

HELEN CRISTINA CUNICO

**INTERFERÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO E SALINO NA GERMINAÇÃO DE
SEMENTES E NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE GIRASSOL E DE
CENTEIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de
graduação em Agronomia do Setor de Ciências Agrárias da
Universidade Federal do Paraná como requisito para a
obtenção do grau de Engenheira Agrônoma.

Orientadora: Prof^ª Dr^a Maristela Panobianco Vasconcellos

CURITIBA

2024

TERMO DE APROVAÇÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

HELEN CRISTINA CUNICO

INTERFERÊNCIA DO ESTRESSE HÍDRICO E SALINO NA GERMINAÇÃO DE
SEMENTES E NO CRESCIMENTO INICIAL DE PLÂNTULAS DE GIRASSOL E DE
CENTEIO

Trabalho apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro
Agrônomo no Curso de Graduação em Agronomia, pela seguinte banca examinadora:

Maristela Panobianco Vasconcellos

Orientadora Professora Dra. Maristela Panobianco Vasconcellos

Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade

Setor de Ciências Agrárias

Adriana Martinelli Seneme

Professora Dra. Adriana Martinelli Seneme

Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade

Setor de Ciências Agrárias

Letícia Gonçalves Maduro

Tecnóloga MSc. Letícia Gonçalves Maduro

Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade

Setor de Ciências Agrárias

Curitiba, 26 de junho de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, saúde e disposição que me permitiram a realização do presente trabalho, por ser meu guia nesta caminhada e por ser meu ponto de apoio nos momentos mais difíceis, pois sem Ele não estaria aqui e graças a Ele sempre me senti abraçada e estimulada a persistir a cada vez que dobrei meus joelhos e senti em minha vida a sua presença.

À minha mãe Adriana e ao meu pai Ivair, pela oportunidade de evolução, pelos ensinamentos que me proporcionaram e por todos os seus esforços para que eu pudesse chegar a esse momento, pois apesar de não terem tido essa oportunidade, se esforçaram imensamente para que eu pudesse estudar e realizar os meus sonhos.

Agradeço também aos meus irmãos, Daniele e Vitor, pela cumplicidade que só o elo fraternal pode proporcionar, juntos, compartilhamos momentos de alegria e superação, e sou eternamente grata por ter vocês ao meu lado nesta etapa da minha vida. Sem a presença de vocês, minha família, essa trajetória não teria sido a mesma.

Ao meu noivo Luan, agradeço por todo o amor, paciência e apoio incondicional, sua presença ao meu lado foi essencial em cada passo dessa jornada. Obrigada por acreditar em mim e me incentivar a sempre seguir em frente. Com você, tudo se tornou mais leve e possível. E aos nossos futuros filhos, saibam que todo esse esforço também é por vocês e pelo futuro que sonhamos juntos.

A todos os professores do curso de Agronomia pela UFPR, em especial a minha orientadora, Professora Dr^a Maristela Panobianco Vasconcellos, a quem serei eternamente grata por toda paciência, orientação e disponibilidade, além de todo o conhecimento compartilhado neste percurso.

À técnica de Laboratório de Análise de Sementes, Letícia Gonçalves Maduro, por sua disposição e valiosa assistência com as dúvidas que surgiram na montagem dos experimentos. Sua colaboração foi essencial para o sucesso deste trabalho.

À minha amiga Paloma, sou grata por sua amizade e pelo apoio constante, sua presença e palavras de encorajamento foram de grande importância para mim.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivos avaliar os efeitos da salinidade e do estresse hídrico sobre a germinação de sementes e o comprimento inicial de plântulas de girassol e de centeio. Foram utilizadas as cultivares Aguará 6 e Temprano Elite, respectivamente. As sementes foram colocadas para germinar em papel toalha do tipo germitest, umedecidos com soluções osmóticas induzidos por PEG 6000 (Polietilenoglicol) dissolvido em água deionizada. Os experimentos foram realizados a 20°C para a cultura do centeio e 25°C para a cultura do girassol, nos potenciais 0,0; -0,2; -0,4 e -0,6 MPa. Também foram utilizadas soluções salinas nas concentrações 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mmol L⁻¹, simulados por NaCl (cloreto de sódio). Os testes de germinação foram conduzidos com quatro repetições de 50 sementes cada, para cada tratamento. Para avaliar o vigor inicial de plântulas, foram dispostas 20 sementes para cada uma das quatro repetições de cada tratamento. Estas foram espaçadas e intercaladas entre si, em duas fileiras de 10 sementes cada, os quais foram levados a germinadores do tipo Mangelsdorf à temperatura de 20°C para centeio e à 25°C para girassol, por um período de sete dias. Em seguida, foi realizada a contagem de plântulas normais para o teste de germinação e a mensuração das plântulas (com régua graduada, em mm) para quantificação do comprimento inicial das espécies. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$) e de regressão. Na presença do NaCl, a germinação de sementes e o comprimento inicial de plântulas da cultivar de girassol foram afetados a partir da concentração de 100 mmol L⁻¹ de NaCl, enquanto que para a cultura do centeio, apenas o seu vigor foi prejudicado, a partir da concentração salina de 40 mmol L⁻¹. Já o estresse hídrico, reduziu a germinação de sementes e o comprimento inicial de plântulas, de ambas as espécies a partir de -0,6 MPa.

Palavras-chave: *Helianthus annuus*, *Secale cereale*, vigor, salinidade, potencial osmótico

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the effects of salinity and water stress on seed germination and the initial length of sunflower and rye seedlings. The cultivars Aguará 6 and Temprano Elite were used, respectively. The seeds were placed to germinate on germitest paper towels, moistened with osmotic solutions induced by PEG 6000 (Polyethylene glycol) dissolved in deionized water. The experiments were carried out at 20°C for the rye crop and 25°C for the sunflower crop, at potentials of 0.0, -0.2, -0.4 and -0.6 MPa. Salt solutions were also used at concentrations of 0, 20, 40, 60, 80 and 100 mmol L⁻¹, simulated by NaCl (sodium chloride). The germination tests were conducted with four replicates of 50 seeds each for each treatment. To assess the initial vigor of the seedlings, 20 seeds were set out for each of the four replicates of each treatment. These were spaced and interspersed in two rows of 10 seeds each, which were placed in Mangelsdorf-type germinators at a temperature of 20°C for rye and 25°C for sunflower, for a period of seven days. Normal seedlings were then counted for the germination test and the seedlings were measured (with a graduated ruler, in mm) to quantify the initial length of the species. The data obtained was subjected to analysis of variance using the F test ($p < 0.01$) and regression. In the presence of NaCl, seed germination and the initial length of the seedlings of the sunflower cultivar were affected from the concentration of 100 mmol L⁻¹ of NaCl, while for the rye crop; only its vigor was affected from the saline concentration of 40 mmol L⁻¹. Water stress, on the other hand, reduced seed germination and initial seedling length for both species from -0.6 MPa onwards.

Keywords: *Helianthus annuus*, *Secale cereale*, vigor, salinity, osmotic potential

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1	CARACTERIZAÇÃO DAS CULTURAS	11
3.1.1	Girassol	11
3.1.2	Centeio	12
3.2	ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS	13
3.2.1	Estresse salino na cultura do girassol	15
3.2.2	Estresse salino na cultura do centeio	16
3.3	ESTRESSE HÍDRICO NA GERMINAÇÃO E NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS	17
3.3.1	Estresse hídrico na cultura do girassol	19
3.3.2	Estresse hídrico na cultura do centeio	20
4	MATERIAL E MÉTODOS	21
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
5.1	GIRASSOL	23
5.1.1	Estresse salino	23
5.1.2	Estresse hídrico	26
5.2	CENTEIO	29
5.2.1	Estresse salino	29
5.2.2	Estresse hídrico	32
6	CONCLUSÕES	35
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36

1 INTRODUÇÃO

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma espécie dicotiledônea anual da família das Asteraceas, com importante papel na agricultura nacional e mundial, em razão da sua boa adaptabilidade às diferentes condições climáticas locais e amplitude de aplicações, seja para produção ornamental, extração de óleo ou produção de grãos e sementes, bem como a espécie se caracteriza como uma das oleaginosas com maior potencial para uso na produção de biocombustíveis e excelente opção nos sistemas de rotação de culturas.

Assim como o girassol, a cultura do centeio (*Secale cereale*) é uma opção bastante promissora em sistemas de plantio direto com rotação de culturas, ou mesmo em consórcio com outras espécies, devido a sua rusticidade de desenvolvimento no campo quanto às diferentes condições edafoclimáticas locais, atuando como cobertura do solo para a cultura seguinte. Trata-se de uma gramínea anual hiberna, pertencente à família das Poaceas, e apesar de ser também produzida para fins alimentícios como grão, sua principal aplicação se faz na implantação da espécie para o pastejo e alimentação animal no período do inverno, apresentando bons teores de massa seca e um ciclo de vida mais precoce, quando comparado às demais espécies forrageiras (Noro et al., 2002).

Níveis excessivos de sais na solução do solo afetam parâmetros como estrutura física, pH e aumento da pressão osmótica, interferindo negativamente no processo germinativo de sementes, e consequentemente no desenvolvimento das plântulas no campo, sendo a raiz a primeira estrutura a ser afetada (primeira a entrar em contato com a solução). Além disso, altas concentrações de sais solúveis na solução do solo, podem tornar a água requerida pelas plantas menos disponível para absorção, resultando em estresse hídrico. Vale salientar, que as espécies abordadas no presente trabalho são glicófitas, ou seja, sensíveis ao estresse salino.

A salinidade dos solos em concentrações elevadas é bastante prejudicial para o desenvolvimento das plantas no campo, sendo a maior parte por concentrações elevadas de cloreto de sódio (Dias et al., 2019), que atua restringindo o desenvolvimento das culturas e, por conseguinte, reduzindo sua capacidade de produção, sendo que tal fenômeno pode ocorrer de duas distintas maneiras: a salinização primária e a secundária.

A salinização primária refere-se ao acúmulo inicial de sais em áreas que já são naturalmente salinizadas, devido a fatores como a baixa ocorrência de chuvas na região e a alta taxa de evaporação local, levando a uma progressiva acumulação de íons de sais tanto na camada superficial quanto nas camadas mais profundas do solo (Esteves; Suzuki, 2008); já a salinização secundária, está associada a eventos antrópicos, ou seja, às atividades realizadas pelo homem, como por exemplo a implementação de ações como irrigação, fertilização e fertirrigações de áreas agricultáveis com águas salobras, e práticas de desmatamento (Silva; Grzybowski; Panobianco, 2016).

