



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

LUAN ALVES LIMA

POTENCIALIDADES DE POLÍMEROS HIDRORETENTORES PARA O
MELOEIRO SOB ESTRESSE SALINO

FORTALEZA

2024

LUAN ALVES LIMA

POTENCIALIDADES DE POLÍMEROS HIDRORETENTORES PARA O MELOEIRO
SOB ESTRESSE SALINO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Orientadora: Prof.^a Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

FORTALEZA

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L698p Lima, Luan Alves.
Potencialidades de polímeros hidroretentores para o meloeiro sob estresse salino / Luan Alves Lima. –
2024.
70 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, Fortaleza, 2024.

Orientação: Profª. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa.

1. co-polímeros. 2. condicionador de solo. 3. cucumis melo L. 4. estresse abiótico. I. Título.

CDD 631.4

LUAN ALVES LIMA

POTENCIALIDADES DE POLÍMEROS HIDRORETENTORES PARA O MELOEIRO
SOB ESTRESSE SALINO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência do Solo. Área de concentração: Manejo do Solo e da Água.

Aprovada em: 25/01/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Mirian Cristina Gomes Costa (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jaedson Cláudio Anunciato Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Nildo da Silva Dias
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Prof^a. Dra. Rosilene Oliveira Mesquita
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dra. Francisca Gleiciane da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

A Deus.

Ao meu avô, Luís Antônio (*in memoriam*).

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

A Deus pela coragem e força em continuar e não desistir.

Aos meus pais, Edmilson e Francisca pelo apoio e carinho. À minha família, em especial Edileusa Martins, Silvanete Pinto, Elionete Martins, Edilson Martins pelo suporte e incentivo, sempre. A Lorena Ramalho por todo cuidado e apoio incondicional durante essa etapa.

À Universidade Federal do Ceará, ao Departamento de Ciências do Solo e Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo pelo conhecimento adquirido por meio do curso de doutorado. À CAPES, pelo apoio na concessão da bolsa de auxílio e apoio à pesquisa.

À minha orientadora, Mirian Cristina Gomes Costa pelos ensinamentos, cobranças, confiança, encorajamento, contribuindo com meu crescimento pessoal, profissional e inestimável contribuição para ter chegado até aqui.

Aos professores Jaedson Cláudio e Nildo Dias pela participação e valiosas contribuições na elaboração do projeto de tese. A professora Rosilene Oliveira pela disponibilidade na realização das análises fisiológicas das plantas.

Aos professores da UFERSA, José Francismar, Francisco de Assis, Nildo Dias, Jeane Portela por disponibilizar a área experimental e laboratórios para realização da pesquisa.

Aos professores e amigos da UFERSA, em especial Vânia Porto e Nildo Dias pelo apoio, incentivo e aprendizado. Ao professor, Francisco de Assis pelo auxílio durante a execução desta pesquisa.

Aos amigos e colegas da UFERSA pelo apoio e suporte durante a execução desta pesquisa, em especial Mário Jonas, Adênio Alves, Leonardo Vieira, Paulo Victor, Moisés, Ytalo, Rodrigo, Maik, Jamile e ao Sérgio.

Aos funcionários do Departamento de Ciências do Solo da UFC, Edilson, Marilene, Camile, Fátima, Crisanto, Franzé, Antônio José e em especial à Deyse, técnica do Laboratório de Manejo do Solo, pela paciência, amizade e inestimável contribuição para execução deste trabalho.

À minha turma de doutorado Raquel, Angélica e Mateus pelos conhecimentos compartilhados e os bons momentos vivenciados ao longo do curso.

Aos amigos e colegas que contribuíram de alguma forma na execução desse trabalho: Mário Jonas, Adênio Alves, Leonardo Vieira, Rodrigo, Maik, Jamile, Sérgio, Gustavo, Carla, Lucas.

Aos professores do Departamento de Ciências do Solo e do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em especial ao Professor Raul e Jaedson pela sua sensibilidade e comprometimento com a formação profissional do PPGCS.

A todos os membros da banca por aceitarem da defesa de tese.

A todos que de alguma forma contribuíram com meu crescimento e realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

RESUMO

Polímeros hidroretentores superabsorventes (hidrogéis) são promissores para a agricultura em regiões semiáridas afetadas pela salinidade e pelo déficit hídrico. Mas, dependendo do tipo de hidrogel, a salinidade reduz sua capacidade de reter umidade, comprometendo o uso desses materiais como condicionadores de solo. Estudo prévio em laboratório permitiu identificar hidrogel mais tolerante à salinidade, mas isso ocorreu na ausência de solo. Nesta pesquisa foi testada a hipótese de que esse hidrogel, quando misturado ao solo e comparado com outros polímeros mais susceptíveis a sais, bem como com a ausência de polímero, promove maior retenção de água e favorece o desenvolvimento do meloeiro em condições de estresse salino. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em Mossoró (RN), com delineamento inteiramente aleatorizado em esquema fatorial $3 \times 4 + 1$, testando três hidrogéis (H1, H2, H3), quatro níveis de salinidade da água de irrigação (0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 dS m^{-1}) e um controle sem hidrogel e água salina, com 5 repetições. Foi avaliada a curva característica de água no solo nos pontos potenciais matriciais de 0, -6, -10, -33 -100 e -1500 kPa, foi calculada a disponibilidade de água e realizadas medidas decréscimo e trocas gasosas do meloeiro submetido aos tratamentos. A normalidade dos dados foi verificada seguida da análise de variância pelo teste F ($p < 0,05$). Foi realizada ANOVA, os testes de comparação de médias para o fator de tratamento qualitativo (tipo de hidrogel e controle, respectivamente), Tukey ($p \leq 0,05$) e Dunnett ($p \leq 0,05$), e a análise de regressão para o fator de tratamento quantitativo (níveis de salinidade). O hidrogel H2 resultou em 5,47%; 6,25%; 15,62% mais água retida e 12,5% mais água disponível no solo em condições salinas quanto comparado aos tratamentos H1, H3 e controle. Respostas distintas dos hidrogéis à salinidade afetaram a taxa fotossintética de forma quadrática para H1 e H2, e linear para H3, sendo que H2 apresentou redução até 2,3 dS m^{-1} e destaque na CE 4,0 dS m^{-1} (9,66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Apesar da redução na eficiência de uso da água (EUA), o H2 demonstrou sofrer menos interferência dos efeitos do estresse salino, evidenciado pela melhoria na condutância estomática, transpiração, melhoria na eficiência instantânea de carboxilação em condições adversas. A salinidade isoladamente reduziu o diâmetro do caule de 4,49 mm (0,5 dS m^{-1}) para 3,45 mm (4 dS m^{-1}); massa seca total com o H2 apresentou menor perda (20,50%) em relação ao menor nível salino e, aumento na área foliar de 1433,99 (H1) e 1664,77 (H3) $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$. O polímero H2 é menos afetado pelos efeitos da salinidade e promove maior retenção de água e favorece o desenvolvimento do meloeiro em condições de estresse salino.

Palavras-chave: co-polímeros; condicionador de solo; *cucumis melo* L; estresse abiótico.

ABSTRACT

Superabsorbent hydroretentive polymers (hydrogels) are promising for agriculture in semi-arid regions affected by salinity and water deficit. However, depending on the type of hydrogel, salinity reduces its ability to retain moisture, compromising the use of these materials as soil conditioners. A previous laboratory study identified hydrogels that were more tolerant to salinity, but this occurred in the absence of soil. This research tested the hypothesis that this hydrogel, when mixed with soil and compared with other polymers more susceptible to salts, as well as with the absence of polymer, promotes greater water retention and favors the development of the melon tree under conditions of saline stress. The experiment was conducted in a greenhouse in Mossoró (RN), with a completely randomized design in a 3 x 4 + 1 factorial scheme, testing three hydrogels (H1, H2, H3), four levels of irrigation water salinity (0.5; 1.0; 2.0 and 4.0 dS m⁻¹) and a control without hydrogel and saline water, with 5 repetitions. The soil water characteristic curve was evaluated at the matric potential points of 0, -6, -10, -33 -100 and -1500 kPa, water availability was calculated and measurements of growth and gas exchange of the melon tree subjected to the treatments were taken. The normality of the data was checked, followed by analysis of variance using the F test ($p \leq 0.05$). ANOVA, Tukey ($p \leq 0.05$) and Dunnett ($p \leq 0.05$) mean comparison tests for the qualitative treatment factor (type of hydrogel and control, respectively) and regression analysis for the quantitative treatment factor (salinity levels) were carried out. The H2 hydrogel resulted in 5.47%; 6.25%; 15.62% more water retained and 12.5% more water available in the soil under saline conditions compared to the H1, H3 and control treatments. The different responses of the hydrogels to salinity affected the photosynthetic rate quadratically for H1 and H2, and linearly for H3, with H2 showing a reduction up to 2.3 dS m⁻¹ and standing out at EC 4.0 dS m⁻¹ (9.66 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Despite the reduction in water use efficiency (WUE), H2 proved to suffer less interference from the effects of salt stress, as evidenced by the improvement in stomatal conductance, transpiration and instantaneous carboxylation efficiency under adverse conditions. Salinity alone reduced stem diameter from 4.49 mm (0.5 dS m⁻¹) to 3.45 mm (4 dS m⁻¹); total dry mass with H2 showed a lower loss (20.50%) in relation to the lowest saline level and an increase in leaf area of 1433.99 (H1) and 1664.77 (H3) cm² plant⁻¹. The H2 polymer is less affected by the effects of salinity and promotes greater water retention and favors the development of the melon tree under conditions of saline stress.

Keywords: co-polymers; soil conditioner; *cucumis melo* L; abiotic stress.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da área experimental.....	31
Figura 2 -	Temperaturas (A) e umidade relativa do ar (B) no interior da casa de vegetação durante no período de 24 de julho a 18 de setembro de 2021.....	32
Figura 3 -	Curva característica de água no solo utilizada no experimento.....	36
Figura 4 -	Curvas características da água no solo em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 1; 2,0; 4,0 dS m ⁻¹) para os tipos de hidrogel avaliados (H1, H2, H3) e para o tratamento controle sem hidrogel.....	40
Figura 5 -	Curvas características da água no solo para tipos hidrogel avaliados (H1, H2, H3) e para o tratamento controle sem hidrogel em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 1; 2,0; 4,0 dS m ⁻¹)	42
Figura 6 -	Fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO ₂ (C _i), eficiência instantânea do uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (E _i C _i) em plantas de meloeiro para tratamentos com condutividades elétricas distintas da água de irrigação (0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 dS m ⁻¹), hidrogéis avaliados (H1, H2, H3) e para o tratamento controle sem hidrogel.....	45
Figura 7 -	Diâmetro do caule – DC (A), área foliar - AF (B) e massa seca total - MST (C) em plantas de meloeiro em função da condutividade elétrica da água de irrigação, aplicação, de hidrogéis distintos (H1, H2, H3) (H1) e de tratamento controle sem adição do hidrogel	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Caracterização química e física do solo utilizado no experimento.....	32
Tabela 2 -	Caracterização dos hidrogéis utilizados no experimento.....	33
Tabela 3 -	Resumo da análise da variância (ANOVA) para taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (GS), concentração interna de CO ₂ (Ci), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EiC), de plantas de plantas de meloeiro submetidas à três tipos de hidrogel e a salinidades da água de irrigação.....	71
Tabela 4 -	Resumo da análise da variância (ANOVA) para diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca total (MST) de plantas de meloeiro submetidas à três tipos de hidrogel e salinidades da água de irrigação.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1	Deficit hídrico e salinidade em solos cultiváveis.....	14
2.2	Efeitos do deficit hídrico e da salinidade nos solos e nas plantas.....	17
2.2.1	<i>Nos Solos</i>	17
2.2.2	<i>Nas plantas</i>	19
2.3	Alternativas para produção agrícola mediante deficit hídrico e salinidade.....	22
2.4	Polímeros superabsorventes na agricultura.....	24
2.4.1	<i>O que são polímeros superabsorventes</i>	24
2.4.2	<i>Uso de polímeros em culturas de alto valor agregado</i>	25
2.4.3	<i>Funcionalidade de polímeros em condições salinas</i>	27
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1	Localização e caracterização da área experimental.....	31
3.2	Solo, polímeros superabsorventes e água de irrigação utilizados.....	32
3.3	Delineamento experimental.....	34
3.4	Instalação e condução do experimento.....	34
3.5	Variáveis analisadas.....	37
3.5.1	<i>Curva característica de água no solo</i>	37
3.5.2	<i>Trocas gasosas e crescimento</i>	38
3.5.3	<i>Análises estatísticas</i>	39
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1	Curvas características da água no solo.....	40
4.2	Trocas gasosas e crescimento.....	44
5	CONCLUSÃO.....	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS.....	56
	ANEXO A – TABELAS 3 E 4.....	71

1 INTRODUÇÃO

Em áreas semiáridas os estresses abióticos causados pela salinidade e *deficit* hídrico comprometem a produção agrícola e, conseqüentemente, o desenvolvimento socioeconômico. Com isso, se torna necessário adotar estratégias que viabilizem as atividades agrícolas considerando as limitações inerentes ao ambiente e a escassez dos recursos solo e água. Nesse contexto, os polímeros hidroretentores (hidrogéis) têm sido propostos como condicionadores de solo, principalmente devido à capacidade de aumentar a retenção de água, liberando-a gradativamente às plantas.

Na presença de sais, o potencial de absorção de água pelos polímeros hidroretentores é reduzido. Entretanto, dependendo da composição do hidrogel, os efeitos da salinidade podem ser minorados, permitindo ainda a absorção de água que resulta em retenção de água no solo. Polímeros hidroretentores com constituição distinta devem ser avaliados para aplicação em solos afetados por sais, de modo que se possa distinguir materiais com maior potencial de uso em condições salinas para viabilizar a produção agrícola nesses solos.

Nascimento *et al.*, (2021) estudaram o desempenho de três polímeros hidroretentores ao estresse salino, porém, em condições de laboratório e sem considerar a interação água-solo-planta. Diante dessa lacuna, é necessário expandir esse entendimento com cenários mais próximos dos cultivos comerciais. Assim, para compreender o desempenho desses hidrogéis no cultivo de culturas de alto valor agregado, é necessário avaliar seus efeitos no cultivo de meloeiro irrigado com água salina e suas implicações na retenção de água e no desenvolvimento do meloeiro.

