniciavam as raízes. Para a contagem do número de folhas, foram contabilizadas as folhas completamente expandidas e as não expandidas, e feito o cálculo de porcentagem. Para a diferenciação, foram avaliadas as plantas com o aspecto de diferenciação da fase vegetativa para a reprodutiva, antes da antese, ou seja, antes da abertura das flores, contabilizadas e feito o cálculo de porcentagem.

3.6 Análise estatística.

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, onde foram testadas 4 concentrações de soluções contendo óxidos de grafeno mais o tratamento controle contendo somente água destilada. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) e as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade. O efeito das concentrações no crescimento das plantas, foram submetidos a ajustes de regressão com adição do erro padrão da amostra. Para análise destes dados foi utilizado o programa Sistema para Análise de Variância (FERREIRA, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES:

4.1 Germinação em bandejas:

Na Figura 8 podemos observar os resultados da germinação em bandejas das sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções contendo óxido de grafeno, onde desde o início das avaliações, os tratamentos T2 e o T4 tiveram maior porcentagem de germinação.

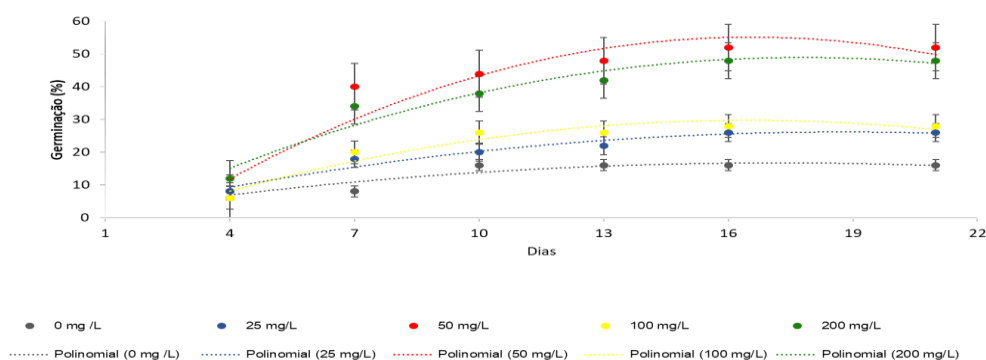


Figura 8: Porcentagem de germinação em bandejas de sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Tabela 1: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão da germinação de sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Germinação	Equação	R ²
00 mg/L T0	$y = -0.0563x^2 + 1.936x + 0.1011$	R ² = 0.8277
25 mg/L T1	$y = -0.0774x^2 + 2.9045x - 1.0777$	R ² = 0.951
50 mg/L T2	$y = -0.2748x^2 + 9.1009x - 20.136$	R ² = 0.8941
100 mg/L T3	$y = -0.1389x^2 + 4.5789x - 7.9758$	R ² = 0.932
200 mg/L T4	$y = -0.1774x^2 + 6.3186x - 7.2785$	R ² = 0.9422

Pode ser observado na figura 9 os resultados do índice de velocidade de germinação (IVG) calculado segundo a metodologia de Maguire (1962), onde, quanto maior o valor do índice, mais rápida é a germinação do lote de sementes, o que confere maior vigor ao lote. Os tratamentos T2 e T4 obtiveram valores maiores de IVG como observado na figura 9. O mesmo fato pode ser constatado na figura 8, onde desde os primeiros dias de germinação os tratamentos T2- 50mg/L e T4- 200mg/L alcançaram maiores médias de germinação.

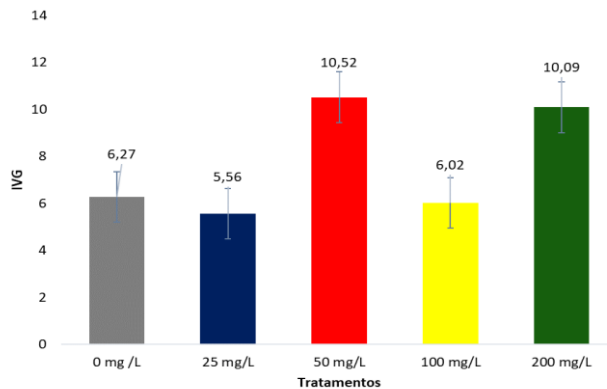


Figura 9: índice de velocidade de germinação (IVG) calculado segundo a metodologia de Maguire (1962), de sementes de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Na figura 10 quantificação de área vegetativa obtidas através de imagens feitas a partir do aplicativo Canopeo®, aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura das sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno. Aos 21 dias da germinação, os tratamentos T1 e T2 apresentaram menores quantificações da área foliar. A maior quantificação da área foliar do tratamento T4 corrobora com os dados da germinação e IVG.

No entanto, o tratamento controle obteve valores maiores do que os T1 e o T3, podendo ser causado pela sobreposição da área vegetativa na hora da captura das imagens.