Por outro lado, o déficit hídrico ocorre em razão da falta de água no solo, em quantidades demandadas para amplo desenvolvimento da planta. Tal processo pode ocorrer pela baixa absorção, causada pela água disponível estar osmoticamente ligada aos solos salinos, mas também pode ocorrer por várias outras razões, como períodos de intensa evaporação, baixa precipitação pluviométrica local, ou pelo congelamento dos solos (Larcher, 2004). A ocorrência de tais condições adversas afeta desde a embebição no processo germinativo das sementes, até a redução do processo de crescimento em extensão (parte área) de plantas já estabelecidas, em decorrência da redução da turgência vegetal.

Apesar da importância das culturas do girassol e do centeio, estudos que avaliem o efeito desses estresses osmóticos na germinação de suas sementes, e no desenvolvimento inicial de plântulas, ainda são escassos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a interferência do estresse salino, induzido por soluções de NaCl, e do estresse hídrico, simulado por concentrações de polietilenoglicol (PEG 6000), na germinação de sementes e no comprimento inicial de plântulas de girassol e de centeio.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o efeito de diferentes concentrações de NaCl sobre a germinação de sementes de girassol e centeio.
- Avaliar o impacto de diferentes soluções compostas por PEG 6000 na germinação das sementes de girassol e centeio.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CARACTERIZAÇÃO DAS CULTURAS

3.1.1 Girassol

O girassol (*Helianthus annuus*) é uma espécie de ciclo anual pertencente à família das *Asteraceae*s, com centro de origem na América do Norte. Atualmente, a cultura do girassol é cultivada em todos os continentes, abrangendo uma extensão em área plantada de aproximadamente 29,2 milhões de hectares, com produtividade total estimada em 54 milhões de toneladas, ou seja, uma média aproximada de 1.850 kg/ha (FAO, 2022).

O principal país produtor de girassol atualmente é a Rússia (30,1%), seguido da Ucrânia (20,9%), Argentina (7,4%), China (5,37%) e Turquia (4,6%), enquanto que o Brasil não se encontra entre os principais produtores mundiais de girassol, contando com uma área plantada de 36,9 mil hectares e produtividade total de 60,1 mil toneladas (0,1%), ocupando a 31ª posição (FAO, 2022), mas com alta capacidade de expansão em área cultivada.

O cultivo da espécie vem crescendo ao longo dos anos, principalmente pelo seu valor atribuído na alimentação humana, que conta com diversos fatores benéficos para a saúde provenientes do óleo extraído de suas sementes, visto que o mesmo apresenta em sua composição vitamina E (ação antioxidante), fitonutrientes, proteínas, além de diversos minerais, como por exemplo o selênio e o magnésio (Khurana; Singh, 2021). Além disso, devido sua ampla capacidade de se adaptar as diferentes condições edafoclimáticas locais e sua elevada taxa de crescimento, a cultura do girassol é uma boa opção para a alimentação animal, além de apresentar expressivo potencial como fonte primária para a produção e biodiesel, desde que produzido em larga escala (Adeleke; Babalola, 2020).

Do ponto de vista agrônômico, a cultura do girassol é uma excelente opção em sistemas de rotação ou sucessão de culturas, visando um uso e manejo dos solos de forma mais conservacionista, visto que apresenta maior tolerância à seca e demais condições de estresse como frio ou calor excessivos, quando comparada as demais espécies cultivadas (Leite et al., 2005), além do alto valor econômico agregado à cultura.

A cultura do girassol é considerada a quarta principal fonte de óleo vegetal do mundo, ficando atrás apenas dos óleos de soja, palma e colza em produtividade (Khurana; Singh, 2021). De maneira geral, as sementes de girassol apresentam entre 39,14 e 47,05% de óleo em sua composição (Grunvald et al., 2014), podendo apresentar teores mais elevados, sementes provenientes de melhoramento genético. Entretanto, a variação percentual no teor oleico não depende apenas de fatores genéticos, mas também das características climáticas e suas variações durante todo o ciclo de desenvolvimento da planta no campo.

3.1.2 Centeio

O centeio (*Secale cereale*) é uma gramínea anual hiberna pertencente à família *Poaceae*, com centro de origem no sudoeste da Ásia. Possui parentesco com culturas conhecidas como “cereais de inverno”, como trigo, triticale, cevada, entre outras. Trata-se de uma cultura amplamente produzida para formação de pastagens, sendo uma excelente opção para implementação em sistemas de rotação com culturas de verão, suprimindo a falta de forragem para a alimentação animal nas estações mais frias e maximizando o potencial produtivo da área com melhor uso do solo. Dentre as opções de espécies disponíveis para implementação como cultura forrageira destinada à pastejo e produção de massa seca para alimentação animal no inverno, o centeio é a que mais se destaca por apresentar um ciclo mais precoce (Noro et al, 2002), bem como sendo a mais rústica e adaptável a condições ambientais menos favoráveis, apresentando assim um bom rendimento final forrageiro, especialmente na transição da estação de inverno para a primavera. Seu cultivo também é destinado para a alimentação humana como grão e para cobertura do solo em sistemas de plantio direto.

O cultivo do centeio ainda está muito aquém da sua potencialidade, mas já se encontra cultivado em todos os continentes, com maior expressividade no continente europeu (84%). A cultura abrange mundialmente uma área plantada de 4.016,433 milhões de hectares com produção total estimada em 13.143,055 milhões de toneladas, o que caracteriza uma produtividade de aproximadamente 3.172 kg/ha (FAO, 2022). Atualmente o principal país produtor é Alemanha (23,83%), seguido da Polônia (17,78%), Rússia (16,58%), Bielorrússia (5,70%) e Dinamarca (5,26%),

enquanto que o Brasil ocupa a posição 34º no ranking, com 5,569 mil hectares de área plantada e produção total estimada em 11,204 mil toneladas (FAO, 2022).

3.2 ESTRESSE SALINO NA GERMINAÇÃO E NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS

A salinização é um processo decorrente do acúmulo de sais no solo e na água, em níveis prejudiciais para o desenvolvimento das plantas, sendo em maior parte por concentrações elevadas de cloreto de sódio (Silva Dias et al., 2019), o qual atua limitando o desenvolvimento e, conseqüentemente, a produtividade das culturas, sendo mais ocorrente e expressivo em zonas áridas, semiáridas e mediterrâneas. O processo de salinização pode ocorrer de dois tipos distintos identificados, podendo esta ser uma salinização primária ou secundária (Allakhverdiev et al., 2000).

A salinização primária refere-se à acumulação inicial de sais em áreas naturalmente salinizadas, por consequência de ações como baixa ocorrência de precipitações pluviométricas locais e elevada taxa de evaporação, resultando em uma acumulação gradual de íons de sais na superfície do solo e nas camadas subsuperficiais (Esteves; Suzuki, 2008). Em contrapartida, a salinização secundária está associada a eventos antrópicos, ou seja, a atividades realizadas pelo homem, como a exemplo da irrigação de áreas agricultáveis com águas salobras (Pasternack; Malach, 1995), fertilização e fertirrigações inadequadas e a prática de desmatamento (Silva; Grzybowski; Panobianco, 2016), atividade esta que favorece o excesso de água da chuva, que anteriormente era consumido pela floresta nativa original, infiltrando em profundidade no perfil do solo e, conseqüentemente, fazendo com que águas subterrâneas ascendam por capilaridade para camadas mais superficiais, levando consigo sais armazenados no subsolo, que se acumulam, devido a redução da atividade de evapotranspiração local (Silva Dias et al., 2019). O desenvolvimento e posterior rendimento final das plantas quando expostas a ambientes salinos, são reduzidos quando o efeito de água salina (EAS), ultrapassa 4 mS/cm, logo, a água utilizada em sistemas de irrigação, não deve apresentar valores de condutividade elétrica superiores a 2 mS/cm (Larcher, 2004).

Os efeitos da salinização sobre o desenvolvimento e produtividade das culturas tornam-se ainda mais preocupantes, dado o expressivo aumento da população ao longo os anos, o que ocasiona uma crescente demanda por alimento,

enquanto o avanço nos índices da produção de alimentos é bastante limitado, visto que a maioria das espécies cultivadas são sensíveis ao sal (Lopes; Macedo, 2008).

Níveis excessivos de sais na solução no solo, afetam parâmetros como sua estrutura física, pH e aumento da pressão osmótica. Em consequência, ocorrem efeitos adversos que comprometem tanto o processo germinativo das sementes quanto o subsequente desenvolvimento das plântulas no campo, como o desbalanço hormonal, fitotoxidez e diminuição da disponibilidade hídrica (Dias; Blanco, 2010). Um ambiente salino, através da atividade osmótica, retém a água disponível na solução do solo, tornando-a cada vez menos disponível para absorção, bem como o excesso de sais no protoplasma das plantas, ultrapassando os níveis tolerados, causam injúrias e distúrbios funcionais no desenvolvimento das espécies. O processo respiratório, em especial nas raízes, se descontrola, podendo aumentar ou diminuir drasticamente pela ação dos sais, bem como a taxa de realização da fotossíntese se torna bastante limitada, uma vez que ocorre o fechamento dos estômatos como um mecanismo de defesa, e a ação da alta concentração de íons salinos sobre os cloroplastos (organelas de suma importância envolvidas no processo), afetam o transporte de elétrons e demais processos secundários envolvidos no metabolismo fotossintético (Prisco; Gomes Filho; 2010).

Algumas plantas, denominadas como halófitas, são mais tolerantes ao sal, pois acumulam alguns íons inorgânicos em elevadas concentrações em suas estruturas e tecidos, e utilizam dos mesmos para manter seu potencial osmótico abaixo do potencial osmótico do solo, conseguindo absorver água, ou seja, possuem característica de resistência para sobrevivência em solos salinos (Filho et al., 2016). Entretanto, a maior parte das espécies cultivadas são sensíveis ao estresse salino, em diferentes estádios de seu desenvolvimento, e a absorção de sais por estas plantas, conhecidas como não-halofíticas ou glicófitas, limitam drasticamente sua taxa de crescimento e desenvolvimento no campo. De maneira geral, a resposta ao estresse salino por ambos os tipos de plantas, são semelhantes, à medida que se aumenta a intensidade das concentrações, mas em contrapartida, os limites de tolerância se diferem entre si (Larcher, 2004).