O entendimento de como os polímeros atuam em condições de salinidade da água de irrigação pode beneficiar a cadeia produtiva de culturas de alto valor agregado para regiões semiáridas, como é o caso da cultura do melão no semiárido brasileiro. Os polímeros podem levar a melhorias na retenção de água no solo devido ao potencial de absorção de água que possuem. Além disso, se os polímeros forem menos susceptíveis ao excesso de sais, podem manter ou aumentar a capacidade fisiológica e produtiva das plantas mesmo quando a água disponível seja de qualidade limitada pela salinidade.

Para realização deste estudo, foram levantadas a seguinte hipótese hipotetizou-se que o polímero que sofre menos interferência dos efeitos da salinidade apresenta resultados favoráveis em relação aos demais quanto à ausência do polímero e mantém a sua capacidade de retenção de água no solo, favorecendo o desenvolvimento do meloeiro em condições de

estresse salino.

O objetivo geral da pesquisa foi avaliar o potencial de polímeros hidroretentores para o cultivo do meloeiro sob estresse salino. Os objetivos específicos foram: i) avaliar a influência de dos três polímeros hidroretentores e o solo sem polímero na curva característica de água no solo mediante níveis de salinidade da água de irrigação; ii) avaliar três polímeros hidroretentores expostos à água de irrigação salinas, analisando a capacidade de retenção de água do solo e a influência nas trocas gasosas e no crescimento do meloeiro.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Deficit hídrico e salinidade em solos cultiváveis

A superfície terrestre compreende área de 13,2 bilhões de hectares (FAO, 2011). Destes, apenas 13% são áreas com solos cultiváveis distribuídas em regiões com características edafoclimáticas distintas, mas em que há o objetivo comum de produzir alimentos para atender a população em constante crescimento (FAO, 2011; FOLEY *et al.*, 2011). Parte dos solos cultiváveis está inserida em regiões de clima semiárido, delimitada segundo aspectos relacionados à precipitação e evaporação da água, com base no índice de aridez proposto por Thornthwaite (1941) e Penman (1953). A obtenção desse índice se dá pela razão entre a precipitação média anual (P) e a evapotranspiração potencial média anual (ETP), resultando nas seguintes faixas: 0,65 (subúmido); 0,5 (semiárido); 0,2 (total árido) e 0,05 (hiperárido), conforme os limiares consensuais (UNCCD, 2011; RAJAUD; NOBLET-DUCOUDRÉ, 2017).

As zonas climáticas áridas e semiáridas ocupam 41% da superfície terrestre (REYNOLDS *et al.*, 2007; UNCCD, 2011) onde vivem mais de 2 bilhões de pessoas, sendo que metade da população se encontra entre as mais pobres do planeta (ROCHA; SOARES, 2015). Naturalmente, esses ambientes são suscetíveis às mudanças climáticas e, como consequência, tem ocorrido significativo aumento global de regiões semiáridas (HUANG *et al.*, 2016; YIN; MA; WU, 2019). Na América do Sul, cerca de um terço do território é composto por regiões de clima árido e semiárido, das quais, nos últimos anos, observaram-se incrementos territoriais das áreas denominadas “secas”, especialmente em países como a Argentina e Chile (PRĀVĀLIE *et al.*, 2019).

No Brasil, o clima semiárido está localizado, predominantemente, na região Nordeste e compreende área de 1,03 milhões de km² que estão distribuídos nos estados de Alagoas, Bahia, Paraíba, Pernambuco, Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe, Ceará e Minas Gerais, representando 12% do território nacional (BRASIL, 2017). O semiárido brasileiro é um dos mais populosos do mundo apresentando cerca de 27 milhões de pessoas ((AB’SABER, 1999; SUDENE, 2018).

No semiárido brasileiro a precipitação se concentra em 3 a 4 meses no ano com eventos de alta intensidade e pequena duração, associados às altas taxas de evapotranspiração e *deficit* hídrico (LOPES; MONTENEGRO; DE LIMA, 2019; MONTENEGRO *et al.*, 2019). *Deficit* hídricos são considerados como consequência de atraso ou deficiência das estações

chuvosas que, em associação com altas temperaturas do ar, induzem a deficiência de umidade no solo, abaixo do mínimo exigido pelas culturas (MARENGO; BERNASCONI, 2015).

A precipitação média anual do semiárido brasileiro está em torno de 750 mm, sendo que algumas regiões apresentam precipitação média anual inferior a 400 mm. Entretanto, a elevada evapotranspiração potencial - alcançando 2.500 mm/ano - intensifica o problema do *deficit* hídrico (SILVA; ALCÂNTARA, 2009), comprometendo o desenvolvimento socioeconômico da região, sobretudo em sistemas de produção agrícola de sequeiro (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017).

O bioma “Caatinga”, exclusivamente brasileiro, está localizado na zona semiárida e é considerado o maior e mais diversificada das florestas secas tropicais da América do Sul (BEUCHLE *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019). A vegetação da caatinga apresenta particularidades de sobrevivência xerofítica altamente adaptada à escassez hídrica (LACERDA-JÚNIOR *et al.*, 2019).

Os aspectos relacionados ao clima, material de origem, vegetação e relevo são responsáveis pela cobertura pedológica encontrada na zona climática semiárida (CORREIA *et al.*, 2011). Nesses locais, o intemperismo químico é limitado, favorecendo a formação de solos rasos, pouco profundos com alta saturação por bases, em razão do recorrente e prolongado *deficit* hídrico, não havendo eliminação ou lixiviação dos sais, de modo que sua acumulação é influenciada pela evaporação (ROMERO; FERREIRA, 2016; BOUALLA *et al.*, 2019). A combinação desses elementos no ambiente de semiaridez resulta em áreas sujeitas a limitações ao uso, tais como a suscetibilidade à erosão, alta pedregosidade, drenagem limitada e propensão ao acúmulo de sais (EL-SWAIFY *et al.*, 1985; PEREIRA; NETO, 2014).

Conceitualmente, a salinidade do solo se refere à concentração de sais solúveis presentes na área da zona radicular das plantas (MUNNS, 2002). Os solos afetados por sais podem ser classificados de acordo com a condutividade elétrica ($> 4 \text{ dS m}^{-1}$), relação de adsorção de sódio ($< 13 \%$) e porcentagem de sódio trocável ($< 15 \%$) (RICHARDS, 1954). Na solução dos solos de regiões semiáridas são comumente encontrados os sais de sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-), além dos carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-) (FERREIRA *et al.*, 2010; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

O processo de salinização do solo pode ocorrer de duas formas: natural ou primária e antrópica ou secundária (HARMON; DAIGH, 2017). A salinização natural ou primária diz respeito ao processo de acumulação de sais originado por características naturais como a influência do material de origem com elevados teores de sais, deposição de água do

mar, aumento de capilaridade por sais solúveis, áreas situadas em regiões baixas no relevo, além das altas taxas de evapotranspiração presentes em muitas regiões secas (DALIAKOPOULOS *et al.*, 2016; CASTRO; ARAÚJO; SANTOS, 2019).

A salinização antrópica ou secundária é causada pelas ações humanas em ambientes agrícolas. Como exemplo, é possível citar os problemas causados pelo excesso de fertilizantes, irrigação inadequada, falta de sistemas de drenagem, além do uso na irrigação de água de má qualidade com elevados teores de sais (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016; HARMON; DAIGH, 2017).

A salinidade afeta mais de um bilhão de hectares de terras do mundo, os quais correspondem a cerca de 10% dos solos agricultáveis do planeta (SZABOLCS, 1989). A salinização afeta todos os continentes, englobando mais de 100 países, distribuídos em regiões como Austrália, Ásia, África e América do Sul, e tem aumentado nos últimos anos (FAO, 2015). Pesquisas alertam para crescimento estimado na ordem de 0,3 a 1,5 milhão de hectares de terras agrícolas afetadas por sais anualmente, podendo alcançar 50 % das áreas agricultáveis em 2050 (WANG; VINCOUR; ALTMAN, 2003; FAO, 2015; BUTCHER *et al.*, 2016).

No Brasil, a região Nordeste possui cerca de nove milhões de áreas salinizadas. Essas ocorrências são, predominantemente, em áreas de irrigação das quais, pelo menos, 25% se encontram salinizadas. Dentre as causas da salinização mencionada está a qualidade da água dos reservatórios (FAGERIA; GHEYI, 1997; GHEY, 2000).

Em áreas áridas e semiáridas do mundo os recursos hídricos disponíveis são constituídos por água de má qualidade, sobretudo em grande parte dos países da região sul mediterrânea (BOUALLA *et al.*, 2019). Apesar de sua importância para agricultura em períodos de escassez de água, os reservatórios como açudes e poços utilizados para irrigação apresentam água de qualidade duvidosa durante o período seco e podem trazer prejuízos (SILVA JUNIOR, GHEY; MEDEIROS, 1999).

As águas dos reservatórios superficiais estão passíveis ao acúmulo de elementos químicos. Entretanto, fatores como o excesso de radiação incidente podem potencializar a evaporação e, conseqüentemente, levar ao acúmulo de sais (LOBATO *et al.*, 2008; ANDRADE, 2016). Além disso, na maioria dos reservatórios subterrâneos do Nordeste brasileiro é comum encontrar água com elevados teores de sais, principalmente na estação seca, e o uso dessas águas pode comprometer os cultivos agrícolas (MEDEIROS *et al.*, 2003).

Na região da Chapada do Apodi - um dos maiores polos agrícolas da região Nordeste do Brasil - a irrigação é feita com água proveniente da formação Jandaíra que

apresenta elevadas concentrações de sais. Nesse caso, a utilização da água depende do manejo da irrigação e da tolerância das culturas aos efeitos causados pela salinidade (MEDEIROS *et al.*, 1992; AYERS e WESTCOT 1999). Por tanto, é necessário compreender os efeitos do *deficit hídrico* e da salinidade nos solos e nas plantas para formular estratégias de manejo e garantir os cultivos agrícolas.

2.2 Efeitos do *deficit hídrico* e da salinidade nos solos e nas plantas

2.2.1 Nos Solos

O *deficit hídrico* é a condição na qual a umidade do solo se encontra abaixo do mínimo exigido pelas plantas, com efeitos nas propriedades do solo e, por conseguinte, no desenvolvimento e crescimento vegetal (MARENGO; BERNASCONI, 2015; TAIZ *et al.*, 2017).

A disponibilidade limitada de água afeta os processos de intemperismo e formação do solo, a poluição do lençol freático e, de modo mais específico, pode modificar as propriedades químicas, biológicas e físicas do solo (REINERT; REICHERT, 2006). Desse modo, em regiões de precipitações restritas, há menor intensificação do intemperismo, formando solos “jovens”, não ácidos e com a presença das bases trocáveis na solução (BOUALLA *et al.*, 2019). Os microrganismos também sofrem com o *deficit hídrico* no solo, havendo redução da comunidade microbiana (PASCUAL *et al.*, 2007).

A insuficiência hídrica exerce importância em vários processos físicos do solo. Inicialmente, devido à oferta de água abaixo da capacidade de campo (CC), a água fica retida nos poros do solo sob altas tensões, o que dificulta a absorção de água e nutrientes pelas raízes (HILLEL, 2004). No que se refere ao movimento da água em solos com restrição hídrica, há redução do potencial total, afetando o transporte hídrico no solo (BRITO *et al.*, 2014; HUSSAIN *et al.*, 2016).

Além disso, o *deficit hídrico* pode promover alterações na estrutura do solo. Nesse caso, as melhorias nas propriedades físicas, como a formação de agregados, essenciais para retenção de água, sustentação dos cultivos agrícolas e estoque de carbono do solo, são adiadas, tornando o solo mais exposto aos processos de degradação com as ações antrópicas de uso da terra (REICHERT *et al.*, 2015). Contudo, irregularidades de chuvas ou deficiências no sistema de irrigação em regiões semiáridas causam variações no regime hídrico do solo e podem alterar sua estrutura por meio de processos de umedecimento e secagem (RAJARAM; ERBACH, 1999).

Existem estudos que atestam melhorias nos parâmetros estruturais do solo, como a porosidade, retenção de água, estabilidade de agregados e sequestro de carbono decorrente dos ciclos de umedecimento e secagem do solo (PIRES *et al.*, 2008; MA *et al.*, 2015; RAHMAN *et al.*, 2018; DIEL; VOGEL; SCHLÜTER, 2019). A agregação devido ao processo cíclico de umedecimento e secagem advém da contração da massa de solo causada pela desidratação e resulta na cimentação de partículas de argila, sendo mais relevante em solos que contém argilas expansivas do tipo 2:1 (COSTA *et al.*, 2014).

No que diz respeito à salinidade, apesar da ocorrência de salinidade e sodicidade em ambientes agrícolas de forma associada, uma distinção conceitual é valiosa, visto que a salinidade diz respeito à concentração de sais e à sodicidade à composição (LÄUCHLI; GRATTAN, 2014). A salinidade refere-se à concentração de sais no solo ou na água de irrigação capaz de afetar adversamente as propriedades do solo e o rendimento das culturas (LÄUCHLI; GRATTAN, 2014). Por outro lado, a sodicidade está relacionada à porcentagem de sódio que ocupa a CTC (PST), e solos com valores de PST iguais ou superiores a 15% são considerados solos sódicos (RICHARDS, 1954).

Os efeitos da salinidade no solo estão ligados às alterações nas propriedades biológicas, químicas e físicas. A salinidade pode reduzir e estressar a comunidade microbiana do solo, resultando em menor eficiência metabólica, bem como influenciar as atividades de decomposição da matéria orgânica e dinâmica de nutrientes (RIETZ; HAYNES, 2003; YANG *et al.*, 2018).

Em condições salinas, a interação eletroquímica entre os sais e a argila reduz o potencial osmótico da solução do solo e dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas (HUSSAIN *et al.*, 2016). As propriedades físicas do solo são influenciadas pelo tipo de cátions presente na solução. O principal efeito da salinidade é o efeito osmótico e à medida que a salinidade da água aumenta, menor será seu potencial osmótico e mais difícil a absorção de água pelas plantas (SANTOS *et al.*, 2016).

O aumento da condutividade elétrica e da concentração de ânions, tais como cloretos, sulfatos, carbonatos, bicarbonatos e boratos na solução do solo, afeta severamente a fertilidade (SANTOS *et al.*, 2016). Além disso, sob condições sódicas, o pH é elevado (>8,5), como resultado da alta concentração de carbonato, e causa toxicidade de íons específicos e deficiências nutricionais (MUNNS; TESTER, 2008; SINGH, 2022).