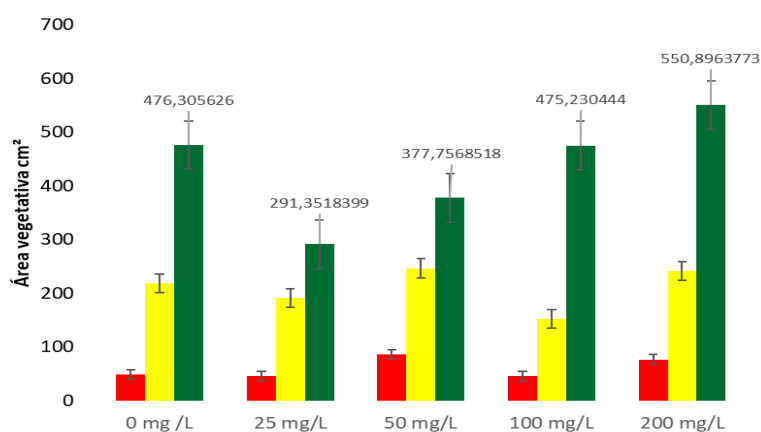


Figura 10: Quantificação de área vegetativa obtidas através de imagens feitas a partir do aplicativo Canopeo®, aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura das sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Porém, diferentemente dos dados apresentados anteriormente, de germinação e IVG, os resultados da quantificação foliar do tratamento T0 foram similares ao tratamento T3, e maior que os tratamentos T1 e T2 aos 21 dias da semeadura das sementes. Abaixo seguem as fotos obtidas pelo do aplicativo Canopeo® da área vegetativa capturadas aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura de sementes de girassol (Figura 11), onde é visivelmente observada a maior área vegetativa do tratamento de maior concentração, o T4 com 200 mg/L de óxido de grafeno aos 21 dias após a semeadura.

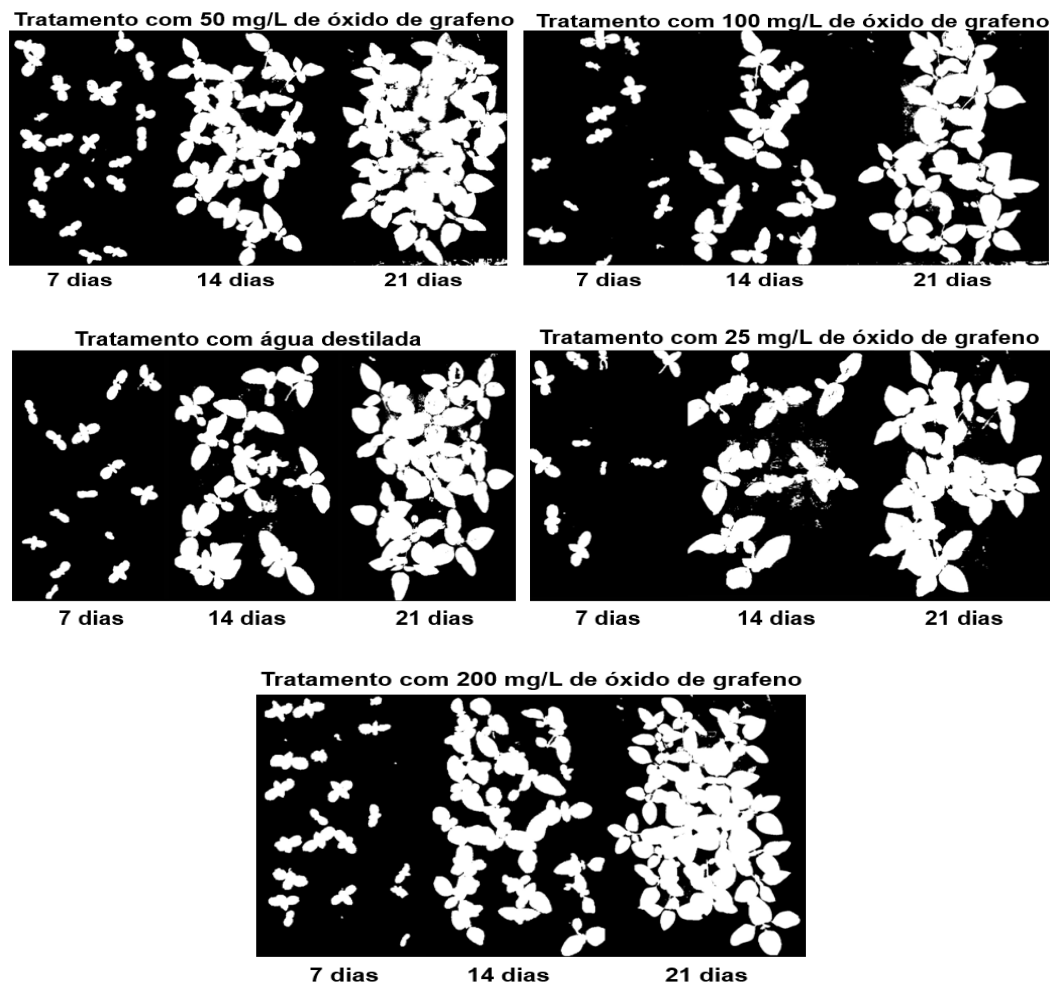


Figura 11: Imagens feitas a partir do aplicativo Canopeo® da área vegetativa aos 7, 14 e 21 dias após a semeadura de sementes de girassol embebidas em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

A tabela 1 mostra os dados de matéria fresca da parte aérea (MF aérea), matéria seca da parte aérea (MS aérea), matéria fresca de raiz (MS Raiz) e matéria seca de raiz (MS Raiz) de plântulas de girassol advindas de sementes submetidas à embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno. Para os dados de matéria seca da parte

aérea e da raiz, de acordo com o teste de média, não ocorreram diferenças significativas. Já para os resultados de matéria fresca da parte aérea o tratamento T2, com a segunda maior concentração de óxido de grafeno, obteve maiores médias, corroborando com as maiores médias obtidas também no teste de germinação e IVG. O tratamento T0, em que foi utilizada somente água destilada para embebição das sementes, obteve maiores médias nos resultados de matéria fresca da parte das raízes.

Tabela 2: Médias em gramas de matéria fresca da parte aérea (MF aérea), matéria seca da parte aérea (MS aérea), matéria fresca de raiz (MS Raiz) e matéria seca de raiz (MS Raiz) de mudas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno aos 21 dias após a semeadura.