3.2.1 Estresse salino na cultura do girassol

Fatores ambientais adversos, denominados como distúrbios ou estresses, comprometem a produtividade agrícola e o rendimento final das culturas, inclusive da cultura do girassol (Carneiro et al., 2011). Por se tratar de uma espécie cultivada em segunda época (período do ano não correspondente à estação principal de plantio), ou safrinha, a cultura do girassol está constantemente sujeita a enfrentar condições de adversidade climática ao longo do seu ciclo de desenvolvimento, seja por variações sazonais, atividade oceânica, posição do sol e até mesmo mudança no padrão dos ventos, mas, principalmente à restrições de disponibilidade hídrica e níveis prejudiciais de salinidade dos solos (Backes et al., 2008), e se tratando de uma cultura bastante adaptável às diferentes condições edafoclimáticas locais e de alto valor econômico agregado, o girassol se encontra cultivado nas mais diversas regiões do Brasil e do mundo, se deparando com distintas realidades, como os solos salinos das regiões áridas e litorâneas (Lewandowski et al., 2016).

A elevada concentração salina presente nos solos atua reduzindo a disponibilidade hídrica, em decorrência da redução do potencial osmótico, fazendo com que as plantas de girassol gastem mais energia para absorver água e nutrientes necessários para o seu desenvolvimento no campo (Junior et al., 2011). A presença de excesso de sais solúveis na solução dos solos, se destaca entre os distúrbios que mais afetam a produtividade da cultura do girassol, causando danos diretos e também indiretos ao seu ciclo de desenvolvimento, com maiores impactos nos estádios fenológicos de desenvolvimento iniciais (Souza et al., 2012), como a germinação de sementes e a emergência e estabelecimento da plântula no campo. Algumas pesquisas realizadas, apontam que a cultura apresenta tolerância a baixos níveis de concentração de sal durante todo o seu ciclo, não dependendo da sua fase de desenvolvimento (Morais et al., 2011), mas em contrapartida, à medida que a concentração de sais solúveis no solo aumenta, a espécie é bastante afetada, sendo necessário realizar o controle deste alto teor salino.

De maneira geral, a salinidade do solo, ocasionará, em níveis excessivos, o estresse hídrico, afetando diversos estádios fenológicos de desenvolvimento da cultura do girassol que possuem maior necessidade por água, como por exemplo o processo germinativo das sementes, que depende da absorção de água para embebição nas sementes, como também demais injúrias ocasionadas pela presença

de sais, como a fitotoxidez e distúrbios hormonais das plantas, pela absorção destes sais em elevadas concentrações e, decorrente acúmulo dos mesmos em suas estruturas. A intensidade com que a salinidade excessiva do solo afeta o processo germinativo das sementes depende de uma série de fatores relacionados ao seu vigor e morfologia, bem como ao nível de concentração do sal, o tempo de exposição e às condições ambientais locais, ou seja, depende de fatores intrínsecos e extrínsecos para que danos germinativos ocorram em menor ou em maior intensidade. Porém, em plântulas de espécies glicófitas, como é o caso do girassol, e também da maioria das espécies cultivadas, a etapa fenológica de estabelecimento da cultura no campo, é mais prejudicada pela salinidade do solo que a germinação das sementes em si (Marques et al., 2011).

3.2.2 Estresse salino na cultura do centeio

A ocorrência de solos salinos é bastante comum em regiões áridas e semiáridas, em razão das condições climáticas locais, bem como em regiões litorâneas, em decorrência do acúmulo de sais causado por ação das águas dos mares e oceanos. Com a crescente demanda por alimento, áreas afetadas por processos de salinização do solo aumentam nos países em desenvolvimento, visto que, conseqüentemente, há uma maior necessidade de produção de alimentos e adoção de práticas como a irrigação, que contribuem para o processo. Com base no mapa de solos do Brasil, os solos salinos ocupam cerca de 16 milhões de hectares (Pedrotti et al., 2015), dos quais mais de 50% se encontram na região nordeste do país. Entretanto, também são encontradas em território brasileiro, áreas salinizadas no Pantanal do Estado do Mato Grosso e no Rio Grande do Sul (Ribeiro et al., 2009), segundo Estado de maior área plantada e produção total estimada da cultura do centeio no país (Conab, 2023).

Assim como a maioria das espécies cultivadas, o centeio é uma planta glicófita (sensível ao sal), ou seja, a etapa fenológica em que a salinidade do solo tem efeito mais expressivo, é no estabelecimento e respectivo crescimento inicial das plântulas. O centeio é uma espécie considerada tolerante à salinidade, quando não se encontra em níveis críticos (François et al., 1989), porém, quando a cultura é afetada por concentrações elevadas de sais solúveis na solução do solo, o primeiro órgão afetado é a raiz, pois é a primeira estrutura da fase inicial de desenvolvimento da planta a ser

exposta ao estresse salino (Ogawa et al., 2006). O sistema radicular das plantas desempenha papel fundamental e de suma importância na absorção de água e nutrientes da solução do solo, em níveis exigidos pelas plantas e quando afetado, processos metabólicos vitais da planta, como a fotossíntese, a respiração celular, a regulação osmótica, entre outros, são comprometidos, dificultando o desenvolvimento e funcionamento adequado das plantas e, conseqüentemente, reduzindo a produtividade e o rendimento final da cultura.

Apesar da relevância econômica e cultural do centeio, há uma escassez significativa de pesquisas e trabalhos acadêmicos que abordem os efeitos da salinidade dos solos sobre o processo germinativo das sementes e vigor de plântulas estabelecidas no campo nesta condição de estresse.

3.3 ESTRESSE HÍDRICO NA GERMINAÇÃO E NO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS

A água é um recurso extremamente importante para as plantas, pois atua em diversos processos fisiológicos de seu desenvolvimento. Das necessidades requeridas por uma planta para ter um desenvolvimento bem sucedido no campo, a água é o principal, pois apesar de ser o constituinte mais predominante (90 a 95 % da biomassa vegetal), é também o mais restritivo, pois sem água disponível em quantidades requeridas, as plantas não conseguem completar seus processos fisiológicos para se manterem vivas, dentre os quais estão a absorção e translocação e nutrientes, e a fase fotoquímica da fotossíntese, entre outros (Campos; Santos; Nacarath, 2021).

O estresse hídrico é um processo ocasionado pela falta de água no solo em quantidades demandadas, reduzindo a absorção de água e nutrientes presentes na solução do solo pelo sistema radicular da planta, causando prejuízos e injúrias para as espécies. Tal processo pode ser observado em decorrência de uma variedade de razões, como períodos de intensa evaporação, baixa precipitação pluviométrica local, congelamento dos solos ou então por resultado da água disponível estar osmoticamente ligada aos solos salinos (Larcher, 2004), bem como em casos de seca mais intensificados, pela absorção inadequada de água pelas raízes das plantas em solos muito rasos, limitando seu desenvolvimento. Em regiões mais secas, os períodos de estiagem ao longo do ano têm uma ocorrência bastante prolongada e regular, ocasionando assim uma evapotranspiração anual maior que os índices de

precipitação. No Brasil, as regiões mais secas se encontram em maior concentração no nordeste do país, ou seja, no semiárido brasileiro, podendo haver a ocorrência de anos de seca total (abrangendo todas as áreas), ou seca parcial, nos quais apenas algumas regiões são afetadas (Tavares et al., 2019). Das grandes perdas de produtividade registradas nas safras de período de verão no Brasil, 71% são decorrentes de problemas relacionados ao déficit hídrico (Casagrande et al., 2001).

Plantas semeadas em solos com deficiência hídrica tem principalmente sua velocidade e porcentagem de germinação afetados, e depende da espécie (Bewley; Black, 1994) e sua fisiologia vegetal, pois algumas apresentam, ou então desenvolvem, vantagens para se estabelecerem em áreas onde espécies sensíveis à seca não podem fazê-lo. Segundo Larcher (2004), quando já germinadas, a primeira resposta ao estresse hídrico bastante visível nas plântulas em desenvolvimento, é a redução da turgência vegetal e, conseqüentemente, a diminuição do processo de crescimento em extensão (parte aérea).

Mesmo em condições onde o estresse hídrico ocorre em níveis moderados, há a ocorrência de síntese de ácido abscísico (ABA), a partir dos carotenoides presentes na raiz das plantas, que é então transportado através dos vasos condutores para distintas partes da planta, como um “sinal”, desencadeando uma variedade de efeitos (mudanças e adaptações), como mecanismos de resistência ao estresse, e estes podem ser de três tipos: tolerância, escape e retardo (Kerbaury, 2009). Plantas tolerantes à seca possuem adaptações adquiridas por seleção natural, que possibilitam manter o funcionamento adequado do seu metabolismo fisiológico, mesmo em condições de déficit hídrico, como é o caso das espécies xerófitas, que apresentam adaptações para sobreviver em ambientes áridos e semiáridos, armazenando água em seu interior e alterando ao longo dos anos as suas folhas, para o surgimento dos espinhos (Ghannoum et al., 2003). No que diz respeito a característica de escape, as plantas aceleram as etapas do seu desenvolvimento fenológico, encurtando o seu ciclo, possibilitando assim a sua sobrevivência antes que o estresse alcance níveis críticos e cause perdas significativas de sua produtividade (Verslues et al., 2006).

Por fim, plantas adaptadas com a característica de retardo fazem a tentativa de “reparo” da turgência celular, e isto pode ocorrer de distintas formas, como por exemplo, melhorando a absorção de água por meio do desenvolvimento de um sistema radicular mais extenso e grande área ativa de absorção, permitindo a

captação de águas dispostas nas camadas mais profundas do solo (Campos; Santos; Nacarath, 2021), bem como reduzindo as perdas por evapotranspiração, por meio do fechamento temporário dos estômatos, desenvolvimento de folhas com maior presença de cutina, ceras e em alguns casos, pelos (servindo como barreira), enrolamento foliar (diminuindo a superfície de transpiração), e diminuição da área foliar específica, bem como a abscisão parcial ou total das folhas em casos mais severos de deficiência hídrica (Larcher, 2004).