Entretanto, a presença de sais na solução do solo pode favorecer a estrutura, tornando o solo floculado, friável e bem permeável (DIAS; BLANCO, 2010). Em contrapartida, as alterações na estrutura do solo provocadas pelo excesso de sódio,

normalmente, ocorrem quando o sódio trocável ocupa 15% ou mais das cargas (RICHARDS, 1954; HILLEL, 2004). Nesse caso, o efeito do excesso de sódio ocorre principalmente pela dispersão das argilas, o que resulta em diminuição da infiltração, condutividade hidráulica, além do aumento da densidade e resistência do solo à penetração de raízes (RHOADES *et al.*, 2000; SANTOS *et al.*, 2016).

2.2.2 Nas Plantas

O *deficit hídrico* e a salinidade são dois estresses abióticos que mais afetam a produção agrícola mundial no século XXI (GUO *et al.*, 2014; HASANUZZAMAN *et al.*, 2018). Quando as plantas são expostas ao estresse, exibem alterações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas como estratégia de adaptação para o crescimento e desenvolvimento em condições estressantes (BOHNERT; NELSON; JENSEN, 1995).

Em situações de deficit hídrico, a germinação é limitada e acontece deterioração do estabelecimento das plântulas (FAHAD *et al.*, 2017; ABIDO; ZSOMBIK, 2018). A restrição hídrica prejudica a mitose e o alongamento celular e reduz o crescimento da planta devido ao baixo fluxo de água do xilema para as células mais próximas (TAIZ *et al.*, 2017). Em consequência, há reduções na altura de planta, número de folhas e área foliar, diâmetro do caule, morfologia de raiz e massa seca da parte aérea e da raiz (DIAS, *et al.*, 2010; MORAIS *et al.*, 2018; HUSSAIN *et al.*, 2019; REHMAN *et al.*, 2023;).

O fechamento estomático é a primeira resposta das plantas à deficiência hídrica de modo a evitar a perda de água pela transpiração (MAHAJAN; TUTEJA, 2005; SARABI *et al.*, 2019). No entanto, o fechamento estomático ao reduzir a transpiração restringe a absorção de CO₂ e nutrientes, alterando, desse modo, as vias metabólicas, como a fotossíntese (BLUM, 2009; TAIZ *et al.*, 2017; PEREIRA *et al.*, 2023). Na condição de *deficit hídrico* o fechamento estomático provoca danos oxidativos, ausência de assimilação de CO₂ e, como resultado, há declínio na taxa fotossintética, limitando o crescimento e a produção das culturas (FAHAD *et al.*, 2017; CHEVILLY *et al.*, 2021).

Em condições estressantes a planta tende a translocar os assimilados para as raízes a fim de manter o funcionamento do sistema radicular na absorção de água (COMAS *et al.*, 2013). Adicionalmente, as relações hídricas também são influenciadas pelo estresse hídrico, incluindo o potencial hídrico e temperatura da folha, causando desidratação celular ao diminuir a pressão de turgescência nas células vegetais, na taxa de transpiração e condutância estomática (FAHAD *et al.*, 2017; EVELIN *et al.*, 2019). Assim, a restrita disponibilidade de

água afeta as relações fonte-dreno, reduzindo a força da fonte, levando à redução do desenvolvimento vegetal e da produtividade (BASU *et al.*, 2016).

Sabe-se que o rendimento das culturas é, basicamente, dependente da interação dos processos fisiológicos, e que os impactos negativos aos vegetais em razão do *deficit hídrico* dependem, principalmente, da severidade do estresse e do estágio de desenvolvimento da planta (FAHAD *et al.*, 2017). Os efeitos negativos do estresse hídrico sobre o rendimento vegetal são constados em diversas culturas, a exemplo do milho (ZHAO *et al.*, 2018), feijão (FERNANDES *et al.*, 2015), arroz (YANG *et al.*, 2019) e alguns vegetais folhosos (MASEKO *et al.*, 2019) e no meloeiro (WANG *et al.*, 2017).

As consequências da salinidade nas plantas ocorrem por três importantes motivos: efeito osmótico, toxidez de íons específicos e desequilíbrio nutricional das plantas (LÄUCHLI; EPSTEIN, 1990).

As plantas retiram a água do solo em função de um gradiente de potencial hídrico favorável à entrada de água nas células das raízes, isto é, quando as forças de embebição dos tecidos radiculares são superiores às forças que retêm a água na matriz do solo (COWAN, 1965; DIAS *et al.*, 2016). A presença de sais reduz o potencial osmótico da solução do solo e reduz a capacidade de absorção pela planta podendo até, em última análise, perder água para a solução do solo (MUNNS, 2002; PARIHAR *et al.*, 2015). A redução no potencial osmótico do solo é uma das principais responsáveis pelas adversidades causadas pela salinidade no crescimento das plantas (LÄUCHLI; GRATTAN, 2014).

Em condições salinas, o processo germinativo é primariamente afetado. A presença de sais altera o potencial osmótico do meio, o que impede o fornecimento hídrico adequado, além de modificar as atividades metabólicas fundamentais para a germinação das sementes (KHAJEH-HOSSEINI; POWELL; BINGHAM, 2003; IBRAHIM, 2016).

O crescimento das plantas é reduzido pela salinidade porque existe gasto excessivo de energia para as atividades essenciais, como a absorção de água e ajustes bioquímicos (HUSSAIN *et al.*, 2016; HASANUZZAMAN *et al.*, 2018). O estresse salino provoca desidratação e encolhimento celular, resultando em menor taxa de crescimento de folhas e raízes (YADAV *et al.*, 2019).

A toxidez por íons específicos é causada pela absorção excessiva de certos íons no tecido da planta em ambientes salinos (DIAS *et al.*, 2016). Existem diversos íons tóxicos em solos afetados por sais, mas geralmente o sódio, cloreto e sulfato têm sido, predominantemente, responsáveis por sérios problemas aos vegetais (MUNNS; TESTER, 2008).

O Na^+ é o íon primário, pois interfere na absorção de potássio (K^+), cálcio (Ca^{2+}) e na regulação estomática, responsável pela perda de água, enquanto o íon Cl^- interfere na produção de clorofila e causa toxicidade clorótica (PARIHAR *et al.*, 2015). Há interferência no metabolismo das plantas em condição de acúmulo excessivo de sódio (Na^+), enquanto o potássio (K^+) pode amenizar a toxicidade causada pelo Na^+ ajustando o potencial osmótico por meio do balanço iônico (HUSSAIN *et al.*, 2016).

Sabe-se que o desempenho das culturas depende do equilíbrio dos elementos essenciais na planta. Entretanto, a salinidade induz a desequilíbrios nutricionais nas plantas, afetando o estabelecimento e rendimento das culturas agrícolas (LÄUCHLI; EPSTEIN, 1990; PARIDA; DAS, 2005; TAIZ *et al.*, 2017). Dada à complexidade da nutrição de plantas e a salinidade, suas implicações são diversas e incluem disponibilidade, absorção competitiva, transporte ou distribuição de nutrientes dentro da planta (MARSCHNER, 2012).

A disponibilidade e absorção de nutrientes pelas plantas em condições salinas são dependentes de diversos fatores no sistema solo-planta (MUNNS; TESTER, 2008). Dessa forma, a fase sólida e características dos solutos presentes na solução do solo controlam a dinâmica dos nutrientes (GRATTAN; GRIEVE, 1999).

Altos teores de Na^+ e Cl^- na solução do solo podem limitar as atividades de nutrientes e causar distúrbios nas relações de $\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$, Na^+ / K^+ , $\text{Ca}^{2+} / \text{Mg}^{2+}$ e $\text{Cl}^- / \text{NO}_3^-$ (GRATTAN; LÄUCHLI, 2014). Geralmente, em ambientes salinos e sódicos, a solubilidade de micronutrientes é particularmente baixa em razão dos elevados valores de pH, o que pode resultar em deficiência nutricional de alguns desses elementos (FAGERIA; GHEY; MOREIRA, 2011).

Pesquisas realizadas em diferentes regiões no mundo têm mostrado as consequências da salinidade nos cultivos agrícolas, as quais incluem efeitos na germinação de sementes, crescimento e desenvolvimento das plantas, floração, pigmentos fotossintéticos e fotossíntese, estresse oxidativo, relações hídricas da planta, desequilíbrio de nutrientes, estabelecimento de frutos e o desenvolvimento estrutural do sistema radicular (MUNNS; TESTER, 2008; LIMA *et al.*, 2015; LAMAOU *et al.*, 2018; SILVA *et al.*, 2021; PEREIRA *et al.*, 2022).

Adversidades abióticas são inerentes à agricultura, contudo o déficit hídrico e a salinidade têm limitado os cultivos agrícolas, sobretudo em regiões mais vulneráveis do planeta, como é o caso de regiões áridas e semiáridas (BUTCHER *et al.*, 2016; ZÖRB; GEILFUS; DIETZ, 2019; KOPECKÁ *et al.*, 2023). Nesse contexto, o grande desafio é realizar o manejo adequado do solo e dos recursos naturais com estratégias para aumentar o

crescimento e a produtividade das culturas (LI *et al.*, 2019).

2.3 Alternativas para produção agrícola mediante *deficit* hídrico e salinidade

A espécie a ser cultivada deve ser selecionada considerando se é adaptada às condições ambientais do local de cultivo (BOHNERT; NELSON; JENSEN, 1995). Particularmente, em regiões áridas e semiáridas, onde salinidade e estresse hídrico são comuns, a escolha de espécies tolerantes a essas adversidades abióticas deve ser preferida e associada a outras práticas de cultivo (DEBAEKE; ABOUDRARE, 2004; BODNER; NAKHFOROOSH; KAUL, 2015; PARIDA, DAS, 2005; FAROOQ, 2009; KOPECKÁ *et al.*, 2023).

A mistura de águas permite a redução da concentração de sais e, ao mesmo tempo, maior oferta hídrica para irrigação (PEREIRA, OWEIS, ZAIRI, 2002). Notadamente, a viabilidade dessa prática ocorre quando há disponibilidade de, pelo menos, duas fontes de água – uma de boa qualidade e outra com elevados teores de sais (LACERDA *et al.*, 2016). Outra estratégia é o uso cíclico da água que envolve aplicação de água de alta e baixa salinidade no cultivo, reduzindo os efeitos negativos da salinidade ao solo e aumentando a eficiência do uso da água (BLOM, 2009).

A escassez hídrica tem levado muitos produtores a buscar fontes alternativas de água para a agricultura (PEREIRA, OWEIS, ZAIRI, 2002; MILLER, 2006). Nesse cenário, o uso de águas residuárias, da piscicultura e do rejeito da dessalinização tem possibilitado o desenvolvimento das culturas agrícolas em regiões suscetíveis à seca (SARMENTO *et al.*, 2014; SÁNCHEZ; NOGUEIRA, KALID, 2015). No entanto, essas águas geralmente contêm excesso de sais, e o manejo adequado dessas fontes salinas é necessário, pois trazem benefícios na melhoria dos cultivos agrícolas além da redução da pressão sobre as fontes de água doce, diminuição de custos com melhorias na saúde humana e ambiental (MILLER, 2006; JARAMILO; RESTREPO, 2017).

Em ambientes salinos e propensos à seca, o preparo de sementes “*priming*” tem sido técnica promissora que confere tolerância às plantas sob estresse (JANMOHAMMADI; DEZFUL; SHARIFZADEH, 2008; IBRAHIM, 2016). O “*priming*” é a indução de um estado fisiológico particular em plantas pelo tratamento das sementes antes da germinação com compostos naturais e sintéticos que promovem o ajuste osmótico e metabólico das células, além do acúmulo de metabólitos (JISHA; VIJAYAKUMARI; PUTHUR, 2013).

Mediante condições de *deficit* hídrico e salino, o tratamento de sementes com “*priming*” resultou em melhores taxas de germinação e parâmetros de crescimento inicial na cultura do milho (JANMOHAMMADI; DEZFUL; SHARIFZADEH, 2008). Melhores resultados também foram reportados no trigo (TABASSUM *et al.*, 2017), pimenta (ALOU; SOUGUIR; HANNACH, 2014) e no melão (OLIVEIRA *et al.*, 2019).

A germinação uniforme e eficiente de sementes, associada ao estabelecimento de plântulas precoces, é fundamental para a produção de culturas agrícolas em condições ambientais estressantes (SAVVIDES *et al.*, 2016). Para cultivos em situações de restrição hídrica é necessário otimizar o tempo de semeadura com a disponibilidade de água visando atender à demanda da cultura antes do início da estação seca (BLUM, 2009; BODNER, NAKHFOROOSH, KAUL, 2015).

Práticas de adição de matéria orgânica, *mulching*, micorrização e fertilização têm contribuído para minimizar os estresses abióticos nas plantas, garantido rendimentos satisfatórios das culturas (MIRANSARI, 2010; ZHU, GONG, 2014; MEDRANO *et al.*, 2015; MACHADO, SERRALHEIRO, 2017; EVELIN *et al.*, 2019).

Em regiões em que a limitação hídrica e o problema da salinidade persistem, o uso de polímeros superabsorventes, também denominados “hidrogéis”, tem sido alternativa útil para o cultivo agrícola (HAN *et al.*, 2010; NASCIMENTO *et al.*, 2021; KAUR *et al.*, 2023). Em mudas de tomate, alface e pepino, o hidrogel aumentou o crescimento e a tolerância das plântulas à salinidade em substrato arenoso (SAYED; KIRKWOOD; GRAHAM, 1991). O uso de polímeros superabsorventes melhorou os parâmetros de crescimento, rendimento e uso da água sob estresse hídrico e salino em diversas culturas, tais como sorgo (*Sorghum bicolor* L.), milho (*Zea mays* L.), feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e diversas frutíferas incluindo o meloeiro (TOKIUMI, 2001; DORRAJI; GOLCHIN; AHMADI, 2010; ENEJI *et al.*, 2013; ROSTAMPOUR *et al.*, 2013; SATRIANI; CATALANO; SCALCIONE, 2018; VERMA; SINGH, 2018; MELO *et al.*, 2023). Dito isso, é fundamental entender o que são polímeros superabsorventes, suas funcionalidades em condições adversas e, por conseguinte, verificar seu uso na agricultura, sobretudo em culturas de alto valor agregado, como exemplo do meloeiro.