	MF aérea (g)	MS aérea (g)	MF Raiz(g)	MS Raiz(g)
00 mg/L T0	8.37 b	3.31 a	5.07 a	2.98 a
25 mg/L T1	8.36 b	3.28 a	4.21 b	2.96 a
50 mg/L T2	9.33 a	3.22 a	4.42 b	3.16 a
100 mg/L T3	8.75 b	3.21 a	4.40 b	3.08 a
200 mg/L T4	8.10 b	3.32 a	4.09 b	2.95 a
CV	8.78	5.31	12.01	9.26

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na tabela 3 é possível observar os resultados das medições de altura, comprimento de raiz, número de folhas expandidas e não expandidas de plantas de girassol, onde de acordo com o teste de média utilizado, não ocorreram diferenças significativas entre os diferentes tratamentos.

Tabela 3: Médias de altura, comprimento de raiz, número de folhas expandidas e não expandidas de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno aos 21 dias após a semeadura.

	Altura (cm)	Comprimento de raiz (cm)	Nº de Folhas expandidas	Nº de folhas não expandidas
00 mg/L T0	18.93 a	15.40 a	3.60 a	2.33 a
25 mg/L T1	19.43 a	16.91 a	3.85 a	2.23 a
50 mg/L T2	21.86 a	14.09 a	3.63 a	2.41 a
100 mg/L T3	19.81 a	13.74 a	2.80 b	2.80 a
200 mg/L T4	18.92 a	12.25 a	2.58 b	2.92 a
CV	20,02	24,27	16,49	18,90

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

A ausência de diferença estatisticamente significativa nos parâmetros avaliados, tais como matéria seca, altura, comprimento e número de folhas, contrasta com os resultados obtidos nas variáveis germinação, índice de velocidade de germinação (IVG) e área foliar.

Esta disparidade pode ser atribuída à possível presença de uma tendência, não intencional, na seleção das plantas de girassol destinadas aos referidos testes, uma vez que todas as avaliações foram conduzidas nas mesmas mudas, podendo ter sido preferencialmente escolhidas aquelas que apresentavam similaridades em termos de dimensões e estágios de desenvolvimento.

4.2 Crescimento das plantas em vaso:

Relacionado ao crescimento em vaso das plantas de girassol advindas de sementes embebidas em diferentes concentrações de óxido de grafeno, de acordo com a análise de variância, ocorreu interação entre os fatores concentração de óxido de grafeno e as avaliações em diferentes dias durante o crescimento em vaso para as variáveis altura, número de folhas expandidas e não expandidas.

Pode ser observado da figura 12, as análises de regressão para o desdobramento de dias das avaliações dentro de cada tratamento para a variável altura. De forma geral, todos os tratamentos obtiveram bons ajustes das curvas com o tipo de regressão quadrática (polinomial), as equações e o R² podem ser observados na tabela 4 logo abaixo da figura 12.

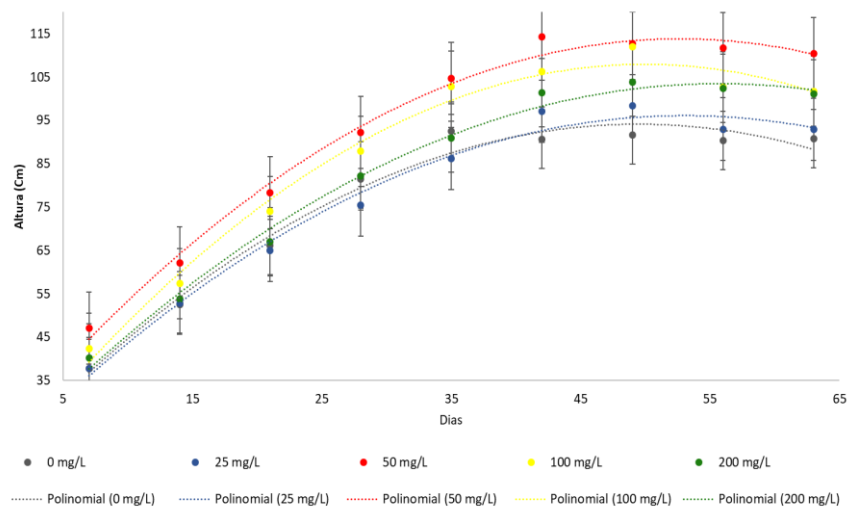


Figura 12: Análise de regressão do crescimento em altura de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Tabela 4: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão da altura de plantas de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Altura	Equação	R²
00 mg/L T0	$y = -0.0318x^2 + 3.1424x + 16.434$	R ² = 0.9823
25 mg/L T1	$y = -0.0283x^2 + 3.0047x + 16.44$	R ² = 0.986
50 mg/L T2	$y = -0.0332x^2 + 3.4981x + 21.74$	R ² = 0.9919
100 mg/L T3	$y = -0.0373x^2 + 3.7234x + 15.014$	R ² = 0.9851
200 mg/L T4	$y = -0.0278x^2 + 3.0926x + 17.391$	R ² = 0.9928

De forma geral, na análise de regressão ficou demonstrado que todos os tratamentos apresentaram crescimento em altura até os 49 dias do cultivo em vaso. Fica claro também que os tratamentos T2, T3 e T4 obtiveram melhor desempenho no crescimento em altura que os tratamentos T0 e T1.