3.3.1 Estresse hídrico na cultura do girassol

A cultura o girassol apresenta expressivo crescimento em área plantada ao longo dos anos, estando atualmente presente em todos os continentes. Essa ampla aceitação da cultura pelos produtores de todo o mundo diz respeito tanto ao alto valor econômico associado a espécie e sua ampla gama de aplicações (agronômicas e industriais), bem como pela sua característica de boa adaptabilidade e tolerância a condições climáticas adversas, conseguindo se desenvolver e completar o seu ciclo (Sobrinho; Tieppo; Silva, 2011). São alguns exemplos de aplicação da cultura do girassol a produção de óleo, alimentação animal, utilização em sistemas de rotação de culturas, produção de biodiesel, bem como o uso ornamental e produção de mel (servindo como flora apícola).

As necessidades hídricas para a cultura do girassol não são ainda bem definidas e estabelecidas, mas estima-se que esta seja entre 500 e 700 mm, bem distribuídos ao longo do ano, sendo a fase do florescimento a mais crítica (necessita de cerca de 55% desta faixa de água), seguido das fases de período vegetativo da cultura e enchimento dos grãos (FAO, 2021). Seu sistema radicular do tipo pivotante é bastante profundo, conseguindo alcançar e extrair água em grandes profundidades, podendo alcançar os dois metros (Sobrinho; Tieppo; Silva, 2011); porém, em níveis críticos de déficit hídrico, a produção e o rendimento final dos grãos em termos qualitativos, são bastante afetados, sendo sua produção máxima alcançada em condições de umidade em capacidade de campo. Além disso, não há processo vital de uma planta que não seja afetado de alguma forma pelo declínio da disponibilidade hídrica no solo (Larcher, 2004), reduzindo desde o percentual dos índices germinativos da cultura no campo, como posteriormente o vigor da plântula em desenvolvimento, que são fases subsequentes do metabolismo da planta, ou seja,

são afetadas direta ou indiretamente pela falta de água desde a germinação das sementes da espécie.

3.3.2 Estresse hídrico na cultura do centeio

Comparado aos demais cereais de inverno, o centeio vem ganhando espaço e aceitação por parte dos produtores devido a sua rusticidade e alta capacidade de se adaptar às diferentes condições de adversidade climáticas locais. Entretanto, a baixa disponibilidade hídrica, é um fator limitante para a cultura, afetando o estabelecimento adequado da espécie na lavoura.

As injúrias causadas às plantas no geral iniciam-se no processo germinativo das sementes, pois a água absorvida pelas sementes atua não somente na embebição, como também apresenta elevado potencial químico, desempenhando papel fundamental na reidratação dos tecidos, participando prontamente da atividade respiratória e demais atividades metabólicas, bem como atua também de maneira ativa na translocação de foto assimilados para o embrião e no processo de hidrólise (Peske; Villela; Meneghello, 2012). De maneira geral, a etapa mais afetada pela restrição hídrica, é a germinação, visto que cada espécie, apresenta um valor diferente de potencial hídrico, abaixo do qual, não há germinação das sementes (Lopes; Macedo, 2008), e em condições de estresse onde ainda há germinação, as plantas sofrem reduções drásticas do seu vigor no campo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia e Fitossanidade da Universidade Federal do Paraná, em Curitiba. Para a condução da pesquisa foram utilizadas sementes de girassol e centeio das cultivares Aguará 6 e Temprano Elite, respectivamente.

Primeiramente, foi realizada a homogeneização do lote de sementes pelo método manual, baseado nos critérios das Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009), o qual foi dividido em quatro repetições. No período da realização da pesquisa as sementes foram armazenadas em sacos de papel tipo Kraft, garantindo as condições ideais de conservação das sementes para o estudo em curso.

As sementes foram colocadas para germinar em papel toalha do tipo germitest, o qual foi umedecido com a solução de Cloreto de Sódio (NaCl) para simulação de estresse salino, em concentrações determinadas com base em valores encontrados em trabalhos semelhantes na literatura. As soluções foram feitas diluindo-se o soluto em água deionizada para as concentrações de 0, 20, 40, 60, 80 e 100 mmol L⁻¹ de NaCl (Tabela 1), correspondendo aos seguintes valores de condutividade elétrica (CE): 107,4 µS/cm (referente à testemunha), e 2,85; 4,05; 5,86; 7,34 e 9,53 mS/cm, respectivamente. A simulação de estresse hídrico foi realizada mediante o uso de soluções de Polietilenoglicol (PEG 6000) dissolvido em água deionizada a 20°C para a cultura do centeio e 25°C para a cultura do girassol, baseando-se no trabalho de Villela et al. (1991), para os potenciais osmóticos de -0,2; -0,4 e -0,6 Mpa, além da testemunha (Quadro 1).

QUADRO 1 – QUADRO DE REFERÊNCIA PARA PREPARO DE SOLUÇÕES: NaCl E PEG 6000

NaCl em gramas para cada litro de solução			PEG 6000 em gramas para cada litro de solução		
mmol/L	mol/L	Massa de NaCl (g)	Mpa	PEG 6000 (g) -20°C	PEG 6000 (g) -25°C
20	0,020	1,16880	-0,2	112,232	119,571
40	0,040	2,33760	-0,4	169,425	178,343
60	0,060	3,50640	-0,6	213,640	223,664
80	0,080	4,67520	* Massa de NaCl= Concentração (em mol/L) x Volume (em L) x Massa molar (em g/mol), onde a massa molar de NaCl é igual a 58,44 g/mol.		
100	0,100	5,84400			

FONTE: O autor (2024).

Para o teste de germinação de cada tratamento, quatro repetições de 50 sementes cada foram colocadas para germinar em rolos formados por três folhas de

papel toalha do tipo germitest, os quais foram umedecidas com as doses testadas em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa do papel. Feito isto, os rolos foram levados para germinadores do tipo Mangelsdorf, à temperatura de 20°C para centeio e à 25°C para girassol. Após sete dias da instalação do teste de germinação, foi realizada a contagem de plântulas normais, que seguiram os critérios estabelecidos nas Regras para Análise de Sementes (BRASIL, 2009). Os resultados foram expressos em porcentagem.

Visando avaliar a influência da salinidade e do estresse hídrico no desenvolvimento inicial de plântulas (vigor da semente) das duas espécies abordadas, a seguinte avaliação foi realizada:

Comprimento de plântulas – A semeadura foi efetuada em rolo de papel toalha, sendo empregadas quatro repetições de 20 sementes para cada tratamento, as quais foram distribuídas no terço superior do papel em duas fileiras de 10 sementes cada, espaçadas e intercaladas entre si. Na colocação das sementes no substrato, foi direcionado a extremidade da radícula para a parte inferior do papel, permitindo assim o desenvolvimento uniforme e retilíneo da raiz e da parte aérea, visando favorecer a mensuração do comprimento total da plântula (Krzyzanowski et al., 2020), medida esta que foi determinada pelo somatório do comprimento da parte aérea (obtido ao medir a distância entre a inserção da porção basal da radícula ao ápice da parte aérea da plântula) e do comprimento da porção radicular das plântulas, medida esta quantificada pela mensuração da distância entre a parte apical e basal da raiz (Nakagawa, 1999).

As repetições de cada tratamento foram fechadas com sacos de plástico transparente, visando manter constante a umidade do substrato, bem como evitar possíveis contaminações com o meio externo, e colocadas em posição vertical no interior do germinador, regulado a 20°C para a cultura do centeio e 25°C para a cultura do girassol, na ausência de luz por um período de sete dias. O valor final do comprimento se deu pela média aritmética das repetições, que individualmente foram mensuradas com uso de régua graduada e contabilizadas em milímetros.

Os dados de germinação de sementes e comprimento de plântulas foram submetidos à análise de variância pelo teste F ($p < 0,01$) e de regressão, sendo os modelos escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 GIRASSOL

5.1.1 Estresse salino

Conforme resultados obtidos por meio de teste de comparação de médias expressos na Tabela 1, a concentração de 100 mmol/L diferiu significativamente da testemunha, afetando negativamente a germinação e o vigor, avaliado pelo teste de comprimento de plântulas.

TABELA 1. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) E COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE SEMENTES DE GIRASSOL SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

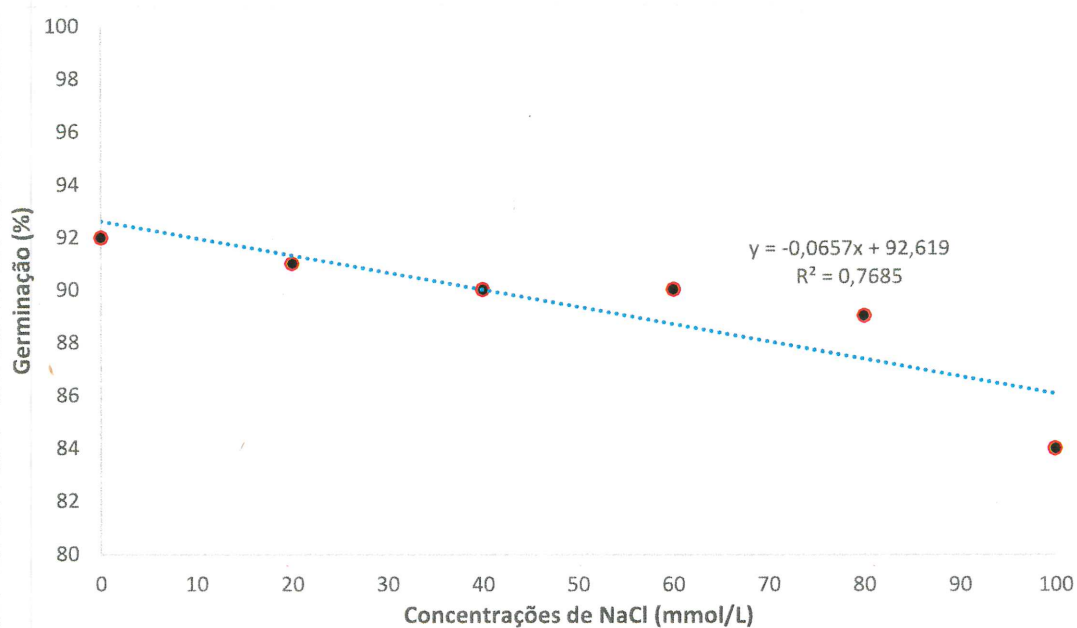
Girassol – Estresse salino (NaCl)		
Concentrações de NaCl (mmol/L)	Germinação (%)	Comprimento de plântulas (mm)
0	92 a	240,4 a
20	91 ab	238,7 a
40	90 ab	226,9 a
60	90 ab	214,9 a
80	89 ab	149,4 ab
100	85 b	108,2 b
C.V. (%)	3,14	7,31