2.4 Polímeros superabsorventes na agricultura

2.4.1 O que são polímeros superabsorventes

O termo polímero foi criado pelo químico alemão J. Berzelius, em 1832 e utilizado, inicialmente, para diferenciar moléculas orgânicas e, somente em 1922, o conceito foi utilizado como é conhecido atualmente (HAGE JUNIOR, 1998). Em uma conceituação mais ampla, Zarbin (2007) descreve que polímeros são compostos formados pela repetição de grande número de unidades químicas estruturais, podendo ser de origem natural ou sintética.

Polímeros hidrorretentores, superabsorventes (SAP's) ou hidrogéis como são conhecidos, foram conceituados como sistemas de dois ou múltiplos componentes com uma rede tridimensional de cadeias poliméricas e água que preenche o espaço entre as macromoléculas (AHMED, 2015). Hidrogéis são compostos que absorvem água e expandem significativamente na ordem de 10 a 100 vezes em relação à sua massa ou volume original (ZOHURIAAN-MEHR; KABIRI, 2008). As propriedades hidrofílicas, mecânicas dos grupos funcionais e da rede polimérica garantem a absorção de água e resistência à dissolução dos polímeros (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; AHMED, 2015).

Desde o início do uso dos polímeros como condicionadores de solo, em 1950, a capacidade de absorção e liberação de água tem sido uma das principais características de sucesso desses produtos na agricultura (BOURANIS; THEODOROPOULUS; DROSSOPOULOS, 1995). Os hidrogéis à base de poliacrilamida, por exemplo, retêm até 400 vezes o seu peso em água e liberam cerca de 95% da água retida para as plantas (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011). Estudo realizado em solos arenosos na Índia revelou aumento de até quatro vezes da água disponível para as plantas com adição de hidrogel (NARJARY *et al.*, 2012). Incrementos de 25 a 34 % foram verificados quando o SAP foi utilizado no cultivo de batata (HOU *et al.*, 2018). Outra pesquisa revelou melhorias do uso do hidrorretentor nos parâmetros físico-hídricos do solo implicando em maiores rendimentos de soja, milho e batata (GALEŞ *et al.*, 2016).

É importante destacar que a capacidade de retenção de água no solo com o uso de hidrorretentores é condicionada pelo tipo de hidrogel e pelo tamanho de suas partículas, pela dose aplicada, tipo de solo, presença de íons e salinidade da solução (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011; KAUR *et al.*, 2023).

2.4.2 Uso de polímeros em culturas de alto valor agregado

A evidência do uso de polímeros hidrorretentores como condicionadores de solo em 1950 permitiu, ao longo dos anos, avanços relacionados à pesquisa, fabricação de novos produtos e o crescimento substancial de utilização desses materiais na agricultura (BOURANIS; THEODOROPOULOS; DROSSOPOULOS, 1995). Atualmente, os polímeros superabsorventes são utilizados em diversos setores como a floricultura, silvicultura e em culturas de alto valor agregado (EKEBAFE; OGBEIFUN; OKIEIMEN, 2011).

As hortaliças possuem ciclo curto e são altamente sensíveis às modificações abióticas, como a salinidade e estresse hídrico (KUMAR; SOLANKEY; SINGH, 2012). Por esse motivo, estudos mostraram a relevância do uso de polímeros hidrorretentores em culturas hortícolas garantindo a manutenção da umidade do solo e, em outras situações, minimizando os efeitos deletérios dos estresses abióticos (WOODHOUSE; JOHNSON, 1991; SANTOS *et al.*, 2015).

No cultivo de alface (*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido, o uso de hidrogel proporcionou aumento de 22% na produção, incremento na massa fresca e uso eficiente da água (SANTOS *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2023). A aplicação de polímero hidrorretentor promoveu melhorias nos parâmetros físico-hídricos do solo com efeitos aditivos no rendimento de tomate, soja, milho e batata (HAYAT; ALI, 2004; GALEŞ *et al.*, 2016; HOU *et al.*, 2018).

O uso de hidrorretentores aumentou os parâmetros de crescimento e as respostas fisiológicas de plantas de oliveiras (*Olea europaea* L.) sob estresse hídrico (M'BARKI, *et al.*, 2019). A manutenção da umidade do solo proporcionada pelo superabsorvente melhorou a qualidade do óleo de canola cultivada sob condições de limitação hídrica (MOGHADAM; ZAHEDI; GHOOSHCHI, 2011).

Tem sido difundida a utilização de superabsorvente em frutíferas em todo mundo. Culturas como laranja (*Citrus x sinensis* L.), tangerina (*Citrus reticulata* L.) e manga (*Mangifera indica* L.) tiveram suas características de crescimento, de fisiologia e de rendimento melhoradas ao passo que os estresses abióticos foram minimizados devido à aplicação de polímeros superabsorventes (VERMA; SINGH, 2018).

A cultura do melão é promissora quando se pensa na utilização de polímeros hidrorretentores em culturas de alto valor agregado para regiões semiáridas. O uso desses polímeros pode reduzir os custos com manutenção dos sistemas de irrigação, mantendo a umidade do solo por períodos mais longos, aumentando o turno de rega (MILANI *et al.*,

2017). Além disso, devido à importância da cultura para o mercado internacional, o custo para aquisição do polímero pode ser reduzido com aumento da capacidade produtiva e inclusive em situações de estresse hídrico ou salino, agregando valor à produção em relação aos outros cultivos. Entretanto, para saber como os hidroretentores podem contribuir com a cultura do meloeiro é indispensável conhecer aspectos relacionados à cultura.

O meloeiro (*Cucumis melo* L.) é uma dicotiledônea, pertencente à família curcubitaceae e do gênero *Cucumis*, tendo como centro de origem a África e a Ásia (MALLICK; MASUI, 1986). O meloeiro é uma herbácea de caule rasteiro ou prostrado com sistema radicular superficial, possui gemas e gavinhas com capacidade de originar novas folhas e ramificações (FONTES; PUIATTI, 2005).

No mundo, o meloeiro é uma das principais culturas cultivadas, principalmente nas regiões áridas e semiáridas (TADESCHI *et al.*, 2011). Em 2017, a produção mundial alcançou 31,94 milhões de toneladas, sendo China, Turquia e Irã os principais produtores (FAOSTAT, 2017). O Brasil é 9º produtor mundial de melão, com produção equivalente a 700 mil toneladas (IBGE, 2023; IPEA, 2023). A exportação de melão para países como Inglaterra, Holanda e Espanha geram uma receita superior a 6 milhões de reais ao Brasil, o que mostra a relevância da cadeia produtiva para o desenvolvimento socioeconômico do país, sobretudo para a região nordeste (ANUÁRIO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 2018; CALIXTO *et al.*, 2019).

Condições climáticas de alta temperatura (25 a 35°C) e luminosidade (2.000 a 3.000 horas anuais) e a baixa umidade relativa do ar (65 a 75 %) são fundamentais para o estabelecimento do meloeiro e aumento da produtividade com qualidade comercial (COSTA, 2005). Os grupos mais cultivados no Brasil são *Cantalupensis* e *Inodorus*, entre os quais estão classificados os diferentes “tipos” de melão, incluindo Canário, Papai Noel, Galia, Charentais e Cantaloupe (ANDRADE *et al.*, 2019).

Cerca 95 % da produção de melão no Brasil ocorre na região Nordeste, O Brasil ocupa a nona posição na produção mundial de melão (*Cucumis melo* L.), com produção de aproximadamente 700 mil toneladas no ano de 2022 localizadas principalmente no semiárido do Rio Grande do Norte (442.107 toneladas) e do Ceará (86.923 toneladas), com áreas cultivadas de 16.899 ha e 2.933 ha, respectivamente (NASCIMENTO *et al.*, 2019; IBGE, 2023; IPEA, 2023). Nos últimos anos, a crise hídrica afetou significativamente a produção de melão no Ceará, passando de R\$ 217,4 milhões em 2013 para R\$ 62 milhões de reais em 2017 (CAVALCANTE *et al.*, 2017).

O meloeiro é uma cultura sensível ao *deficit hídrico*, seus frutos são compostos por 83 % de água e a manutenção da umidade do solo é essencial para o sucesso da cultura (COSTA, 2017). Em relação à tolerância à salinidade, a cultura é considerada moderadamente sensível ao estresse salino (AYERS; WESTCOT, 1999), mas a resposta da planta depende do genótipo em estudo (AKRAMI; ARZANI, 2019). No Irã, as cultivares "Suski-e-Sabz" e "Ghobadlu" (SARABI *et al.*, 2017) "Sabouni" e "Shahabadi-1" (AKRAMI; ARZANI, 2018) foram mais tolerantes à salinidade enquanto no Brasil a cultivar Sancho mostrou-se mais tolerante à presença de sais (PEREIRA *et al.*, 2017).

A demanda pelo aumento da produtividade comercial e a manutenção dos recursos hídricos disponíveis tem motivado a comunidade científica a buscar estratégias de manejo da salinidade e de atendimento às necessidades hídricas da cultura do melão (SHARMA *et al.*, 2014; AKRAMI; ARZANI, 2019). Apesar dos avanços nas pesquisas, a utilização de técnicas para minimizar os impactos da salinidade e o uso de água pelo meloeiro ainda carecem de estudos (DIAS *et al.*, 2017).

O uso de polímeros hidroretentores na cultura do melão ainda é pouco conhecido. No Egito, o uso de superabsorventes no cultivo de meloeiro resultou em incremento de 30% no peso de melões (TOKIUMI, 2001). Uma pesquisa realizada por Demartelaere *et al.* (2009), em cultivo de meloeiro em Mossoró, apontou que o uso de hidroretentor reduziu em 25% o consumo de água pela irrigação, aumentou o crescimento radicular, mas não afetou a produtividade.

Dada sua relevância em minorar os efeitos da salinidade e proporcionar economia de água em outras culturas de alto valor agregado, a utilização de polímeros superabsorventes é promissora na produção do meloeiro. Contudo, são poucos os estudos que relacionam o uso de polímeros no meloeiro, principalmente em regiões semiáridas.

2.4.3 Funcionalidade de polímeros em condições salinas

A absorção de água em solução salina é uma das características desejáveis nos polímeros hidroretentores (AHMED, 2015). Entretanto, há evidências de que na presença de sais, os hidrogéis têm sua funcionalidade reduzida (LAFTAH; HASHIM; IBRAHIM, 2011; ZHAO *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2021, COSTA *et al.*, 2022). Em meio salino, os cátions adicionais causam o "efeito blindagem de carga" o que provoca diminuição na repulsão eletrostática ânion-ânion e, conseqüentemente, diminuição na diferença de pressão osmótica entre as redes poliméricas e a solução externa com consequência negativa no

processo de intumescimento (DORRAJI *et al.*, 2010; LAFTAH; HASHIM; IBRAHIM, 2011; SAHA *et al.*, 2020, KAUR *et al.*, 2023).

Se o superabsorvente estiver entumecido em soluções salinas, as moléculas de água se transformam em água combinada a partir de água livre, difundindo-se para o interior da rede para formar ligações de hidrogênio com os grupos hidrofílicos (NAMAZI *et al.*, 2019). Dessa forma, a água combinada não pode ser retirada completamente durante o processo de secagem do polímero, o que provoca redução da pressão osmótica entre o interior e o exterior da rede quando o superabsorvente estiver inchado novamente (SAHA *et al.*, 2020; KAUR *et al.*, 2023).

O decréscimo do intumescimento causa diminuição na absorção de água e com aumentos de sucessivos ciclos de umedecimento e secagem, a rede polimérica tende a colapsar. Adicionalmente, quando a água entra na rede ocorre um colapso em sua estrutura até certo ponto, devido ao desaparecimento de interações mútuas, como ligações de hidrogênio das inter-cadeias ou intracadeias do polímero durante a secagem (ULLA *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2019).

Além disso, alguns íons absorvidos podem ser ligados covalentemente, levando à formação de complexos entre os íons e os grupos carboxilas, hidroxila e amina aos grupos funcionais do hidrogel. Isso leva ao bloqueio dos grupos hidrofílicos (atração das moléculas de água), responsáveis pela intumescência do hidrogel e a expansão é drasticamente reduzida (REHIM; HEGAZY; MOHDY, 2006; ZHAO *et al.*, 2019; GARCIA; MOURA; AOUADA, 2019).

A redução na capacidade de absorção pelo polímero depende também do tipo de sal presente. A carga catiônica influencia a capacidade de intumescimento e a capacidade de intumescimento diminui significativamente com cátions multivalentes, devido à capacidade de complexação dos grupos funcionais do polímero (GUILHERME *et al.*, 2015; KAUR *et al.*, 2023). Nesse caso, a construção de complexos intermoleculares e intramoleculares leva ao aumento na espessura da reticulação da rede. Adicionalmente, a redução na capacidade de absorção pelo polímero depende também do tipo de sal presente de modo que a absorção do hidrogel em soluções salinas é monovalente > divalente > cátions trivalentes (REHIM; HEGAZY; MOHDY, 2006; NAMAZI *et al.*, 2019).

Estudo comparando a capacidade de intumescimento de hidroretentores em meio com água destilada e solução salina revelou que a presença de sais inibiu absorção de água pelo polímero em até 95% (NASCIMENTO *et al.*, 2021). É notório que, em ambientes agrícolas, a presença de sais na solução do solo ou na água de irrigação compromete a

capacidade dos polímeros hidrorretentores em expressar seu máximo potencial. Entretanto, avanços nas pesquisas têm possibilitado a produção de novos polímeros menos afetados pela salinidade com potencial para uso em cultivos agrícolas (QUEIROZ; MASLÂNDIA; FEITOSA, 2017; ZAIN *et al.*, 2018; ZHAO *et al.*, 2019; MELO *et al.*, 2023).

Pesquisadores descobriram que aumentar o número e o tipo hidrofílico dos grupos da rede polimérica, poderia melhorar o desempenho dos polímeros mediante condições salinas (ZHAO *et al.*, 2019; KAUR *et al.*, 2023). Propuseram, portanto, a introdução de materiais com maior número de grupos hidrofílicos, por exemplo, grupos sulfônicos e fosfato, fibras, argila e amido. A fundamentação para essa descoberta relaciona-se com as ligações dos grupos hidrofílicos, que ocorrem facilmente no interior do polímero, aos íons de sal por um mecanismo semelhante a complexação. Como consequência da entrada de sais, as estruturas de rede do polímero são bloqueadas e há dificuldade de entrada de água nos dois primeiros estágios e de expansão dos polímeros em um terceiro momento.