Na tabela 5 pode ser observado os resultados de altura com teste de média para o desdobramento de cada tratamento dentro de cada dia das avaliações. Não ocorreram diferenças entre os tratamentos até os 28 dias do cultivo em vaso das plantas de girassol para a variável altura. Já aos 35 e 42 dias, os tratamentos T2 e T3 obtiveram as maiores médias, a partir dos 49 dias, também o tratamento T4 alcançou as maiores médias. Os tratamentos T0 e T1 obtiveram menores médias se comparado aos outros tratamentos a partir dos 35 dias do cultivo em vaso.

Tabela 5: Médias de altura, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, medidas em diferentes dias, após transplântio para vasos.

NTC	Dias								
	Altura	7	14	21	28	35	42	49	56
00 mg/L T0	37.8 a	52.56 a	66.16 a	81.5 a	92.5 b	90.68 b	91.7 b	90.4 b	90.8 b
25 mg/L T1	37.84 a	52.9 a	65 a	75.44 a	86.2 b	97.1 b	98.44 b	93 b	92.9 b
50 mg/L T2	47.1 a	62.2 a	78.34 a	92.24 a	104.7 a	114.26 a	112.66 a	111.7 a	110.44 a
100 mg/L T3	42.44 a	57.36 a	74 a	87.9 a	102.88 a	106.26 a	111.94 a	102.7 a	101.74 a
200 mg/L T4	40.16 a	53.82 a	66.98 a	82.24 a	90.9 b	101.4 b	103.82 a	102.4 a	101.1 a
CV					11.29				

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Para os resultados do número de folhas expandidas (Figura 13), as análises de regressão também obtiveram bons ajustes das curvas como pode ser observado na tabela 6 o valor de R2 elevado.

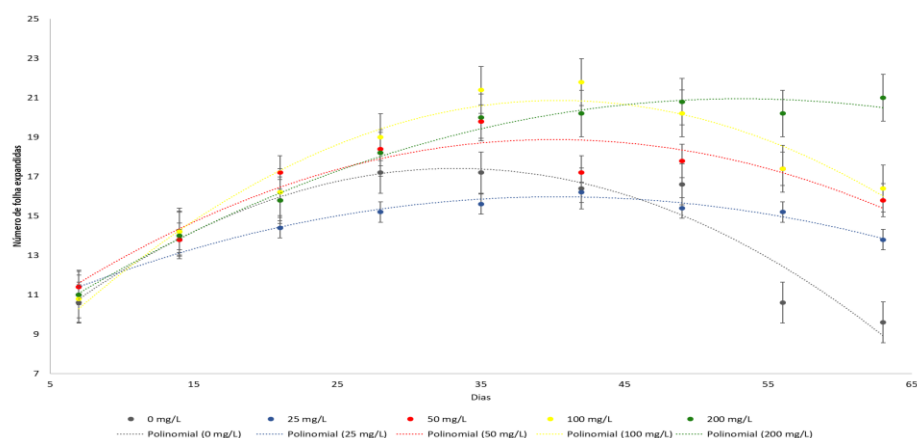


Figura 13: Análise de regressão do número de folhas completamente expandidas ao longo do experimento de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Tabela 6: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão do número de folhas completamente expandidas de plantas de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Folhas expandidas	Equação	R ²
00 mg/L T0	$y = -0.0096x^2 + 0.6395x + 6.7762$	R ² = 0.9152
25 mg/L T1	$y = -0.0041x^2 + 0.3326x + 9.2714$	R ² = 0.953
50 mg/L T2	$y = -0.0067x^2 + 0.5333x + 8.1905$	R ² = 0.892
100 mg/L T3	$y = -0.0095x^2 + 0.7667x + 5.3905$	R ² = 0.9539
200 mg/L T4	$y = -0.0046x^2 + 0.4931x + 7.8571$	R ² = 0.9869

Corroborando com os valores encontrados nas outras avaliações, a média de número de folhas expandidas foi maior nos tratamentos T2, T3 e T4 (Tabela 7). Vale ressaltar também menores valores aos 63 dias de avaliação no número de folhas expandidas do tratamento T0, onde a embebição das sementes foi feita somente com água destilada, sem a presença do óxido de grafeno. A análise do desdobramento de cada tratamento dentro de cada dia das avaliações referentes a variável folhas expandidas pode ser observada na tabela 7. Não ocorreram diferenças significativas até aos 28 dias do cultivo em vaso das plantas de girassol. O tratamento T4 obteve as maiores médias a partir dos 35 dias até o encerramento do

trabalho. Já o tratamento T0 obteve menores médias se comparado a todos os outros tratamentos, aos 56 e 63 dias do crescimento em vaso.

Tabela 7: Médias do número de folhas expandidas, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, contabilizadas em diferentes dias, após transplântio para vasos.

Tratamentos	Dias									
	Folhas expandidas	7	14	21	28	35	42	49	56	63
00 mg/L T0		10.6 a	14.2 a	15.8 a	17.2 a	17.2 b	16.4 b	16.6 b	10.6 c	9.6 d
25 mg/L T1		11a	13.8 a	14.4 a	15.2 a	15.6 b	16.2 b	15.4 b	15.2 b	13.8 c
50 mg/L T2		11.4 a	13.8 a	17.2 a	18.4 a	19.8 a	17.2 b	17.8 b	17.4 b	15.8 b
100 mg/L T3		10.8 a	14.2 a	16.2 a	19 a	21.4 a	21.8 a	20.2 a	17.4 b	16.4 b
200 mg/L T4		11a	14 a	15.8 a	18.2 a	20 a	20.2 a	20.8 a	20.2 a	21 a
CV						15.99				

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Pode ser observado da figura 14, as análises de regressão para o desdobramento de dias das avaliações dentro de cada tratamento da variável folhas não expandidas. De forma geral, os tratamentos não obtiveram bons ajustes das curvas com o tipo de regressão linear ou quadrática (polinomial), visto os baixos valores obtidos de R2, que podem ser observados na tabela 8 logo abaixo da figura 14.