FONTE: O autor (2024).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

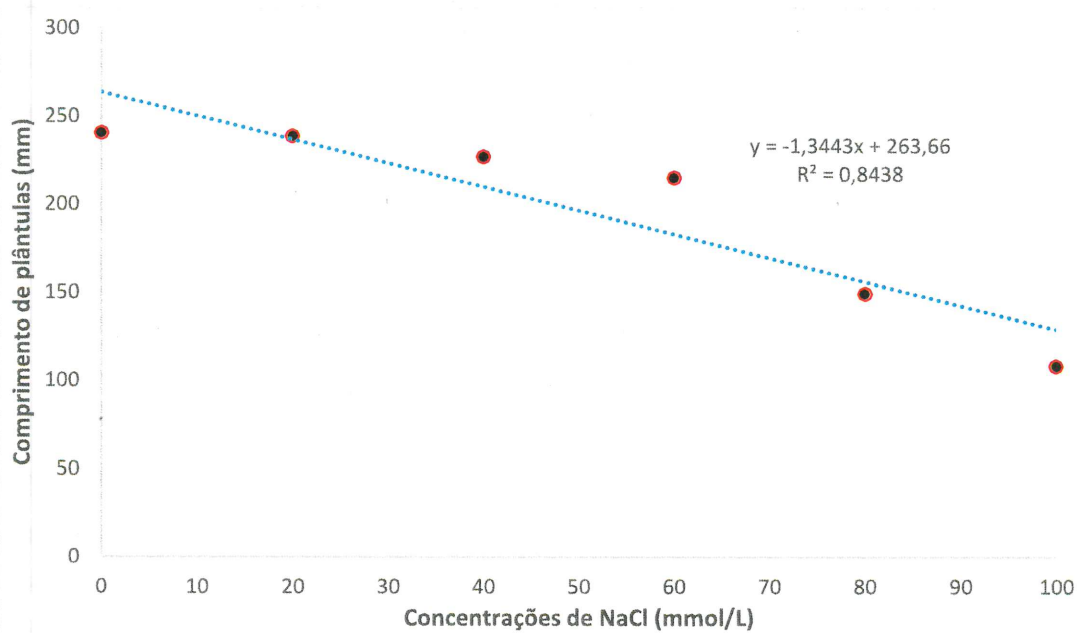
Nas Figuras 1 e 2 está a análise de regressão dos resultados da porcentagem de germinação das sementes e do comprimento inicial de plântulas de girassol, podendo-se observar uma relação linear nas variáveis analisadas, sendo que a partir da concentração de 100 mmol/L ocorreu uma redução significativa na viabilidade e no vigor da semente, para a cultivar estudada. As demais concentrações não diferiram da testemunha.

FIGURA 1. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) DE SEMENTES DE GIRASSOL SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO



FONTE: O autor (2024).

FIGURA 2. DADOS MÉDIOS DE COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE GIRASSOL SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO



FONTE: O autor (2024).

De maneira semelhante com o presente trabalho, Sousa et al. (2012), em pesquisa realizada com sementes de girassol da cultivar BRS 321, observaram uma tendência linear de redução nos índices germinativos quando comparados com a testemunha, reforçando a consistência dos efeitos da variável investigada sobre a germinação das sementes de girassol.

Em contrapartida, Rabbani et al. (2013), concluíram em seu trabalho que a maior porcentagem de germinação para a cultivar de girassol abordada, foi observada na concentração salina de 25 mmol/L (superando a testemunha), reduzindo-se posteriormente em concentrações mais elevadas.

Lima et al. (2005) observaram em seu experimento que elevados teores de sal nos solos, especialmente por concentrações de NaCl, podem resultar na inibição da germinação da semente de girassol, em consequência da diminuição do potencial osmótico do solo, além de causar injúrias nas demais etapas fenológicas de desenvolvimento das plantas já estabelecidas na lavoura por toxicidade (elevada concentração de íons de sais no protoplasma vegetal).

É plausível supor que, em busca de cultivares mais tolerantes às condições de estresse salino, programas de melhoramento genético vêm sendo empregados em larga escala, buscando obter genótipos mais adaptáveis e estáveis às relações da planta com o ambiente (Coutinho et al., 2015), tendo assim a possibilidade de a cultivar empregada no estudo em curso apresentar respostas menos negativas ao efeito dos sais nos seus índices germinativos por meio de melhoramento genético.

Para o comprimento de plântulas, verificou-se também uma tendência linear com comportamento de redução, à medida que se aumentou a concentração salina por NaCl; porém, a redução significativa ocorreu com a concentração de 100 mmol/L (108,2 mm), demonstrando que elevadas concentrações salinas comprometeram significativamente o desenvolvimento inicial das plântulas de girassol.

O mesmo comportamento foi observado por Neto et al. (2017) para plântulas de girassol da cultivar Catissol, em seu estudo abordando diferentes níveis de salinidade induzidos por concentrações de NaCl e CaCl_2 sobre o crescimento inicial de plântulas, no qual obtiveram uma tendência linear de redução do parâmetro analisado sob ação de ambas as moléculas químicas, com o menor valor registrado para a condutividade elétrica de 12,5 mS/cm (120,0 e 70,0 mm; respectivamente), e corroborado por Sousa et al. (2012) em dois estudos separados, que abordaram as cultivares BRS 321 e BRS 324, que em concentrações salinas simuladas por NaCl

correspondentes a 4 mS/cm, apresentaram de maneira semelhante a menor mensuração das plântulas.

5.1.2 Estresse hídrico

Na Tabela 2 encontram-se os resultados de germinação de sementes e comprimento de plântulas de girassol sob condições de estresse hídrico. Ambas variáveis foram afetadas pelo déficit hídrico a partir do nível de -0,6 MPa, sendo que a porcentagem de germinação teve uma redução de 20%, quando comparada ao tratamento testemunha, além de apresentar redução no comprimento total das plântulas mensuradas nesta concentração, em relação às demais.

TABELA 2. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) E COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE SEMENTES DE GIRASSOL SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO

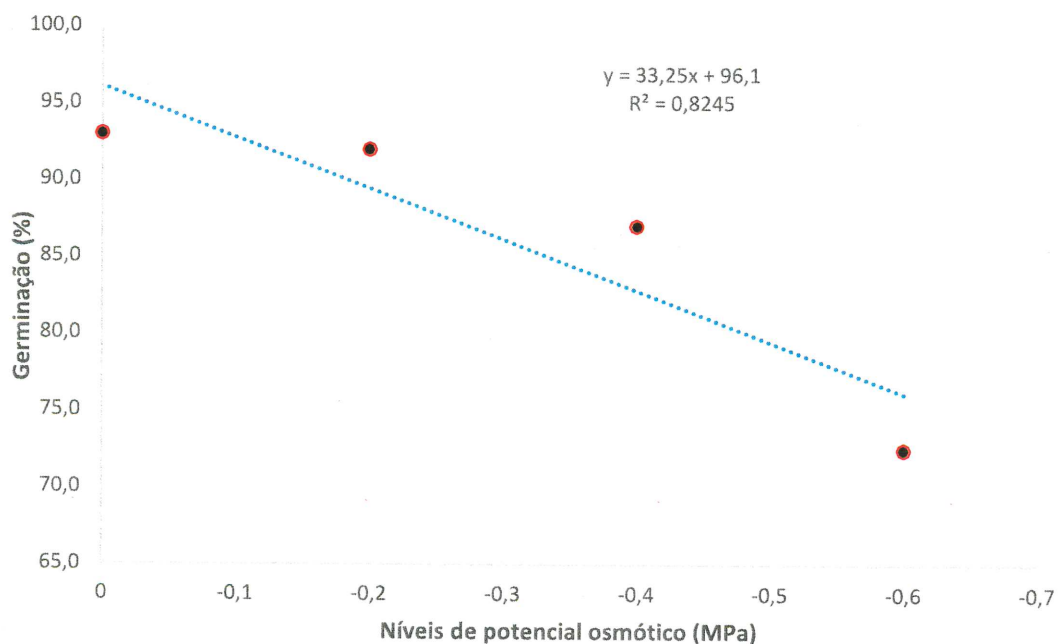
Girassol – Estresse hídrico (PEG 6000)		
Níveis de potencial osmótico (MPa)	Germinação (%)	Comprimento de plântulas (mm)
0	93 a	240,1 a
-0,2	92 a	255,2 a
-0,4	87 a	218,5 a
-0,6	73 b	166,3 b
C.V. (%)	3,47	6,24

FONTE: O autor (2024).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

Na Figura 3 pode ser visualizada a expressiva redução da viabilidade das sementes no potencial osmótico mais negativo (-0,6 MPa), com o poder germinativo caindo abaixo de 80%. As injúrias causadas pelo déficit hídrico se iniciam no processo germinativo, etapa de elevada exigência em água disponível para realizar a embebição das sementes, bem como, cada espécie possui um valor de potencial hídrico, abaixo do qual as sementes não conseguem germinar (Lopes; Macedo, 2008).