Nesse sentido, quando há aumento dos grupos hidrofílicos do polímero mediante inserção de grupos hidrofílicos, há maior afinidade dos polímeros exercida por esses grupos que promoverá atração das moléculas de água, as quais serão inseridas nos poros do polímero. Concomitantemente a isso, ocorre também expansão e entrada de mais molécula de água, conferindo maior absorção de água pelos hidrorretentores (Zhao *et al.*, 2019).

Estudo objetivando produzir hidrogel agrícola com alta eficiência de absorção de água em ambiente salino revelou incrementos de 70 e 90% na absorção de água em polímeros di e tetra-sulfonados, respectivamente, mediante soluções salinas mostrando-se superior ao hidrogel de amido que não foi melhorado (ZAIN *et al.*, 2018). Zhao *et al.* (2019), testando um novo polímero de base biológica modificado com ácido sulfâmico e ácido acrílico para agricultura, verificaram aumento na absorção de água de até 90 % em solução de NaCl (0,9 %) quando comparado ao polímero não modificado. O sucesso do polímero modificado verificado por esses autores foi atribuído à adsorção e transferência de moléculas de água promovida pelos grupos ácidos sulfônicos que resultaram em melhorias nas propriedades de absorção de água em soluções salinas.

Características como maior capacidade de retenção de água e intumescimento na presença de sais, indicam que o polímero à base de nanocompósito pode ser útil em áreas agrícolas de regiões semiáridas (GHAREKHANI *et al.*, 2017).

Foi comprovado também que a utilização de materiais alternativos como as cinzas volantes - subproduto industrial da combustão de carvão pulverizado rica em aluminossilicatos - quando introduzidas nos polímeros hidrorretentores podem melhorar o

desempenho desses materiais à salinidade para que sejam utilizados na agricultura (ZHU *et al.*, 2019). Isso ocorre porque ao introduzir cargas minerais a um polímero, a hidrofiliabilidade é aumentada, o que leva a uma maior diferença nas pressões osmóticas do hidrogel e da solução externa, conferindo, portanto, maior resistência à salinidade (QUEIROZ; MASLÂNDIA; FEITOSA, 2017; ZHU *et al.*, 2019).

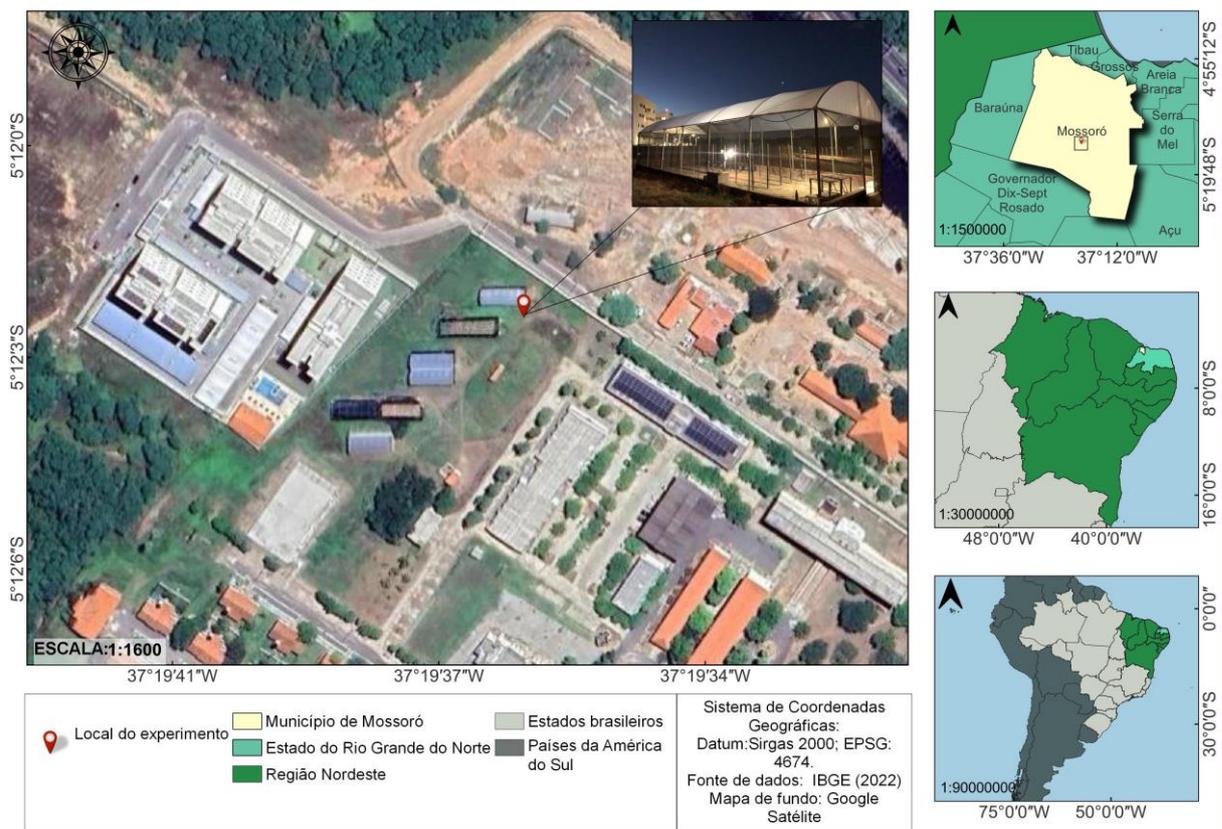
Esses resultados apontam para avanços nos estudos envolvendo os polímeros hidroretentores na agricultura. Contudo, a maioria dos estudos envolvem apenas os testes em laboratório, não simulando a realidade dos cultivos agrícolas. Nesse sentido, os achados de Nascimento *et al.* (2021) sugeriram que os polímeros fossem testados em condições de campo e sua influência no crescimento das plantas. Com base nisso, para validação das informações obtidas anteriormente, é necessário testar os polímeros aplicados no solo e seus efeitos na retenção de desenvolvimento de plantas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

A pesquisa foi realizada em casa de vegetação situada no campus da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada no município de Mossoró-RN (5°11'S e 37°20'W, 18m), conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Localização da área experimental



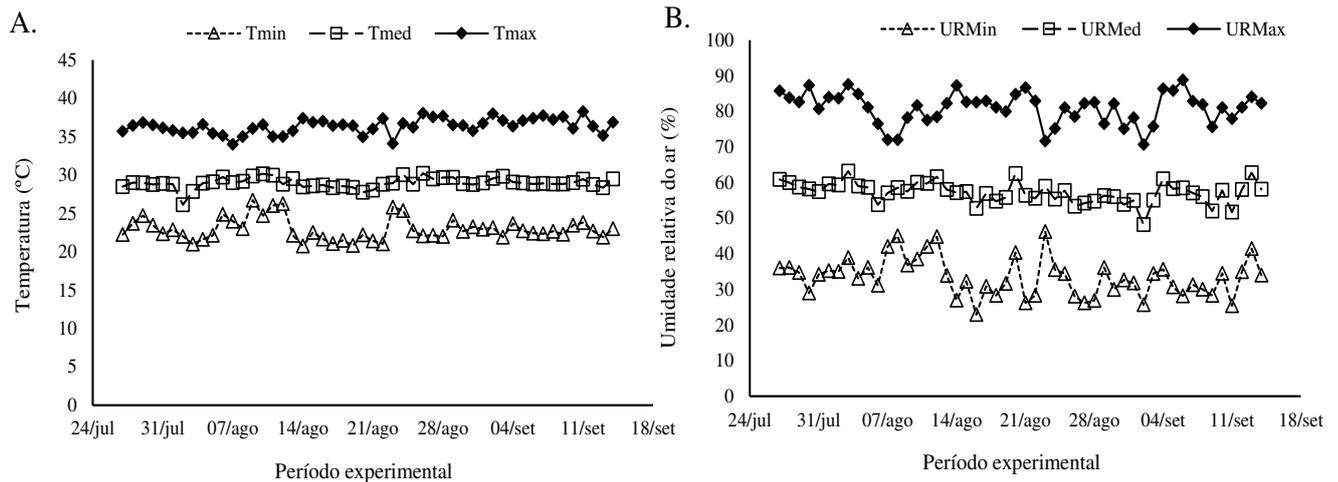
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

O clima da região, conforme classificação de Koeppen, é do tipo BSw^h, caracterizando como quente e seco, com precipitações irregulares com média anual de 673,9 mm, temperatura média de 27 °C (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1995). A casa de vegetação onde o experimento foi conduzido foi constituída por estrutura em aço galvanizado com paredes laterais de malha preta, pé direito com 4 metros, cobertura em arco tipo túnel (7 m x 18 m) revestida com malha de polietileno transparente de baixa densidade com 0,15 mm de espessura (OLIVEIRA *et al.*, 2013), não apresentando controle de temperatura e umidade.

Durante o experimento foram coletados, diariamente, os dados climáticos (Figura 2) referentes às temperaturas máximas (Tmax), média (Tmed) e mínima (Tmin), umidade

relativa do ar máxima (URmax), média (URmed) e mínima (Tmin), utilizando estação meteorológica automática (Campbell Scientific Inc. model CR1000), instalada no interior da casa de vegetação.

Figura 2 - Temperaturas (A) e umidade relativa do ar (B) no interior da casa de vegetação durante no período de 24 de julho a 18 de setembro de 2021



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.2 Solo, polímeros superabsorventes e água de irrigação utilizados

Foi utilizada a camada de 0 a 20 cm de um ARGISSOLO Vermelho Amarelo (Santos et al., 2018) coletado em área cujas coordenadas geográficas são 5°12'27.40" de latitude Sul e 37°19'13.68" de longitude Oeste. As características físicas e químicas do solo utilizado estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Caracterização química e física do solo utilizado no experimento

características químicas												
pH	CE _{es} ⁷	P ²	K ²	Na ²	Ca ³	Mg ³	Al ³⁺	H+Al ⁵	SB ⁶	CTC ⁶	V ⁶	MO ⁸
H ₂ O (1:2.5)	dS m ⁻¹ (1:5)	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³								%	g kg ⁻¹
5,9	0,9	10,0	2,33	0,93	27,6	7,8	-	25,9	38,6	64,5	60,0	11,89
características físicas												
Areia ¹		Silte ¹		Argila ¹		Densidade do solo		Porosidade total		Classe textural		
g kg ⁻¹						g cm ⁻³		m ³ m ⁻³		-		
850		110		40		1,59		0,39		Areia franca ¹		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

¹Método da pipeta (CLAESSEN *et al.*, 1996). ²Extração por Melich-1; determinação de P via espectrofotômetro, Na e K por fotômetro de chama. ³Extração por KCl; determinação por absorção atômica. ⁴Extração por acetato de cálcio; determinação via titulação com NaOH. ⁵Extração via KCl; determinação por titulação com NaOH. ⁶Determinação do

complexo sortivo, porcentagem de sódio trocável, Teixeira (2017). ⁷Determinação pela pasta saturada. ⁸Determinação por oxidação via úmida com dicromato de potássio, em presença de H₂SO₄ e aquecimento externo, titulado com dicromato com sulfato ferroso amoniacal.

Foi utilizada água de irrigação apresentando diferentes níveis de salinidade. Para o menor nível de salinidade foi utilizado a água proveniente de poço profundo que apresentou CE de 0,5 dS m⁻¹. Os demais níveis de salinidade foram obtidos pela mistura dessa água com os sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl₂.2H₂O), cloreto de magnésio (MgCl₂.6H₂O) de modo a obter uma proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992). A proporção de Na, Ca, Mg e os níveis de salinidade utilizados neste estudo representam a realidade comumente encontrada nas águas superficiais e subsuperficiais das regiões semiáridas (MEDEIROS, 1992; RHOADES *et al.*, 1992).

Os hidrogéis utilizados eram caracterizados como acrilamida reticulada aniônica e copolímeros de acrilato de potássio. Esses polímeros apresentaram diferenças nas taxas de inchaço em água e solução salina, fator de inchaço e nível de acrilamida residual (Tabela 2).

Tabela 2- Caracterização dos hidrogéis utilizados no experimento.

Hidrogel	Característica do copolímero	Contra-íon	Grau de inchaço (água) (g g ⁻¹)	Grau de inchaço (solução salina) (g g ⁻¹)	Fator de inchaço (20°C)	Acrilamida residual (mg mg ⁻¹)
H1	AA	potássio	365	62	0,18	0,189
H2	AA	potássio	208	134	0,64	0,272
H3	AA	potássio	313	40	0,1	0,095

Fonte: Adaptado de Nascimento (2021).

Foi utilizada água de irrigação apresentando diferentes níveis de salinidade. Para o menor nível de salinidade foi utilizado a água proveniente de poço profundo que apresentou CE de 0,5 dS m⁻¹. Os demais níveis de salinidade foram obtidos pela mistura dessa água com os sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio (CaCl₂.2H₂O), cloreto de magnésio (MgCl₂.6H₂O) de modo a obter uma proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992). A proporção de Na, Ca, Mg e os níveis de salinidade utilizados neste estudo representam a realidade comumente encontrada nas águas superficiais e subsuperficiais das regiões semiáridas (MEDEIROS, 1992; RHOADES *et al.*, 1992).

3.3 Delineamento experimental

Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente aleatorizado (DIA) em esquema fatorial $3 \times 4 + 1$ com cinco repetições, totalizando 60 unidades experimentais. O primeiro fator foi composto por três polímeros hidretentores (H1; H2 e H3), enquanto o segundo fator foi constituído por quatro salinidades da água de irrigação (0,5; 1,0; 2,0; 4,0 dS m^{-1}). O tratamento adicional corresponde ao controle em que não foram adicionados hidrogel e água salina. Cada unidade experimental foi representada por um vaso com capacidade de 10 litros, contendo uma planta de meloeiro (*Cucumis melo* L.).