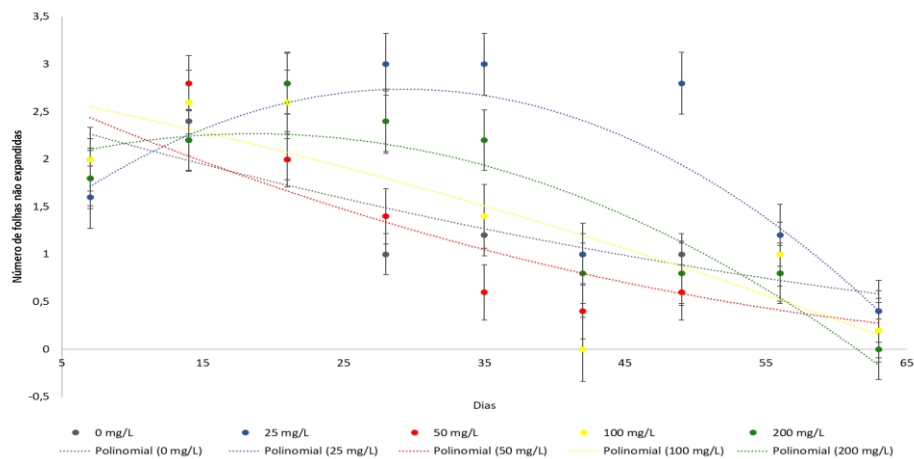


Figura 14: Análise de regressão do número de folhas não expandidas ao longo do experimento de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Tabela 8: Equações e respectivos coeficientes de determinação obtidos a partir de análise de regressão do número de folhas não expandidas de plantas de girassol submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno.

Folhas não expandidas	Equação	R ²
00 mg/L T0	$y = 0.0002x^2 - 0.0439x + 2.5619$	R ² = 0.7962
25 mg/L T1	$y = -0.0021x^2 + 0.1205x + 0.9714$	R ² = 0.6147
50 mg/L T2	$y = 0.0004x^2 - 0.0661x + 2.881$	R ² = 0.7339
100 mg/L T3	$y = -0.0002x^2 - 0.0286x + 2.7619$	R ² = 0.667
200 mg/L T4	$y = -0.0012x^2 + 0.0458x + 1.8429$	R ² = 0.8159

Pode ser observado no gráfico de folhas não expandidas, que a avaliação aos 42 dias do crescimento em vaso, apresentou grande queda das médias em quase todos os tratamentos, tal fato coincide com a infestação de oídios. As folhas não expandidas correspondem a folhas novas da planta, que sob infestação não foi possível o lançamento de novas folhas. Aos 44 dias do cultivo em vaso, foi aplicado o óleo de neem para o controle dos oídios, que apesar de não ter sido totalmente eficaz contra o patógeno, mostrou certo controle, visto que a avaliação feita aos 49 dias houve aumento no número de folhas não expandidas.

É interessante observar que no tratamento T0, houve uma queda brusca no lançamento de novas folhas, bem como nas folhas não expandidas, sendo identificado anteriormente aos demais tratamentos, ocorrendo ao 28 dia do cultivo em vaso.

Na tabela 9 evidenciou que não ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos até o dia 28 do cultivo em vaso e também ao final do experimento, nas médias observadas nas avaliações dos dias 56 e 63.

Tabela 9: Médias do número de folhas não expandidas, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções com óxido de grafeno, contabilizadas em diferentes dias, após transplântio para vasos.

Folhas não expandidas	Dias								
	7	14	21	28	35	42	49	56	63
00 mg/L T0	2a	2.4a	2a	1b	1.2b	1a	1b	1a	0.4a
25 mg/L T1	1.6a	2.2a	2.8a	3a	3a	1a	2.8a	1.2a	0.4a
50 mg/L T2	1.8a	2.8a	2a	1.4b	0.6b	0.4a	0.6b	0.8a	0.2a
100 mg/L T3	2a	2.6a	2.6a	2.4a	1.4b	0a	0.8b	1a	0.2a
200 mg/L T4	1.8a	2.2a	2.8a	2.4a	2.2a	0.8a	0.8b	0.8a	0a
CV	18.21								

* Médias seguidas de mesma letra na coluna não apresentam diferenças entre si pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade.

Na figura 15 estão os resultados de porcentagem por dia da diferenciação floral, de plantas de girassol após transplante para vasos. O tratamento T0 obteve maiores valores de diferenciação floral desde o início da contagem da variável, mas obteve 100% de presença de flores juntamente com os tratamentos T1, T2 e T3, verificados na avaliação feita aos 28 dias. O tratamento T4 somente obteve 100% de diferenciação floral na avaliação aos 35 dias do cultivo em vaso.

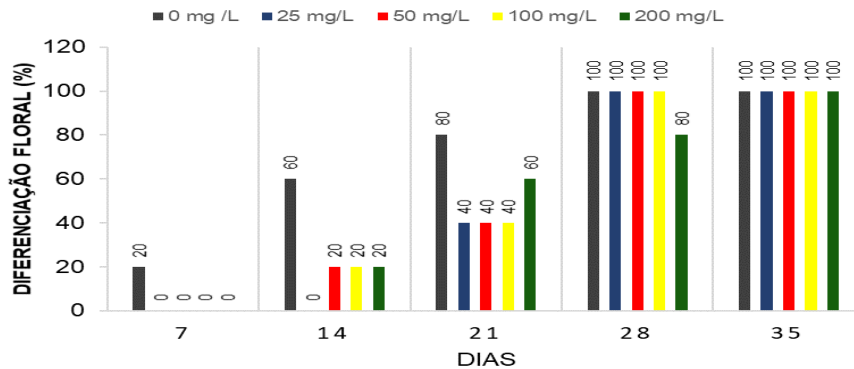


Figura 15: Porcentagem por dia da diferenciação floral, de plantas de girassol advindas de sementes submetidas a embebição em diferentes concentrações de soluções de óxido de grafeno, após transplante para vasos.