FIGURA 3. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) DE SEMENTES DE GIRASSOL SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO



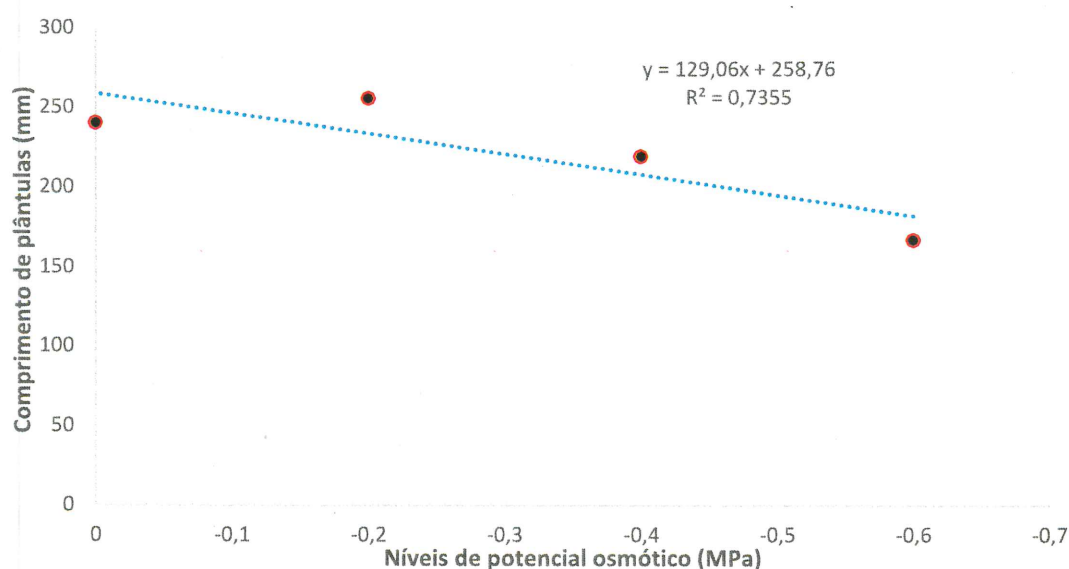
FONTE: O autor (2024).

No estudo realizado por Nunes (2015), verificou-se que diferentes cultivares de girassol testadas sofreram reduções significativas em seus percentuais germinativos, especialmente a partir de -0,3 MPa de potencial osmótico. De mesma maneira que Cunha et al. (2010) observaram que em níveis mais elevados de estresse hídrico, induzido por soluções de PEG 6000, representou uma porcentagem de germinação das sementes de girassol da cultivar Cartissol-01 de apenas 66%.

Além do processo de embebição, a água absorvida pelas sementes desempenha papel fundamental na reidratação de tecidos, assim como apresenta elevado potencial químico, participando prontamente da atividade respiratória e demais atividades metabólicas realizadas pelas plantas, bem como esta possui participação ativa na translocação de foto assimilados e processo de hidrólise (Peske; Villela; Meneghello, 2012); logo, plântulas que conseguem germinar sob condições locais onde há déficit hídrico, sofrem injúrias em suas etapas fenológicas iniciais de desenvolvimento, causando reduções severas do seu vigor no campo.

Os efeitos da redução da disponibilidade hídrica no comprimento inicial das plântulas de girassol para a cultivar abordada no presente estudo (Aguará 6), podem ser observados na Figura 4, onde a redução estatística ocorreu também somente em -0,6MPa (166,3 mm), com as plântulas atingindo um comprimento menor do que 200 mm.

FIGURA 4. DADOS MÉDIOS DE COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE GIRASSOL SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO



FONTE: O autor (2024).

Carneiro et al. (2011), em seu estudo com sementes de girassol da cultivar M735, observaram que o estresse hídrico até o potencial osmótico de -0,6 MPa não influenciou significativamente o desempenho fisiológico em diversos aspectos abordados no experimento, dentre estes a mensuração inicial de plântulas da espécie, sendo que para o potencial osmótico de -0,8 MPa (o mais severo em restrição hídrica empregado no estudo), a estatística apresentou diferença significativa de redução no seu comprimento inicial.

A cultivar estudada por Carneiro et al. (2011) foi mais tolerante ao déficit hídrico que a cultivar abordada no presente estudo (Aguará 6), que sofreu redução significativa no seu vigor no potencial osmótico de -0,6 MPa.

5.2 CENTEIO

5.2.1 Estresse salino

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos pelo teste de Tukey a 1% de probabilidade, comparando a taxa de germinação e o comprimento de plântulas sob diferentes condições de salinidade para o centeio.

TABELA 3. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) E COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE SEMENTES DE CENTEIO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

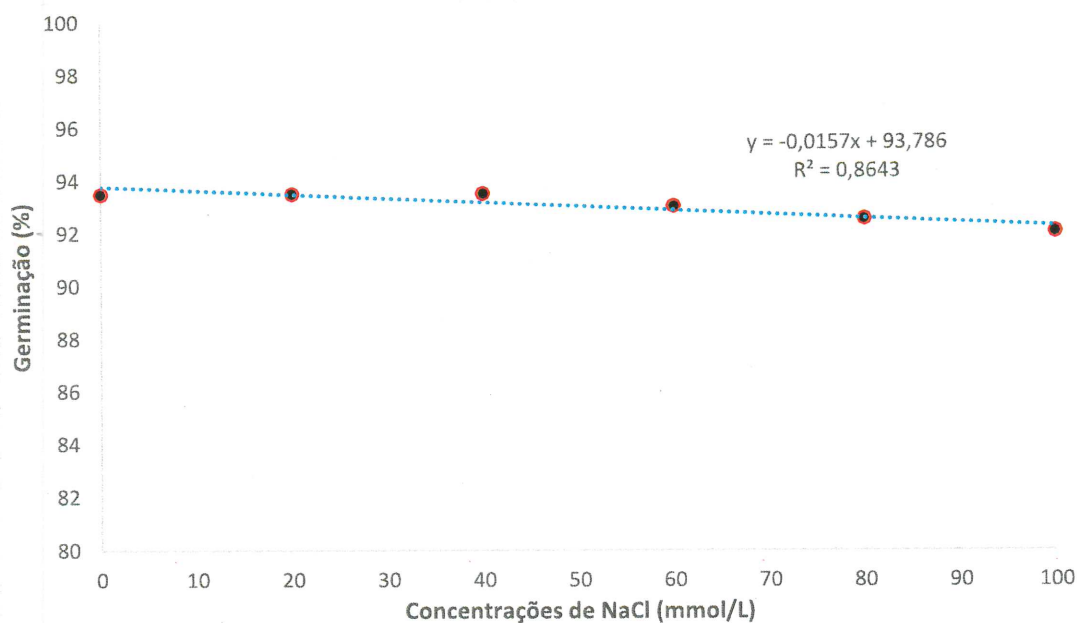
Centeio – Estresse salino (NaCl)		
Concentrações de NaCl (mmol/L)	Germinação (%)	Comprimento de plântulas (mm)
0	94 a	255,6 a
20	94 a	255,3 a
40	94 a	199,7 b
60	93 a	192,3 b
80	93 a	141,0 c
100	92 a	128,1 c
C.V. (%)	2,92	6,92

FONTE: O autor (2024).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

Não houve diferença estatística na germinação das sementes da cultivar até 100 mmol/L de NaCl. Isso pode ser visualizado na Figura 5, que mostra essa tendência de comportamento, com todos os tratamentos testados não diferindo significativamente da testemunha.

FIGURA 5. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) DE SEMENTES DE CENTEIO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO

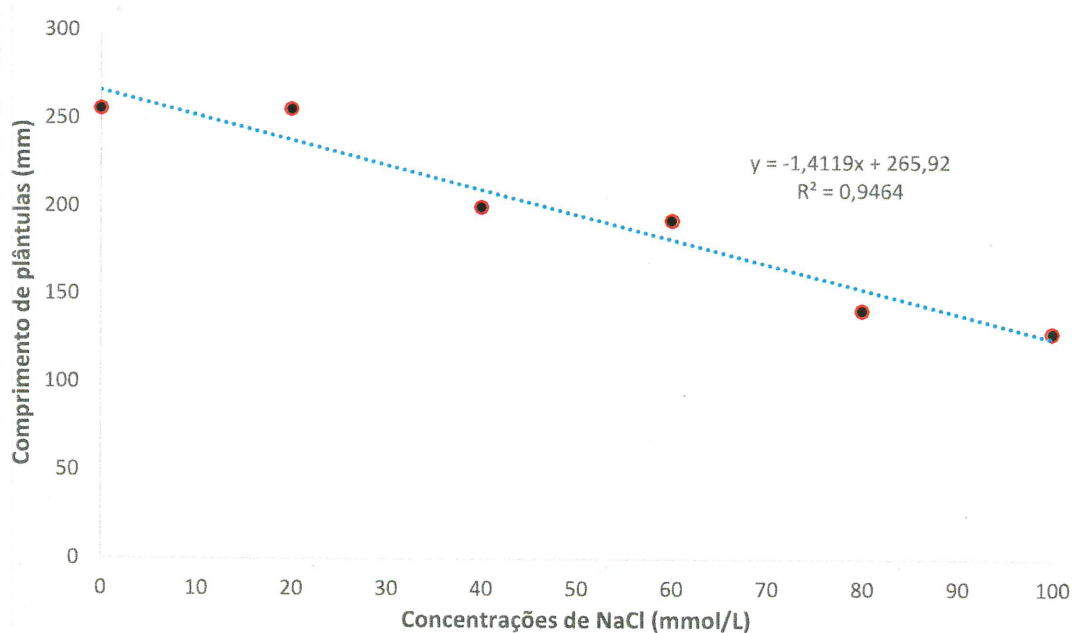


FONTE: O autor (2024).

Tais resultados são semelhantes aos encontrados por Desheva et al. (2019) para as cultivares de centeio Milenium, B7E0055 e B7E0131, onde ambas não tiveram seus índices germinativos afetados em distintas concentrações salinas por cloreto de sódio, nem mesmo em concentração superior a máxima abordada neste presente trabalho (150 mmol/L).

O vigor, por outro lado, sofreu decréscimos significativos à medida que foi aumentando as concentrações de NaCl (Figura 6), sendo observadas diferenças significativas da testemunha a partir de 40 mmol/L, ficando abaixo de 200 mm o comprimento das plântulas.

FIGURA 6. DADOS MÉDIOS DE COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE CENTEIO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE SALINO



FONTE: O autor (2024).

De maneira semelhante a cultura do girassol, a cultura do centeio pode apresentar respostas menos drásticas em condições de estresse salino que o esperado, para o parâmetro porcentagem de germinação, devido ao avanço de materiais obtidos via melhoramento genético de sementes, que visa alcançar genótipos mais adaptáveis e estáveis às relações da planta com o ambiente (Coutinho et al., 2015). Entretanto, naturalmente, as plantas consideradas glicófitas são menos tolerantes aos danos causados pelas altas concentrações salinas, como é o caso da cultura o centeio, e mesmo em condições onde as sementes conseguem germinar, o vigor destas plântulas foi impactado.

Foi observada uma relação linear de redução no comprimento inicial de plântulas de centeio da cultivar em estudo, sob concentrações crescentes de cloreto de sódio, com destaque para os tratamentos de 80 e 100 mmol/L, que registraram os maiores impactos da variável testada, com mensurações das plântulas iguais a 141,0 e 128,1 mm, respectivamente.