3.4 Instalação e condução do experimento

Os polímeros foram aplicados ao solo antes da adubação na forma de pó seco, em dose equivalente a 0,2% (m/m). Essa dose foi utilizada por ser a recomendada para a aplicação de polímeros superabsorventes em áreas agrícolas comerciais (SNF, 2019). Para o solo utilizado essa dose correspondeu a 22,13 g vaso⁻¹ e, na conversão para os vasos preenchidos com solo até a densidade de 1,6 g cm^{-3} , foi correspondente à 22,13 g vaso⁻¹. Os polímeros foram pesados e incorporados ao volume de solo de cada vaso. No tratamento controle, os vasos foram preenchidos somente com solo.

A adubação fosfatada foi realizada de acordo a recomendação de Crisóstomo *et al.* (2002) para a cultura do meloeiro, com MAP (P_2O_5), na dose de 160 mg vaso⁻¹, e aplicado na fundação um dia antes da semeadura. A adubação potássica ocorreu no sétimo dia após a semeadura (DAS) com 25% da dose recomendada por Crisóstomo *et al.* (2002) e o restante foi parcelado em 6 aplicações a cada 7 dias de acordo com as necessidades nutricionais, conforme descrito por Paula *et al.* (2011), totalizando 160 mg vaso⁻¹ de K_2O . Foi utilizado fosfato monoamônico (MAP) como fonte de nitrogênio na adubação de fundação de 8 mg vaso⁻¹ e o restante com uréia, seguindo as exigências nutricionais da planta via fertirrigação (Paula *et al.*, 2011), divididas em seis aplicações, sendo a primeira aos 7 DAS e as demais a cada 7 dias.

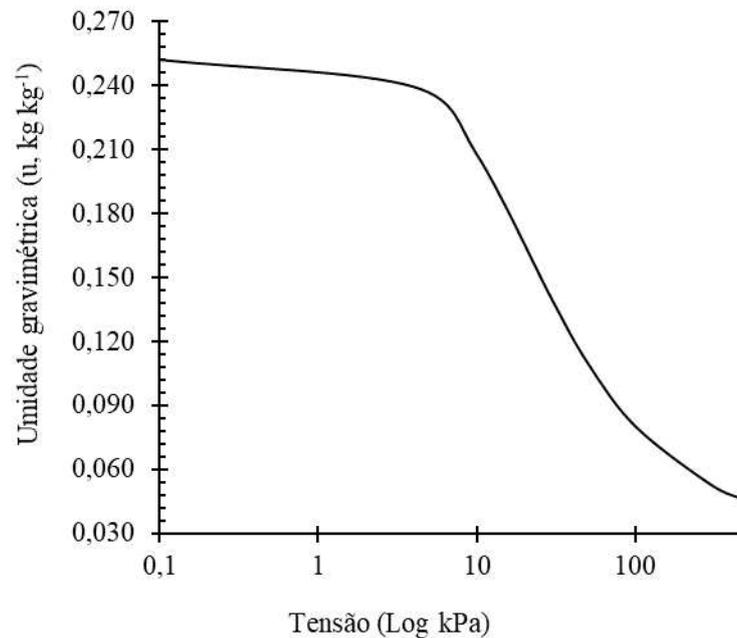
Os micronutrientes foram adicionados na água de irrigação em quantidade adequada para as 156 plantas, no total de 16,25 g de sulfato de ferro, 22,75 g de sulfato de zinco, 9,92 g de sulfato de cobre, 13,0 g de ácido bórico em cada aplicação. Adicionalmente, no início do florescimento foi realizada aplicação foliar de micronutriente “Liqui-plex” (0,01 mL planta⁻¹).

A semeadura direta do melão tipo cantaloupe, híbrido Rangers (Takii Seed) foi realizada no solo contido nos vasos, com dois centímetros de profundidade, sendo duas sementes por cova, em distâncias equidistantes em relação às bordas. Após sete dias da semeadura o desbaste foi realizado, deixando uma planta por vaso. A disposição dos vasos na casa de vegetação seguiu o espaçamento de 1 m entre linhas e 0,5 m entre plantas. Para isso, quatro estacas de madeira foram fixadas e, posteriormente, inseridos quatro fios de arame (n°14) acima da linha de cultivo em cada linha com o objetivo de tutoramento. Mediante o crescimento das plantas, os ramos foram enrolados a uma fita de rafia fixada no arame para sustentação das plantas

Na salinidade de menor nível foi utilizado a água proveniente de poço profundo que apresentou CE de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$. Os demais níveis de salinidade foram obtidos pela mistura dessa água com os sais cloreto de sódio (NaCl), cloreto de cálcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) de modo a obter uma proporção de 7:2:1 (MEDEIROS, 1992). A proporção de Na, Ca, Mg e os níveis de salinidade utilizados neste estudo representam a realidade comumente encontrada nas águas superficiais e subsuperficiais das regiões semiáridas (MEDEIROS, 1992; RHOADES *et al.*, 1992).

Com base nos dados de umidade obtidos da curva característica de água no solo realizada em laboratório e ajustados mediante a equação proposta por Van Genuchten (1980) (Figura 1), estabeleceu-se o regime de irrigação manual com auxílio de uma proveta graduada, considerando 60% da capacidade de campo (CC). Dessa forma, foi possível obter respostas específicas das plantas ao uso do hidrogel em resposta ao *déficit hídrico*, o que é comum nas regiões semiáridas.

Figura 3 - Curva característica de água no solo utilizada no experimento



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A irrigação foi monitorada por meio do Sistema Inteligente de Manejo da Água no Solo - SIMAS (DIAS *et al.*, 2022). O SIMAS é um sistema integrado que combina um tensiômetro com um transdutor de pressão MPX5100DP, projetado para fornecer monitoramento preciso das condições da água no solo, considerando o regime de irrigação de 60% da CC. A calibração dos sensores de umidade do solo foi realizada por correlação da curva característica de água no solo realizada em laboratório e os dados gerados pelos transdutores conectados aos tensiômetros. A irrigação foi realizada diariamente de forma manual com auxílio de proveta graduada e com base nos dados obtidos por meio do SIMA.

O controle fitossanitário foi realizado com o fungicida mesostêmico e sistêmico, registrado e de acordo com as recomendações técnicas para a cultura, sendo os tratamentos culturais e fitossanitários feitos de maneira preventiva e à medida que se fizeram necessários.

Os vasos, contendo solo e hidrogel, receberam irrigação com água não salina nos primeiros sete dias após a semeadura (DAS). A introdução dos diversos níveis de água salina por meio de irrigação teve início a partir dos 7 DAS e se estendeu até os 50 DAS.

3.5 Variáveis analisadas

3.5.1 Curva característica de água no solo

Para a determinação da curva característica de água no solo, após a retirada das plantas, amostras indeformadas de solo foram obtidas por meio de cilíndricos metálicos (5,7 cm de diâmetro e 4 cm de altura) que foram inseridos ao solo contido nos vasos a uma distância de 10 cm do caule das plantas no centro da camada de 0-10 cm. Posteriormente, foi retirado o excesso de solo das bordas das duas extremidades dos cilindros, que foram envolvidos em papel alumínio de modo a preservar a estrutura e manter a umidade do solo.

Os cilíndricos metálicos foram levados ao laboratório onde foram imersos em água (lâmina de 2 cm) para saturação por período de 8 horas. Em seguida, as amostras de estrutura preservada foram submetidas a potenciais matriciais de 0,-6, -10 kPa utilizando o funil de Haines e a mesa de tensão para os potenciais de -10 kPa, -33 kPa para estabelecer o equilíbrio entre a tensão aplicada e o conteúdo de água no solo e para os demais potenciais (-100 e -1500 kPa) o equilíbrio se deu pelo uso de placas de pressão de Richards (KLUTE, 1986).

Após a obtenção da umidade volumétrica do solo em todas as tensões, os dados foram ajustados empregando-se o modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980), conforme a equação 1.

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha|\psi_m|)^n]^m} \quad (1)$$

em que θ corresponde ao conteúdo de água ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), θ_r e θ_s são, respectivamente, os teores de água residual e de saturação ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), ψ_m o potencial mátrico da água no solo (kPa), α um escalonador do ψ_m ; m e n são parâmetros de ajuste do modelo relacionados ao formato da curva.

Os ajustes foram realizados utilizando o programa computacional Soil Water Retention Curve - SWRC (DOURADO NETO *et al.*, 1990), cujos parâmetros θ_s e θ_r serão fixados com o conteúdo de água no solo referente à saturação e tensão de 1500 kPa, respectivamente, ambos mensurados em laboratório. Utilizou-se o método iterativo de Newton-Raphson para o ajuste dos parâmetros α , m e n , em que não há dependência entre m e n . Para a obtenção da curva de frequência acumulada de poros, se relacionará o logaritmo da tensão com o quociente entre a umidade base volume e porosidade total.

A análise da curva característica de retenção de água no solo incluiu a água disponível na faixa de microporosidade (-6 kPa), água disponível (AD) como sendo a água entre a capacidade de campo (CC -10 kPa) e o ponto de murcha permanente (PMP -1500 kPa).

3.5.2 Trocas gasosas e crescimento

Os parâmetros de trocas gasosas (fotossíntese líquida – A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração – E ($\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática – g_s ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO_2 – C_i foram medidos aos 35 DAS, entre 9:00 e 10:00 horas, na terceira folha completamente expandida a partir do ápice, utilizando analisador portátil de gases infravermelho (IRGA) modelo LI-6400XT, LI-COR Biosciences Inc., Lincoln, Nebraska, USA. Adicionalmente, calculou-se a eficiência instantânea do uso da água - EUA (relação A/E, $\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) e a eficiência instantânea de carboxilação - $E_i C_i$ (relação A/ C_i , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Aos 50 dias após semeadura (DAS) foram realizadas as medições do diâmetro do caule (DC), que foi determinado com auxílio de um paquímetro digital, considerando 2 cm da superfície do solo. Para determinação da área foliar foi utilizada o método dos discos foliares (SOUZA *et al.*, 2012). Para isso, no momento da coleta do experimento, 20 discos foliares por planta foram amostradas com auxílio de anel volumétrico, cujas dimensões correspondem a 2,5 cm de diâmetro interno (área do disco de $4,9 \text{ cm}^2$) obtendo a área foliar do disco (AFD cm^2).

Os discos foliares foram levados à estufa de circulação forçada sob temperatura de $65 \text{ }^\circ\text{C}$ (± 1) até peso constante para então serem tomadas a massa seca das folhas dos discos (MSFD). A partir da massa seca das folhas (MSF), dos discos (MSD) e da área do disco (AD) será calculada a área foliar da planta (AF), conforme apresentado na equação 2.

$$AF = \frac{AD \times MSF}{\frac{MSD}{20}} \quad (2)$$

em que:

AF – área foliar, cm^2 ;

AD – área foliar do disco, cm^2 ;

MSF – massa seca de folhas, g;

MSD – massa seca das folhas do disco, g;

20 – número de discos utilizados na planta.

A massa seca total das plantas foi obtida por meio de balança digital de precisão (± 1) a partir do somatório da massa seca da parte aérea (MSPA) e da matéria seca de raiz (MSR) após secagem em estufa de circulação forçada de ar (65 °C) até peso constante.

3.5.3 Análises estatísticas

As variáveis dependentes foram avaliadas, preliminarmente, quanto à distribuição normal dos resíduos, pontos discrepantes e homogeneidade de variância. Em caso de violação da normalidade dos dados, foi realizada a transformação de potência ótima pela metodologia Box e Cox (1964), de modo a estabilizar ou reduzir a variabilidade existente e normalizar os resíduos para só então proceder o teste paramétrico padrão.

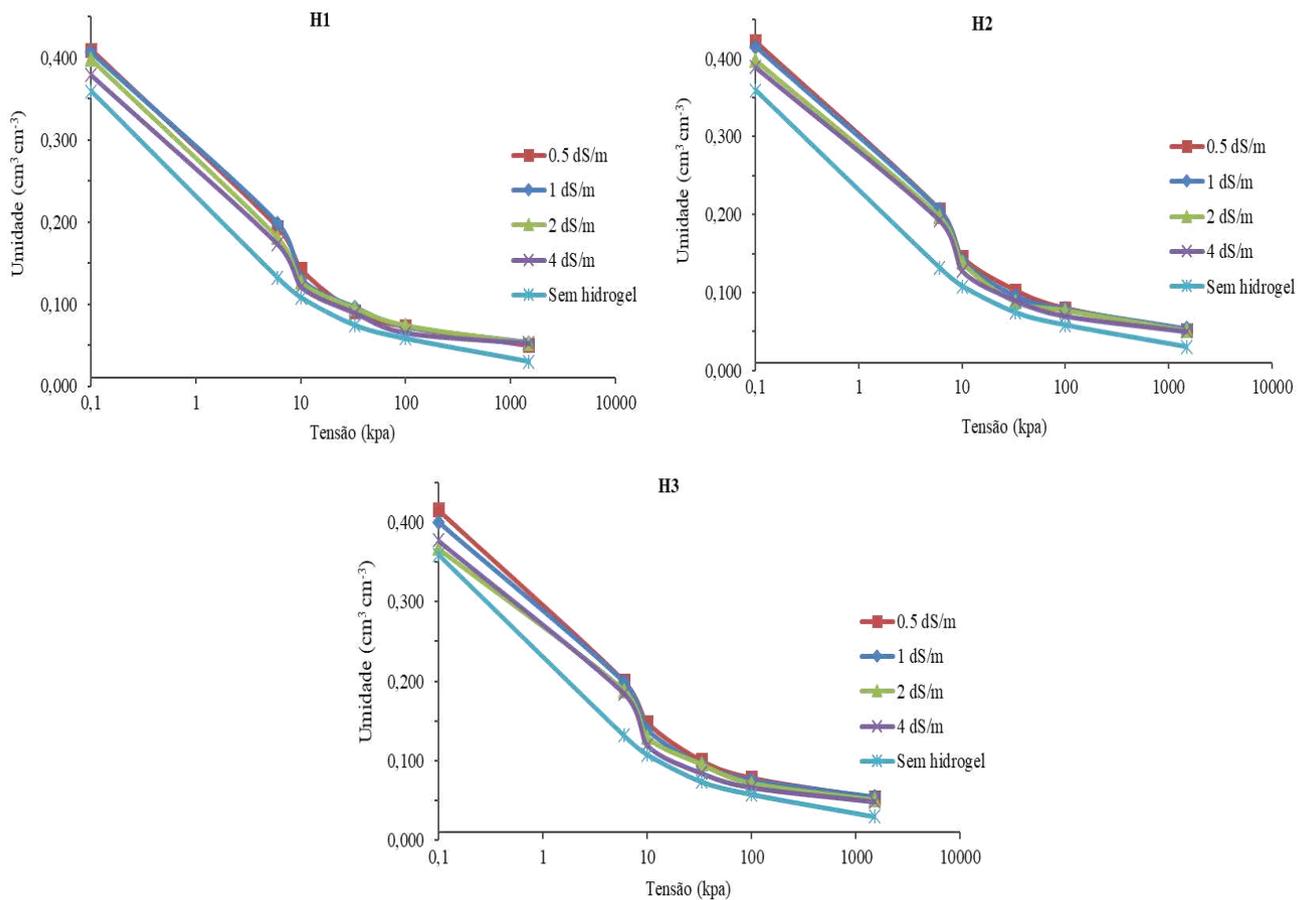
A análise de variância foi realizada pelo teste F ao nível de 5% de significância. Foi realizado o desdobramento das médias para as variáveis que apresentaram resposta significativa à interação entre os fatores estudados. Foi realizada ANOVA, os testes de comparação de médias para o fator de tratamento qualitativo, Tukey ($p \leq 0,05$) e Dunnett ($p \leq 0,05$), (tipo de hidrogel e controle, respectivamente) e a análise de regressão para o fator de tratamento quantitativo (níveis de salinidade).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curvas características da água no solo

Com a aplicação dos hidrogéis o conteúdo de água no solo foi semelhante entre as salinidades avaliadas em toda faixa de potencial mátrico (Figura 4). Os tratamentos que receberam polímeros hidroretentores, mesmo que submetidos à salinidade, apresentaram maior conteúdo de água no solo em relação ao tratamento controle toda a faixa de tensões (Figura 4).