4.3 Discussão:

O presente estudo investigou de maneira abrangente a influência de diferentes concentrações de óxido de grafeno na germinação e no desenvolvimento subsequente de plantas de girassol ornamental. Os resultados obtidos proporcionam insights valiosos sobre os efeitos deste nanomaterial no crescimento e desempenho das plantas, bem como destacam a importância dos cuidados na condução experimental.

O estudo da germinação mostrou que os tratamentos T2 e T4 tiveram velocidades de germinação mais altas, o que aponta para um efeito benéfico do óxido de grafeno nessas sementes. Esse fenômeno foi confirmado pelos resultados relacionados à matéria fresca da parte aérea, o que implica uma conexão entre uma germinação mais eficiente e o desenvolvimento robusto das plantas.

A avaliação sobre o crescimento das plantas em vaso indicou que as plantas dos tratamentos T2, T3 e T4 cresceram mais em altura. Diante disso, podemos dizer que os efeitos do GO no crescimento e desenvolvimento das plantas dependem da dose utilizada.

O GO pode promover a germinação e o crescimento das plântulas e alterar os níveis de expressão de miRNA e proteínas, que são acompanhados por mudanças positivas na expressão gênica (YANG et al. 2022).

Já (GUO et al., 2021), descobriram que o conteúdo de auxina aumentou acentuadamente nas raízes das plantas tratadas com GO. Eles explicaram que o aumento na área da superfície radicular após o tratamento com GO foi à ativação induzida por auxina de células pericíclicas quiescentes e ao início da divisão celular.

Os resultados de (JIAO et al., 2016), indicaram que o GO promoveu o crescimento da raiz, afetando a via IAA em tomateiros de tipo largo. Uma concentração de 20 mg/L de GO resultou em aumento dos níveis de transcrição do mRNA de vários IAA, como IAA3, IAA4 , IAA7 , ARF2 e ARF8 , resultando em maior crescimento em raízes de mudas de tabaco (JIAO et al., 2016).

Em estudos de ZHANG et al., (2015) demonstraram que o grafeno é capaz de afetar positivamente a germinação, aumentando a absorção de água. No entanto, como o grafeno também é capaz de penetrar nas células da ponta da raiz, as plântulas exibiram caules e raízes mais longas, mas menos acúmulo de biomassa em comparação ao controle.

A ausência de diferenças significativas em parâmetros como matéria seca, altura e número de folhas em determinados tratamentos destaca a complexidade das respostas das plantas ao óxido de grafeno corroborando com estudos de ZHANG et al., (2015).

Além disso, a utilização de óleo de neem após a infestação por oídio afetou as folhas que ainda estavam se desenvolvendo, ressaltando a vulnerabilidade das plantas a problemas e a importância de dispor de métodos mais eficazes para a proteção das plantas contra doenças que possam acometer essas culturas.

Resultados das pesquisas de ZHANG et al., (2015), sugerem que altas doses de GO induzem estresse oxidativo nas plantas, levando a danos. Esses experimentos indicam que os efeitos adversos do GO no crescimento e desenvolvimento da planta são muito complicados e dependem do genótipo da planta. Portanto, é desejável a observância do uso de doses adequadas de GO em suas aplicações agrícolas em espécies vegetais específicas.

Em resumo, este estudo fornece uma visão abrangente sobre os efeitos do óxido de grafeno na germinação e crescimento de girassóis ornamentais. No entanto, é essencial considerar as nuances e complexidades das respostas das plantas, bem como a necessidade contínua de cautela e rigor metodológico em futuras pesquisas nesta área. As descobertas aqui apresentadas contribuem para o entendimento dos impactos potenciais do óxido de grafeno nas plantas, abrindo caminho para investigações mais aprofundadas e estratégias de aplicação mais conscientes em ambientes agrícolas.

Diante da contemporânea dinâmica na cadeia produtiva de flores e plantas ornamentais, bem como das perspectivas de crescimento e dos desafios enfrentados, torna-se imperativo garantir a disponibilidade de informações confiáveis e constantemente atualizadas acerca da extensão e desempenho dessa cadeia. Ao mesmo tempo, a obtenção

dessas informações configura-se como um desafio para os participantes dessa cadeia, dada a notável escassez de dados oficiais que estejam em consonância com a sua realidade específica. Nesse contexto, surge a necessidade de mobilização por parte dos diversos atores envolvidos, a fim de empreender esforços na busca pelo conhecimento aprofundado sobre a cadeia de flores e plantas ornamentais.

5 CONCLUSÃO:

Resultados da germinação mostraram que as sementes tratadas com 50 e 200 mg/L de óxido de grafeno apresentaram índices de velocidade de germinação superiores. Esses padrões foram corroborados pelos dados de área foliar, sugerindo uma associação entre a velocidade de germinação e o vigor das plantas.

A análise do crescimento em vaso demonstrou melhor desempenho em altura nos tratamentos com 50, 100 e 200 mg/L de óxido de grafeno, T2, T3 e T4.

REFERÊNCIAS:

ALVES, S.M., REBOUÇAS, J.R., FERREIRA, M. N., BATISTA, R.O., SOUZA, L. Fertirrigação de girassol ornamental com esgoto doméstico tratado em sistema de hidroponia. *Irriga*, v.19, p.714-726, 2014.