A literatura disponível que aborda a variável comprimento das plântulas para a espécie em estudo é bastante escassa, o que dificulta a comparação entre os resultados obtidos.

5.2.2 Estresse hídrico

A análise dos dados, conforme evidenciado pelos testes de comparação de médias na Tabela 4, apresenta os resultados obtidos para as variáveis de germinação de sementes e comprimento inicial de plântulas de centeio submetidas a condições de estresse hídrico, simuladas por meio de soluções de PEG 6000 (polietilenoglicol). É possível concluir que ambos os parâmetros testados sofreram reduções significativas pelo déficit hídrico a partir de -0,6 MPa, único tratamento testado que diferiu estatisticamente da testemunha.

TABELA 4. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) E COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE SEMENTES DE CENTEIO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO

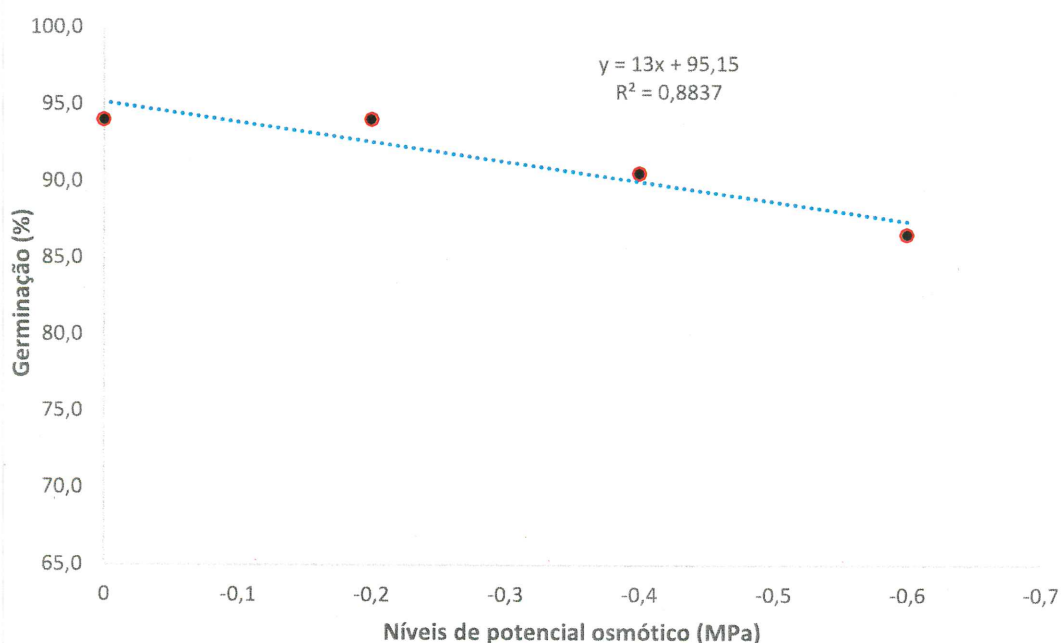
Centeio – Estresse hídrico (PEG 6000)		
Níveis de potencial osmótico (MPa)	Germinação (%)	Comprimento de plântulas (mm)
0	94 a	291,9 a
-0,2	94 a	291,8 a
-0,4	91 ab	262,5 ab
-0,6	87 b	211,5 b
C.V. (%)	2,99	6,95

FONTE: O autor (2024).

NOTA: Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 1% de probabilidade.

A germinação de sementes da cultivar de centeio em estudo (Temprano Elite) exibiu uma tendência linear de redução (Figura 7), relação esta já esperada visto que a fase germinativa das sementes é uma das etapas mais exigentes em água disponível, sendo imprescindível para o processo de embebição.

FIGURA 7. DADOS MÉDIOS DE GERMINAÇÃO (VIABILIDADE) DE SEMENTES DE CENTEIO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO

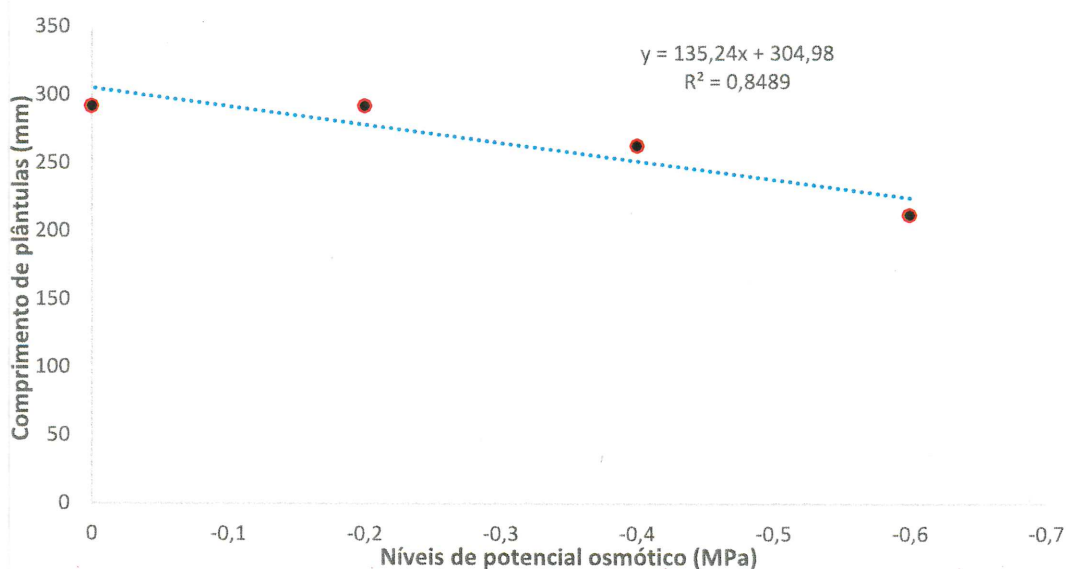


FONTE: O autor (2024).

O processo de embebição das sementes ocorre em três principais fases, sendo a fase I a de absorção de água, com duração média entre 8 a 16 horas (Marcos-Filho, 2015), na qual ocorre rápida absorção de água do substrato para as sementes. Na fase seguinte (fase II), a velocidade de absorção de água reduz, bem como a intensidade de respiração, cuja duração e ocorrência variam e acordo com cada espécie em específico. É uma etapa de suma importância, visto que nesta se iniciam as atividades metabólicas. Por fim, a fase III se caracteriza pelo aumento da absorção de água quando comparada a anterior, retomando o crescimento do embrião e posterior extrusão da radícula (Ramalho et al., 2020).

Em condições de déficit hídrico, as atividades metabólicas iniciadas na fase II são drasticamente prejudicadas, podendo levar a inativação da síntese de novas proteínas, muitas das quais são necessárias para o crescimento e desenvolvimento da plântula, ocasionando assim reduções de seu vigor, como observado na Figura 8.

FIGURA 8. DADOS MÉDIOS DE COMPRIMENTO DE PLÂNTULAS (VIGOR) DE CENTEIO SUBMETIDAS A CONDIÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO



FONTE: O autor (2024).

Além disso, plântulas já estabelecidas, em resposta ao estresse causado pela deficiência hídrica realizam o fechamento estomático e consequente redução da taxa fotossintética e transpiratória, visto que não possuem energia suficiente para realizar seu metabolismo normalmente. Consequentemente, as membranas sofrem danos e a pigmentação obtida pela planta por meio do processo de fotossíntese (clorofila) diminui (Campelo et al., 2015).

Estudando a germinação e o vigor de sementes de centeio da cultivar BRS Serrano, sob efeito da restrição hídrica, Pedó et al. (2016) observaram uma relação linear de redução nos índices germinativos da espécie a partir do potencial osmótico de -0,25 MPa, bem como a diminuição do comprimento de plântulas e consequente redução de massa seca.

Tais resultados obtidos por Pedó et al. (2016) apontaram que a cultivar escolhida para implementação em seu experimento (BRS Serrano) é menos tolerante ao estresse hídrico que a cultivar abordada no presente estudo (Temprano Elite), visto que esta em potencial osmótico de -0,2 MPa nem diferiu a testemunha, apresentando reduções significativas no seu percentual germinativo e vigor inicial, apenas no potencial osmótico de -0,6 MPa.

6 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente experimento, pode-se concluir que:

- a) Para a cultivar de girassol Aguará 6, a salinidade afeta a germinação e o comprimento de plântulas a partir de 100 mmol/L de NaCl; já o estresse hídrico reduz significativamente a viabilidade e o vigor a partir de -0,6 MPa.
- b) No caso da cultivar de centeio Temprano Elite, a germinação não foi afetada pela salinidade até a concentração de 100 mmol/L de NaCl, somente o comprimento de plântulas, a partir de 40 mmol/L. Em termos de déficit hídrico, tanto a viabilidade quanto o vigor foram reduzidos a partir de -0,6MPa.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELEKE, B.S.; BABALOLA, O.O. Oilseed crop sunflower (*Helianthus annuus*) as a source of food: nutritional and health benefits. **Food Science and Nutrition**, v.8, n.9, p.4666-4684, 2020.

ALLAKHVERDIEV, S. I.; SAKAMOTO, A.; NISHIYAMA, Y.; INABA, M.; MRATA, N. Ionic and osmotic effects of NaCl – induced inactivation of photosystems I and II in *Synechococcus* sp. **Plant Physiology**, v.123, n.3, p.1047-1056, 2000.

BACKES, R. L.; SOUZA, A. M.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; GALLOTTI, G. J. M.; BAVARESCO, A. Desempenho de cultivares de girassol em duas épocas de plantio de safrinha no planalto norte catarinense. **Scientia Agraria**, v. 9, n.1, p.41-48, 2008.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: MAPA/ACS, 2009. 395p.

CAMPELO, D. H.; LACERDA, C. F.; SOUSA, J. A.; CORREIA, D.; BEZERRA, A. M. E.; ARAÚJO, J. D. M.; NEVES, A. L. R. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 973-983, 2015.

CAMPOS, A. J. de M.; SANTOS, S. M.; NACARATH, I. R. F. F. Water stress in plants: a review. **Research, Society and Development**, [S. l.], v.10, n.15, p. 1-7, 2021.