Figura 4 - Curvas características da água no solo em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 1; 2,0; 4,0 dS m⁻¹) para os tipos de hidrogel avaliados (H1, H2, H3) e para o tratamento controle sem hidrogel



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

O solo com o uso do hidrogel H2 e salinidade de 4 dS m⁻¹, registou conteúdo de água variando de 0,389 a 0,050 cm³ cm⁻³ em condições de baixa e alta tensão.

Comparativamente, para o mesmo nível salino, as variações em H1 foram de 0,379 a 0,051 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, em H3 de 0,377 a 0,049 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, enquanto no tratamento sem hidrogel, a variação foi de 0,359 a 0,030 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Quando se analisa o conteúdo de água submetidos à salinidade de 4 dS m^{-1} na tensão correspondente a capacidade de campo para solos arenosos (10 kPa), observa-se que o H2 foi superior aos demais, apresentando valores de 0,128 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ao passo que H1, H3 e controle exibiram 0,121, 0,120 e 0,108 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$.

Esses resultados indicam que o H2 foi mais resistente aos efeitos dos sais sob sua estrutura proporcionando maior absorção de água o que refletiu na maior retenção de água no solo. Desse modo, pode se atribuir esse desempenho a sua estrutura química, possuindo maior grau de reticulação (NASCIMENTO *et al.*, 2021) Apesar da retenção de água em sucções mais altas aumente devido à adsorção pelas partículas do solo, ela é mais afetada pela textura do solo e superfície específica e menos pela estrutura (HILLEL, 1980). Nesse caso, o polímero H2 também refletiu em maior superfície específica, devido sua estrutura ter sido menos afetada de que os demais polímeros e superior ao tratamento sem hidrogel.

Outra opção para melhorar o desempenho dos hidrogéis é a inserção de grupos hidrofílicos. Nesse caso, quando há aumento dos grupos hidrofílicos do polímero, a maior afinidade dos polímeros exercida por esses grupos promove atração das moléculas de água, as quais serão inseridas nos poros do polímero (KAUR *et al.*, 2023). Concomitantemente a isso, ocorrem também expansão e entrada de mais molécula de água, conferindo maior absorção de água pelos hidroretentores (Zhao *et al.*, 2019).

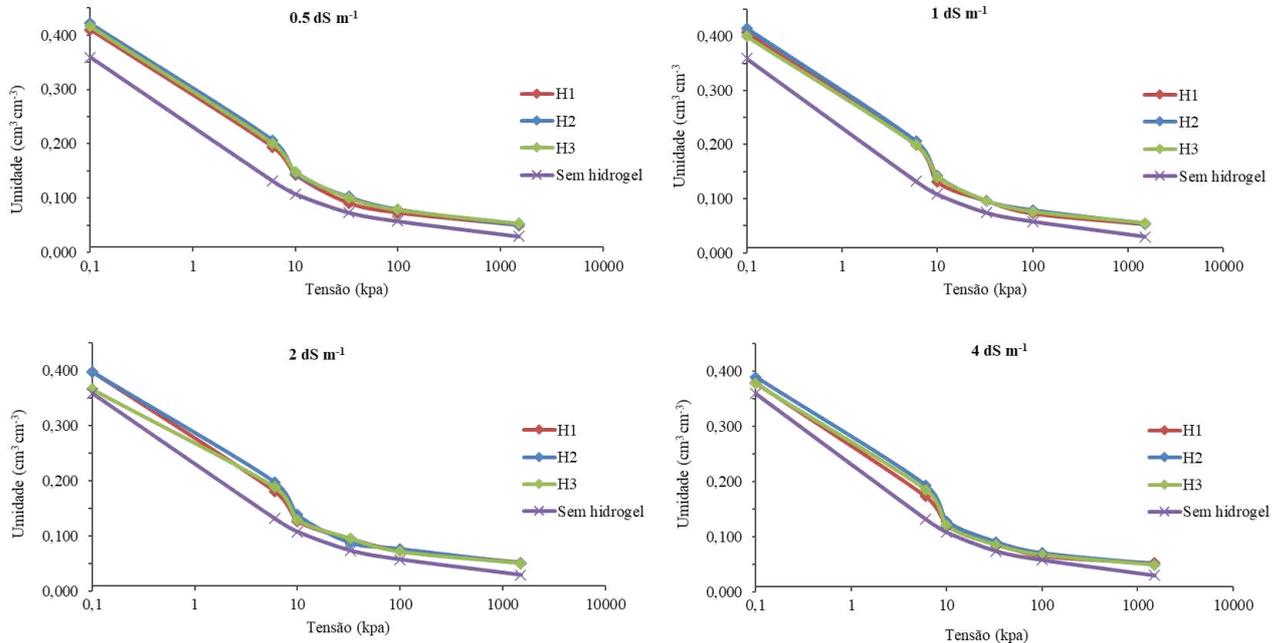
Por outro lado, os demais polímeros avaliados neste estudo, apesar de levarem a resultados superiores ao tratamento controle em termos de conteúdo de água no solo, foram mais afetados pelos sais, corroborando com os efeitos deletérios da salinidade aos polímeros (LAFTAH; HASHIM; IBRAHIM, 2011). A constituição dos sais deste estudo (7:2:1), contendo (Ca^{2+} e Mg^{2+}) certamente contribuiu redução do intumescimento dos hidrogéis expostos a salinidade e o cátion monovalente (Na^+) pode ter blindado os ânions carboxilato da estrutura polimérica com implicações compactação da estrutura tridimensional do polímero devido à menor repulsão entre as cargas fixas da rede (NASCIMENTO *et al.*, 2021).

A entrada de água nos hidrogéis iônicos ocorre por meio das diferenças na pressão osmótica entre a matriz do polímero e a solução externa (COSTA *et al.*, 2022). No caso do H1 e H3, o aumento da salinidade causou redução na pressão osmótica entre a matriz polimérica do hidrogel e a solução salina devido ao aumento da força iônica, provocando redução na absorção de água (LI; WANG; CHEN, 2004).

A capacidade de retenção de água do solo exibiu tendência decrescente mediante o aumento da salinidade da água de irrigação em todos os polímeros estudados. Apesar do comportamento semelhante das curvas de retenção de água no solo, nota-se que no tratamento H2 a inclinação foi menor, indicando que o hidrogel promoveu aumento da porosidade total do solo. Por outro lado, em H1 e H3 houve maior inclinação das curvas, o que está associado à reduzida variação dos tamanhos dos poros, o que se deve também aos efeitos deletérios dos sais sobre o desempenho dos polímeros, prevalecendo, principalmente a macroporosidade.

Na análise da retenção de água em cada salinidade, se constata que nas salinidades 0,5 e 1 dS m^{-1} , respectivamente, a retenção de água no solo foi maior em H2 (0,206 a 0,422 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e H3 (0,199 a 0,416 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) do que em H1 (0,194 a 0,410 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) até a tensão de de 6kpa (Figura 5). O mesmo comportamento foi obtido em H2 (0,193 a 0,398 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e H3 (0,185 a 0,377 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) para as salinidades de 2,0 e 4,0 dS m^{-1} , respectivamente, até o esvaziamento dos macroporos, considerando a tensão de 6 kPa (KLEIN; LIBARDI, 2002).

Figura 5 - Curvas características da água no solo para tipos hidrogel avaliados (H1, H2, H3) e para o tratamento controle sem hidrogel em função da salinidade da água de irrigação (0,5; 1; 2,0; 4,0 dS m^{-1})



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Observa-se que na umidade da capacidade de campo, no nível salino mais elevado (4 dS m^{-1}) o H2 levou à maior retenção de água (0,128 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) em relação aos demais tratamentos H1 (0,121 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), H3 (0,120 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) e controle (0,108 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$).

Vale ressaltar que o processo de intumescimento é controlado, principalmente, pela expansão da rede polimérica e parte quantidade de água absorvida é a água livre no espaço da rede. Em condições salinas, contudo, os íons podem modificar a força iônica do meio causando desequilíbrio na pressão osmótica e elasticidade dos polímeros com consequência negativa no processo de intumescimento. Nesse caso, todos os polímeros sofreram reduções no intumescimento resultando em menor retenção de água no solo, sendo o H2 menos afetado pelos efeitos deletérios dos sais em sua estrutura. Esses resultados indicam maior afinidade do polímero exercida, possivelmente, pelo maior grau de reticulação, que conferiu maior resistência aos sais possibilitando a entrada das moléculas de água nos poros do polímero.

Mediante o aumento da hidrofiliabilidade dos hidrogéis, há maior diferença nas pressões osmóticas do polímero e da solução externa, o que confere maior resistência à salinidade, devido ao potássio na sua estrutura polimérica. Além disso, é possível ocorrer troca iônica dos íons do polímero e os íons bivalentes na solução, melhorando o intumescimento e as propriedades mecânicas do polímero em ambientes salinos (GUILHERME *et al.*, 2015; SAHA *et al.*, 2020; KAUR *et al.*, 2023).

Em relação a água disponível (AD), os valores variaram da seguinte forma para cada hidrogel avaliado nas salinidades de 0,5; 1; 2,0; 4,0 dS m⁻¹, respectivamente: H1 (0,09; 0,08; 0,08; 0,07 cm³ cm⁻³), H2 (0,10; 0,09; 0,09; 0,08 cm³ cm⁻³) e em H3 (0,10; 0,09; 0,08; 0,07 cm³ cm⁻³). No tratamento controle a AD foi de 0,07 cm³ cm⁻³. Mediante o aumento do nível salino houve redução gradual da água disponível para todos os polímeros, contudo, nota-se que H2 foi o polímero menos afetado em água disponível, apresentando resultados de 11,54% superior aos tratamentos H1 em todas as salinidades e em H3 nas salinidades 2,0; 4,0 dS m⁻¹. Já em relação ao tratamento controle, o H2 resultou em AD 15% superior na salinidade de 2 dS m⁻¹ apresentando valores de 0,09 cm³ cm⁻³ em detrimento a 0,07 cm³ cm⁻³ do tratamento com ausência do hidrogel.

Os maiores valores de água retida na capacidade de campo refletiram em mais água disponível em todos os níveis salinos em detrimento aos demais tratamentos. Nesse caso, os polímeros não aumentaram o conteúdo de água na faixa do ponto de murcha permanente, por meio das ligações fortes de seus grupos hidrofílicos, o que tornaria a água indisponível para as plantas (SAHA *et al.*, 2020).

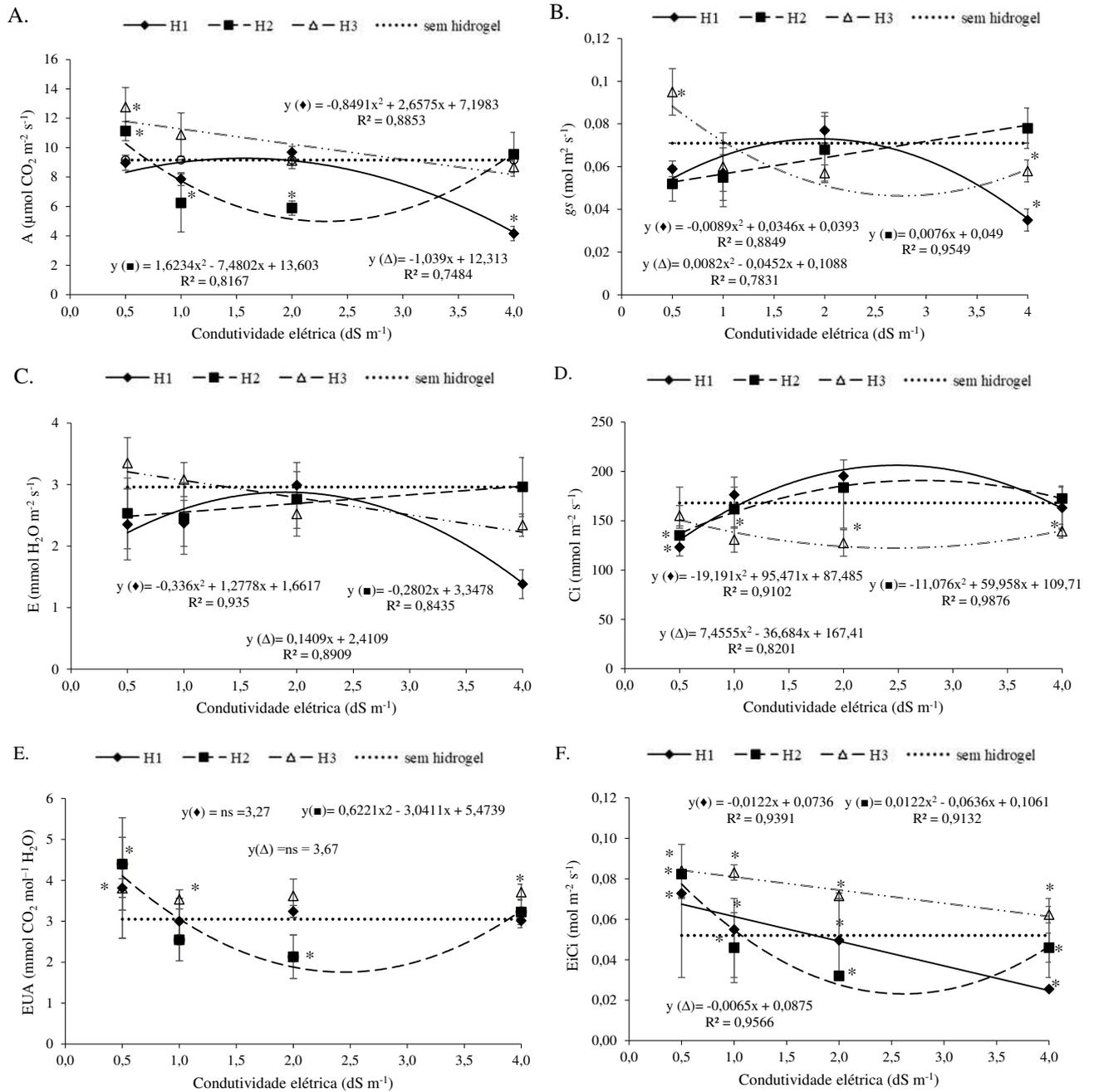
As melhorias provocadas pelo uso dos polímeros no solo podem implicar diretamente no desenvolvimento das plantas e fundamentam-se, sobretudo, pelo aumento da disponibilidade de umidade que influencia parâmetros fisiológicos e de crescimento.