ANJUM N.A., SINGH N., SINGH M.K., SAYEED I., DUARTE A.C., PEREIRA E., AHMAD I. Single-bilayer graphene oxide sheet impacts and underlying potential mechanism assessment in germinating faba bean (*Vicia faba* L.) *Sci. Total Environ.* 2014;472:834–841. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.11.018.

BORGES, B. M. M. N.; LUCAS, F. T.; PAES, J. M. V. Avaliação fenológica de cultivares de girassol (*Helianthus annuus* L.) em Uberaba/MG – Safra 2009. *Nucleus*, 10: 191-198, 2013.

BORTOLINI, E; PAIÃO, G. D'ANDRÉA, M.S.C. Cultura do girassol, Piracicaba, 2012, 69 p.

CASTRO, C.; CASTIGLIONI, V. B. R.; BALLA, A.; LEITE, R. M. V. B. C.; KARAM, D. MELLO, H. C.; GUEDES, L. C. A.; FARIAS, J. R. B. A cultura do girassol. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, p. 827-833,1996.

CASTRO, C.; FARIAS, J. R. B. Ecofisiologia do girassol. In: LEITE, R. M. V. B.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Girassol no Brasil. Londrina, CNPSo, 2005. P. 163-210.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. PIB da cadeia de Flores e Plantas Ornamentais brasileira: ano-base 2017, versão sumária. 2022. Disponível em: https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Sum%C3%A1rio_Relat%C3%B3rio%20Flores%20e%20plantas%20ornamentais_2017.pdf.

CHENG F., LIU Y.F., LU G.Y., ZHANG X.K., XIE L.L., YUAN C.F., XU B. Graphene oxide modulates root growth of *Brassica napus* L. and regulates ABA and IAA concentration. *J. Plant Physiol.* 2016;193:57–63. doi: 10.1016/j.jplph.2016.02.011.

CHEN Z., ZHAO J., SONG J., HAN S., DU Y., QIAO Y., LIU Z., QIAO J., LI W., LI J., et al. Influence of graphene on the multiple metabolic pathways of *Zea mays* roots based on transcriptome analysis. *PLoS ONE.* 2021;16:e0244856. doi: 10.1371/journal.pone.0244856.

CHEN Z., ZHAO J., SONG J., HAN S., DU Y., QIAO Y., LIU Z., QIAO J., LI W., LI J., et al. Influence of graphene on the multiple metabolic pathways of *Zea mays* roots based on transcriptome analysis. *PLoS ONE.* 2021;16:e0244856. doi: 10.1371/journal.pone.0244856.

COSTA, S. S., SANTOS, J. S. C., SILVA, B. B. C., GRZEBIELUCKAS. C., JUNIOR, L. R. S., Floricultura tropical: aspectos gerais de produção e comercialização em Mato Grosso- MT. In Anais do 21º Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, São Paulo, SP. 2019.

CURTI, G. L. Caracterização de cultivares de girassol ornamental semeados em diferentes épocas no oeste catarinense. 2010. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2010.

CURTI, G. L. et al. Girassol ornamental: caracterização, pós-colheita e escala de senescência. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 35, n. 1, p. 240-250, 2012.

DALLAGNOL, A.; VIEIRA, O. V.; LEITE, R. M. V. B. de C. Origem e História do Girassol. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 1-14.

DE MOURA, S. R., SILVA. C. M. A., COTTING. J. C., BARBOZA. M. S. M., SOUZA. R. R., CAVALCANTE. M. Z. B., Longevidade e qualidade pós-colheita de girassol ornamental de corte. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 17, n. 2, p. 1-7, 2022.

EZZ, T. M.; WEHEDA, B.M.; GABER, M. K.; SALLAM, A. M. Efficiency evaluation of pulsing solutions and cold storage on prolonging the vase life of *Helianthus annuus* L. cut flowers. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, v.26, n.2, p.53-59, 2021.

GAO C., ZHANG G.L., LIU Y.Z. Effects of Graphene Oxide Exposure on Germination and Seedling Growth of Rice and Wheat. *Hans J. Soil Sci.* 2019;7:11. doi: 10.12677/HJSS.2019.74031.

GUO, X.; ZHAO, J.; WANG, R.; ZHANG, H.; Wu, J. Effects of graphene oxide on tomato growth in different stages. *Plant Physiology and Biochemistry*, v. 162, p. 447–455, 2021. doi: 10.1016/j.plaphy.2021.

IBGE. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola - Lavoura Temporária. 2019.

IBRAFLOR - Instituto Brasileiro de Floricultura. O mercado de flores no Brasil. Recuperado em 18 dez. 2023, de : < https://www.ibraflor.com.br/files/ugd/b3d028_2ca7dd85f28f4add9c4eda570adc369f.pdf >

IVANCHENKO M.G., NAPSUCIALY-MENDIVII S., DUBROVSKY J.G. Auxin-induced inhibition of lateral root initiation contributes to root system shaping in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J.* 2010;64:740–752. doi: 10.1111/j.1365-313X.2010.04365.x.

JIAO J., CHENG F., ZHANG X., XIE L., Li Z., YUAN C., XU B., ZHANG L. Preparation of graphene oxide and its mechanism in promoting tomato roots growth. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2016;16:4216–4223. doi: 10.1166/jnn.2016.12601.

JIAO J., YUAN C., WANG J., XIA Z., XU B. The role of graphene oxide on tobacco root growth and its preliminary mechanism. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 2016;16:12449–12454. doi: 10.1166/jnn.2016.12987.