CARNEIRO, M. M. L. C.; DEUNER, S.; OLIVEIRA, P. V.; TEIXEIRA, S. B.; SOUSA, C. P.; BACARIN, M. A.; MORAES, D. M. Atividade antioxidante e viabilidade de sementes de girassol após estresse hídrico e salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, n. 4, p.752-761, 2011.

CASAGRANDE, E. C.; FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; OYA, T.; PEDROSO, J.; MARTINS, P. K.; BRETON, M. C.; NEPOMUCENO, A. L. Expressão gênica diferencial durante o déficit hídrico em soja. **Revista Brasileira de fisiologia vegetal**, v. 13, n. 2, p. 168-184, 2001.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**: Centeio, 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infoagro/safras/seriehistoricaadassafras/itemlist/category/903-centeio>. Acesso em: 30 mar, 2024.

COUTINHO, P. W. R.; SOUSA, R. F. B. de; TSUTSUMI, C. Y. Métodos de melhoramento genético no girassol. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 119–128, 2015.

CUNHA, J.R.; RIBEIRO, L.M.P.; ASEVEDO, K.C.S.; MACEDO, C.E.C.; MAIA, J.M.; VOIGT, E.L. Germinação de girassol sob estresse hídrico induzido por PEG 6000. In: **Congresso Brasileiro de Mamona, 4.; Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 1.**, 2010 João Pessoa – PB. Anais. João Pessoa, 2010.

DESHEVA, G.; VALCHINOVA, E.; PENCHEVA, A.; TOSHEVA, S. The effect of salinity (NaCl) on germination and early seedling growth of rye seeds. **Field Crop Stud**, v. 12, n. 4, p. 9-24, 2019.

DIAS, N.S; MEDEIROS, I. J. N.; SANTOS, M. M.; SILVA COSTA, E. M. **Fontes e processos de salinização nos solos**. Anais I CONIMAS e III CONIDIS... Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/63560>. Acesso em: 20/03/2024.

DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. (eds.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza, INCTSal, p.129-141, 2010.

ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 6, 2008.

FAO. **Faostat: crops and livestock products**, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 8 fev, 2024.

FAO. **Faostat: crops and livestock products**, 2022. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>. Acesso em: 27 fev, 2024.

FAO. **Crop & Water Management: Sunflower**, 2021. Disponível em: <http://www.fao.org/ag/agl/aglw/cropwater/sunflower.stm>. Acesso em: 01 abr, 2024.

FRANÇOIS, L. E.; DONOVAN, T. J.; LORENK, K.; MAAS, E. V. Salinity effects on rye grain yield, quality, vegetative growth and emergence. **Agronomy Journal**, v.81, p.707-712, 1989.

FILHO, W. D. S. S.; GHEYI, H. R.; BRITO, M. E.; NOBRE, R. G.; FERNANDES, P. D.; MIRANDA, R. D. S. Melhoramento genético e seleção de cultivares tolerantes à salinidade. In: **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, 2016. p. 259-274.

GHANNOUM, O.; CONROY, J. P.; DRISCOLL, S. P.; PAUL, M. J.; FOYER, C. H.; LAWLOR, D. W. Nonstomatal limitations are responsible for drought-induced photosynthetic inhibition in four C4 grasses. **New Phytologist**, v.159, n.3, p. 599-608, 2003.

GRUNVALD, A. K.; CARVALHO, C. G. P. de; OLIVEIRA, A. C. B; PIRES, J. L. F.; CARVALHO, H. W. L.; OLIVEIRA, I. R. Adaptabilidade e estabilidade de híbridos de girassol convencional e alto oleico na Região Sul do Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**. v. 57, p. 217-223, 2014.

JÚNIOR, S. J. A. S.; GHEYIR, H. R.; FILHO, D. H. G.; DIAS, N. S.; SOARES, F. A. L. S. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.42, n.4, p.842-849, 2011.

KERBAURY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009. 452 p.

KRZYŻANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J.B.; GOMES-JUNIOR, F.G.; NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B.; MARCOS-FILHO, J. (Org.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. 2ed. Londrina: ABRATES, 2020, p.91-100.

KHURANA, S.; SINGH, R. Sunflower (*Helianthus annuus*) Seed. In: TANWAR, B.; GOYAL, A. (Ed.) **Oilseeds: health attributes and food applications**. Singapore: Springer Nature, 2021. p.123-143.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

LEITE, R. M. V. B. de C.; BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de (Ed.). **Girassol no Brasil**. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 613 p.

LEWANDOSKI, C. F.; LEITE, D.; LENZ, N. B.; BUENO, P. L.; GRALICK, J.; SANTOS, R. F.; SILVEIRA, L.; BRESSAN, R. T. Avaliação da germinação de girassol em estresse salino. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.5, n.3, p.47-57, 2016.

LIMA, M.G.S.; LOPES, N.F.; MORAES, D.M.; ABREU, C.M. Qualidade fisiológica de sementes de arroz submetidas a estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v.27, n.1, p.54-61, 2005.

LOPES, J. C.; MACEDO, C. M. O. Germinação de sementes de couve chinesa sob influência do teor de água, substrato e estresse salino. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 30, n. 3, p. 79-85, 2008.

MARCOS-FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659 p.

MARQUES, E. C.; FREITAS, V. S.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J. T.; GOMES-FILHO, E. Efeitos do estresse salino na germinação, emergência e estabelecimento da plântula de cajueiro anão precoce. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 42, n. 4, p.993-999, 2011.

MORAIS, F. A.; GURGEL, M. T.; OLIVEIRA, F. H. T.; MOTA, A. F. Influência da irrigação com água salina na cultura do girassol. **Revista Ciência Agronômica**. Fortaleza, v.42, n. 2, p. 327-336, 2011.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA NETO, J. B. (Ed.). **Vigor de sementes: conceitos e testes**. Londrina: ABRATES, 1999. p. 1-24.

NETO, A. C. A.; NUNES, R. T. C.; SOUZA, U. O.; JUCIELY, A.; BARBOSA, V.; OLIVEIRA, C. C. & MORAIS, O. M. Crescimento de plântulas de girassol sob diferentes níveis de salinidade. **Semana de Agronomia da UESB**, v.1, n.1, 2017.

NORO, G.; SCHEFFER-BASSO, S. M.; SERENA FONTANELI, R.; ANDREATTA, E. Gramíneas anuais de inverno para produção de forragem: Avaliação preliminar de cultivares. **Agrociencia Uruguay**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 35-40, 2003.

OGAWA, A.; KITAMICHI, K.; TOYOFUKU, K.; KAWASHIMA, C. Quantitative analysis of cell division and cell death in seminal root of rye under salt stress. **Plant Production Science**, Japan, v.9, n.1, p. 56-64, 2006.

PASTERNAK, D. & DE MALACH, Y. Irrigation with brackish water under desert conditions X. Irrigation management of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mills) on desert sand dunes. **Agricultural Water Management**, v.28, n.2, p. 121-132, 1995.

PEDÓ, T.; KOCH, F.; NETO, A. G.; OLSEN, D.; CASTRO, M. A. D. S de.; MARTINAZZO, E. G.; AUMONDE, T. Z.; VILLELA, F. A. Expressão isoenzimática e do vigor de sementes de centeio sob efeito da restrição hídrica. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 21, n. 1, p. 17-23, 2016.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.19, p.1308-1324, 2015.

PESKE, S. T.; VILLELA, F. A.; MENEGHELLO, G. E. (Ed.). **Sementes: fundamentos científicos e tecnológicos**. 3. ed. Pelotas: UFPel, 2012. 573p.

PRISCO, J. T.; GOMES FILHO, E. Fisiologia e bioquímica do estresse salino em plantas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F. **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados**. Fortaleza, INCT Sal, p. 148-164, 2010.

RABBANI, A. R. C.; MANN, R. S.; FERREIRA, R. A.; CARVALHO, S. V. A.; NUNES, F. B. D. S.; BRITO, A. D. S. Efeito do estresse salino sobre atributos da germinação de sementes de girassol. **Scientia plena**, v. 9, n.5, p.1-6,2013.

RAMALHO, L. B.; BENEDITO, C. P.; PEREIRA, K. T. O.; SILVA, K. C. N.; MEDEIROS, H. L. S. Hidrocondicionamento de sementes de *Piptadenia moniliformis* Benth. e seus efeitos sobre a tolerância ao estresse salino. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 30, n.1, p.221-230, 2020.

RIBEIRO, M. S.; BARROS, M. F. de C.; SANTOS, M. B. G. dos. Química dos solos salinos e sódicos. In: MELO, V. de F.; ALLEONI, L. R. F. (ed.) **Química e mineralogia do solo, Parte II - Aplicações**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. p.449-484.

SANTOS, P. R.; RUÍZ, H. A.; NEVES, J. C. L.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Acúmulo de cátions em dois cultivares de feijoeiro crescidos em soluções salinas. **Revista Ceres**, v.56, n.5, p.666-678, 2009.

SILVA, R. C. da.; DE SOUZA GRZYBOWSKI, C. R.; PANOBIANCO, M. Vigor de sementes de milho: influência no desenvolvimento de plântulas em condições de estresse salino. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, p. 491-499, 2016.

SOBRINHO, S.; TIEPPO, R. C.; SILVA, T. J. Desenvolvimento inicial de plantas de girassol em condições de estresse hídrico. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 7, n. 12, 2011.

SOUSA, J. R. M.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. J.; MAIA, P. D. M. E.; ANRADE, E. M. G.; MARACAJÁ, P. B. Estresse salino simulado com NaCl na germinação de sementes de girassol cv. BRS 122-V2000. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 2, p. 67-71, 2012.

SOUSA, J. R. M.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. J.; MAIA, P. D. M. E.; FREITAS, F. G.; MARACAJÁ, P. B. Germinação de sementes de girassol cv. BRS 321 umedecidas com solução salina. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 1, p. 56-60, 2012.

SOUSA, J. R. M.; SOARES, L. A. A.; SOUSA, J. R. J.; MAIA, P. D. M. E.; FREITAS, F. G.; MARACAJÁ, P. B. Germinação de sementes de girassol cv. BRS 324 submetidas à estresse salino simulado por NaCl. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 8, n. 3, p. 123-127, 2012.

TAVARES, V. C.; DE ARRUDA, I. R. P.; DA SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.

VILLELA, F.A.; DONI FILHO, L.; SIQUEIRA, E.L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.11/12, p.1957-1968, 1991.