KHODAKOVSKAYA, M. V.; DE SILVA, K.; BIRIS, A. S.; DERVISHI, E.; VILLAGARCIA, H. Carbon nanotubes induce growth enhancement of tobacco cells. *ACS Nano*, 6:2128–2135, 2012.

KAKIDA, J.; MARCIANI, B. J.; ARANTES, N.E. Cultivares de girassol. Informe Agropecuário, v. 7.

LENTZ, D. L.; POHL, M. E. D.; POPE, K. O.; WYATT, A. R. Prehistoric Sunflower (*Helianthus annuus* L.) domestication in Mexico. *Economic Botany*, v. 55, n. 3, p. 370-376, 2001.

LI F., SUN C., LI X., YU X., LUO C., SHEN Y., QU S. The effect of graphene oxide on adventitious root formation and growth in apple. *Plant Physiol. Biochem.* 2018;129:122–129. doi: 10.1016/j.plaphy.2018.05.029.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M. Plantas ornamentais do Brasil: arbustivas, herbáceas e trepadeiras. 3ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 423p.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, Madison*, v. 2, n. 1, jan./feb. 1962. 176-177p.

MANDARINO, J.M.G. Óleo de girassol como alimento funcional. In: LEITE, R.M.V.B.C.; BRIGHENTI, A.M.; CASTRO, C. (Org.) *Girassol no Brasil*. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 2005, p.43-49.

MEDEIROS, C. M., DA LUZ, P. B. Produção de girassol ornamental e o uso de resíduo industrial como substrato. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, p. e28210615263-e28210615263, 2021.

NASCIMENTO, A. M. P.; PAIVA, P. D. O.; MANFREDINI, G. M.; SALES, T. S. Harvest stages and pulsing in ornamental sunflower 'Sunbright Supreme'. *Ornamental Horticulture*, v. 25, n.2, p.149-157, 2019.

OLIVEIRA, A. B., DOVALE J, C.; GUIMARAES. M.A.,. *Cultura do girassol*. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2022.

OLIVEIRA, M. L. A.; PAZ, V. P. S.; GONÇALEZ, K. S.; OLIVEIRA, G. X. S. Crescimento e produção de girassol ornamental irrigado com diferentes lâminas e diluições de água residuária. *Irriga*, v. 22, n. 2, p. 204 - 219, 2017.

OLIVEIRA, M. F.; VIEIRA, V. O. Extração de óleo de girassol utilizando miniprensa. Embrapa Soja-Empresa Brasileira. de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Londrina, PR, documento 237, 2004.

PEIXOTO, A. M. *Enciclopédia Agrícola Brasileira – Girassol*. Volume 5. Editora EDUSP. 2004. 512p.

REN W., CHANG H., Li L., TENG Y. Effect of graphene oxide on growth of wheat seedlings: Insights from oxidative stress and physiological flux. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 2020;105:139–145. doi: 10.1007/s00128-020-02888-9.

SILVA, Sheila Daniella Pereira. Cultivo de girassol ornamental para corte em condições semiáridas. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal) - Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Ciências Agrárias, Petrolina, 70 f.: il 2017.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY . *Mineral Commodity Summaries 2022*. Geological Survey; Reston, VA, USA: 2022. 202p.

WANG F.H. An Extraordinarily Large Graphite Deposit Was Found in Datong, Shanxi, with a Resource of about 100 Million Tons. [(acessado em 12 Fevereiro 2024)]; online: http://www.gov.cn/xinwen/2020-06/25/content_5521904.htm

XU J., Wang K., ZU S.Z., HAN B.H., WEI Z. Hierarchical nanocomposites of polyaniline nanowire arrays on graphene oxide sheets with synergistic effect for energy storage. *ACS Nano*. 2010;4:5019–5026. doi: 10.1021/nn1006539

YANG, Y.; ZHANG, R.; ZHANG, X.; CHEN, Z.; WANG, H.; LI, P.C.H. Effects of Graphene Oxide on Plant Growth: A Review. *Plants (Basel)*, v. 11, n. 21, p. 2826, 2022. DOI: 10.3390/plants11212826. PMID: 36365279; PMCID: PMC9656202.

YANG Y, ZHANG R, ZHANG X, CHEN Z, WANG H, LI PCH. Effects of Graphene Oxide on Plant Growth: A Review. *Plants (Basel)*. 2022 Oct 24;11(21):2826. doi: 10.3390/plants11212826. PMID: 36365279; PMCID: PMC9656202.

ZHANG, Ming; GAO, Bin; CHEN, Jianjun; LI, Yuncong. Effects of graphene on seed germination and seedling growth. *Journal of Nanoparticle Research*, 17:78, 2015. DOI 10.1007/s11051-015-2885-9.

ZHANG S.J., WANG N., CUI L.W., JI G.Y., DENG W.B., ZHANG Y.W. Analysis of supply and demand situation of graphite resources at home and abroad. *Inorg. Chem. Ind.* 2021;53:1–11. doi:10.19964/j.issn.1006-4990.2021-0086.

ZHANG X., CAO H., ZHAO J., WANG H., ZHANG J. Graphene oxide exhibited positive effects on the growth of *Aloe vera* L. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2021;27:815–824. doi: 10.1007/s12298-021-00979-3.

ZHANG X., CAO H., ZHAO J., WANG H., ZHANG J. Graphene oxide exhibited positive effects on the growth of *Aloe vera* L. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2021;27:815–824. doi: 10.1007/s12298-021-00979-3.

ZHAO L., SONG R.R., WU Q., WU X., YUN Z.Y. Effect of graphene oxide on seedling growth and physiological characteristics of maize. *J. Agro-Environ. Sci.* 2021;40:1167–1173. doi: 10.11654/jaes.2020-1104.