4.2 Trocas gasosas e crescimento

Para os parâmetros de trocas gasosas (taxa de fotossíntese, condutância estomática, concentração interna de CO₂, transpiração, eficiência do uso da água e eficiência instantânea de carboxilação) houve interação entre os fatores de tratamento ($p < 0,01$) (ANEXO). Na comparação dos fatores de tratamentos relacionados ao tipo de hidrogel e níveis de salinidade com o controle, houve diferença para área foliar e matéria seca total ($p < 0,01$), para taxa de fotossíntese e eficiência instantânea de carboxilação ($p < 0,01$) e para condutância estomática, concentração interna de CO₂, transpiração e eficiência do uso da água ($p < 0,05$). Para os parâmetros referentes ao crescimento das plantas houve interação entre fatores de tratamento para a área foliar ($p < 0,01$) e massa seca total ($p < 0,05$). O diâmetro do colmo diferiu somente em resposta aos níveis de salinidade ($p < 0,05$) (ANEXO).

A salinidade da água de irrigação afetou todas as variáveis referentes às trocas gasosas no meloeiro, independentemente do tipo de hidrogel utilizado, no entanto, as respostas foram distintas em função do tipo de hidrogel (Figura 6A, 6B, 6C, 6D, 6E, 6F).

Figura 6 - Fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO₂ (Ci), eficiência instantânea do uso da água (EUA) e eficiência instantânea de carboxilação (EiCi) em plantas de meloeiro para tratamentos com condutividades elétricas distintas da água de irrigação (0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 dS m⁻¹), hidrogéis avaliados (H1, H2, H3) e para o tratamento controle sem hidrogel



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A taxa fotossintética (A) foi afetada pela salinidade de forma quadrática para H1 e H2 e linear para H3 (Figura 6A). Nas plantas cultivadas em solo que recebeu o hidrogel H1, as maiores taxas fotossintéticas foram observadas na CE 1,56 dS m⁻¹ (9,28 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹),

equivalendo ao incremento de 11,58% quando comparado ao valor médio obtido no menor nível salino ($8,31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). As plantas cultivadas em solo no qual foi aplicado o hidrogel H3 apresentaram redução linear na fotossíntese líquida na medida em que os níveis de salinidade aumentaram, ocorrendo variação de $11,79 \text{ mol}$ na salinidade de $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ para a $8,16 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ na salinidade de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, significando perda cumulativa de 30,83% (Figura 6A).

Por outro lado, para o H2, as plantas apresentaram redução na fotossíntese líquida A com o aumento da salinidade até o nível $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ ($4,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), representando decréscimo de 51,44% em comparação com os valores obtidos na salinidade $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ($10,26 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A partir da CE de $2,3 \text{ dS m}^{-1}$ houve aumento subsequente na taxa fotossintética, de forma que na CE $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ obteve-se $9,66 (\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ de taxa fotossintética, destacando-se como resultados em relação ao controle no qual as plantas não foram submetidas ao estresse salino e nem ao uso de hidrogel.

A redução na taxa fotossintética do meloeiro em resposta ao estresse salino também foi observada por outros autores (CHEVILLY *et al.*, 2021; LIMA *et al.*, 2020; PEREIRA *et al.*, 2023; SARABI; GHASHGHAIE, 2022; SOUSA *et al.*, 2019). Esse declínio na taxa fotossintética ocorre porque o estresse salino induz o fechamento estomático, devido à diminuição da condutância estomática, o que limita a entrada de CO_2 para o ciclo de Calvin-Benson (MEHTA *et al.*, 2010; SARABI *et al.*, 2019).

Apesar da salinidade ter reduzido a eficiência fotossintética das plantas, o tratamento com H2 mostrou superioridade, pois as plantas foram mais eficientes, fato que tem relação direta aos resultados obtidos para crescimento (AF e MST). O H2 possivelmente proporcionou maior disponibilidade de água, favorecendo o maior desenvolvimento das plantas, consequentemente maior área fotossintetizante, implicando na maior eficiência de entrada de água para o interior do polímero. Desse modo, os resultados encontrados nesta pesquisa evidenciam o efeito positivo desse hidrogel em ambientes salinos, apresentando, inclusive, resultados superiores aos encontrados na ausência de hidrogel em condições de baixo estresse salino ($9,16 \text{ mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

O estresse salino afetou a condutância estomática (g_s) de forma quadrática para H1 e H3, e resposta linear para H2. O aumento dos níveis de salinidade causou incremento (H1) e redução (H2) na g_s até os valores de CE de $1,94$ e $2,30 \text{ dS m}^{-1}$, para cada um dos respectivos hidrogéis mencionados, resultando em ganhos de 34,12% para H1 e perdas de 47,29% para H3, em comparação com os valores obtidos nos respectivos hidrogéis na menor CE. Em ambos os hidrogéis, o uso de água com CE $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a g_s , com perdas de

51,60 e 32,92%, para H1 e H3, respectivamente, comparado aos valores na menor CE (Figura 6B).

Essas respostas estão associadas ao fechamento estomático, comum em condições de acúmulo de sais nas folhas, resultando da desidratação das células-guarda devido à diminuição da pressão osmótica no solo (HUSSAIN *et al.*, 2016). Ademais, em situações de déficit hídrico ou salino, o fechamento estomático induz danos oxidativos, inibindo a assimilação de CO₂ e causando declínio na taxa fotossintética, limitando o crescimento e produção das culturas (FAHAD *et al.*, 2017). Os resultados encontrados nesta pesquisa sugerem que o estresse salino causou o fechamento estomático, o que limitou a capacidade fotossintética das plantas irrigadas com água salina, independentemente do tipo de hidrogel.

Contudo, esse efeito foi menos expressivo quando as plantas foram cultivadas em solo contendo o H2, as quais apresentaram resposta linear positiva na *g_s* à medida que os níveis de salinidade aumentaram com o aumento da salinidade, com valores variando de 0,0528 a 0,0794 mol m² s⁻¹, para os níveis 0,5 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente, significando um ganho acumulado de 5,28% (FIGURA 6B). Esses resultados indicam que o H2 proporcionou controle estomático mais eficiente, o que garante a manutenção da abertura estomática das plantas.

A transpiração (E) foi afetada pela salinidade da água de irrigação para todos os tipos de hidrogéis. Resposta quadrática foi verificada para o H1, ao passo que para H2 e H3 ocorreram respostas lineares para E em função dos níveis de salinidade (Figura 6C). No tratamento H1, as plantas apresentaram aumento na E até o nível salino 1,90 dS m⁻¹ (2,87 2,22 mmol H₂O m⁻² s⁻¹), equivalente ao aumento de 29,77% em comparação com o valor de E obtido na CE 0,5 dS m⁻¹ (2,22 mmol H₂O m⁻² s⁻¹). Ainda no H1, a menor transpiração ocorreu no maior nível salino (4,0 dS m⁻¹), sendo 2,22 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, representando redução de 36,98%, em comparação com os valores obtidos na menor salinidade.

No tratamento H2, o aumento da salinidade provocou aumento linear da transpiração, com valores variando de 2,48 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ a 2,97 mmol H₂O m⁻² s⁻¹, para as CEs 0,5 e 4,0 dS m⁻¹, respectivamente, representando ganho total de 19,87%. Por outro lado, o incremento da salinidade da água de irrigação provocou redução linear na E das plantas cultivadas no solo com o tratamento H3, com valores reduzindo de 3,21 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (0,5 dS m⁻¹) para 2,23 mmol H₂O m⁻² s⁻¹ (4,0 dS m⁻¹) e perda total de 30,57% (Figura 6C).

Nesse sentido, sob condições adequadas de disponibilidade de água, as plantas geralmente apresentam altas taxas de transpiração (TAIZ *et al.*, 2017). Portanto, à medida que

a disponibilidade hídrica é reduzida e escassa para atividades internas, ocorre uma redução na taxa de transpiração, como reportado por Chevilly *et al.* (2021) Lima *et al.* (2020); Pereira *et al.* (2023). Contudo, o uso de condicionadores de solo pode modificar esse comportamento, mediante o aumento da disponibilidade hídrica nas raízes das plantas (Melo *et al.*, 2023). Nessa pesquisa, o H2 melhorou as condições hídricas do solo, apresentando-se como menos afetado aos efeitos dos sais em sua cadeia polimérica, o que resultou em maior condutância estomática, ou seja, a planta continuou suas atividades fotossintéticas mesmo em condições de estresses abióticos propostos (KRAMER; BOYER, 1995).

Em geral, a redução da quantidade de água disponível diminui a transpiração, a perda de turgor, o crescimento das plantas, os estômatos, fotossíntese e as taxas de transpiração (ADIGÜZEL *et al.*, 2022; TAIZ *et al.*, 2017). Isso ocorre porque, em condições de estresse, as plantas tendem a fechar os estômatos como estratégia de redução das perdas de água pela transpiração, afetando as funções do cloroplasto (FAROOQI *et al.*, 2020; SARABI; GHASHGHAIE, 2022).

Apesar do efeito adverso da salinidade na transpiração das plantas, estratégias como o uso de condicionadores de solo podem mitigar os efeitos do estresse salino (COSTA *et al.*, 2022; KAUR *et al.*, 2023). Nesse sentido, os achados desta pesquisa revelaram respostas distintas para a transpiração das plantas de acordo com o hidrogel, sendo verificado que o H2, ainda no nível salino mais elevado, apresentou maior taxa transpiratória, sendo atribuída à melhor condição hídrica das plantas que receberam esse polímero.

Esses resultados indicam efeitos benéficos do polímero H2 na fisiologia da planta, o que deve estar associado à sua constituição química, conferindo maior resistência à degradabilidade e maior absorção de água em meios salino. Nesse caso, outra possibilidade é que a adição do H2 quando irrigado com água salina reduziu a concentração de sal dos poros por meio da ligação dos íons salinos na estrutura de cadeia do polímero proveniente da troca do íon Na^+ por K^+ (SAHA; SEKHARAN; MANÁ, 2020).

A concentração interna do CO_2 (C_i) foi afetada de forma quadrática pelo aumento da salinidade da água de irrigação em todos os polímeros estudados. Para H1 e H2, observou-se maiores valores de C_i nas CEs 2,49 e 2,71 dS m^{-1} , sendo 206,22 e 190,85 ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para H1 e H2, respectivamente. Comparando-se esses valores com os obtidos na CE 0,5 dS m^{-1} ($H1 = 130,42 \text{ mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$; $H2 = 136,92 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), verificou-se ganhos de 58,12 e 39,39% para H1 e H2, respectivamente. Para H3, o maior valor de C_i (150,93 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) foi obtido na menor CE e, inicialmente, o aumento da salinidade reduziu a C_i até o nível salino 2,46 dS m^{-1} (122,28 $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A partir desse nível, o incremento da salinidade

provocou aumento da C_i , chegando a $139,96 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ na maior salinidade (Figura 6D).

A redução na C_i em plantas sob condições de estresse salino ou hídrico deve-se ao fechamento estomático provocado pela diminuição na condutância estomática, reduzido diretamente a assimilação de CO_2 (PEREIRA *et al.*, 2023; REHMAN *et al.*, 2023; SOUSA *et al.*, 2018; SOUSA *et al.*, 2019).

A melhoria no desempenho fotossintético das plantas submetidas ao estresse salino em solo contendo polímeros superabsorventes ocorre porque os grânulos do polímero aumentam a retenção e, conseqüentemente, a diluição dos sais, aumentando a disponibilidade de água para as plantas. Além disso, como os polímeros utilizados apresentavam copolímeros de acrilato de potássio em sua composição, a disponibilidade de K^+ trocável proveniente do polímero estabelece o equilíbrio da razão K^+/Na^+ , fundamental para promover a maior tolerância à toxicidade iônica (KHODADADI, 2017).

Não houve ajuste para efeito da salinidade da água de irrigação sobre a eficiência do uso da água (EUA) nas plantas cultivadas em solos contendo os hidrogéis H1 e H3, obtendo-se valores médios de 3,27 e 3,67 ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) para H1 e H3, respectivamente. Para o hidrogel H2, a maior EUA ocorreu na CE $0,5 \text{ dS m}^{-1}$ ($4,11 \text{ mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$) e reduziu com o aumento da salinidade até o nível salino $2,44 \text{ dS m}^{-1}$ ($1,76 \text{ mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$), correspondendo à perda de 57,23%. A partir desta CE houve aumento na EUA, de forma que na CE $4,0 \text{ dS m}^{-1}$ se obteve 3,26 ($\text{mmol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$). Apesar desse aumento, a EUA na maior CE equivale a perda de 20,58% quando comparada com os valores obtidos na menor CE (Figura 6E). Apesar desse comportamento, nota-se que houve uma tendência similar aos demais resultados, em que ocorre uma redução seguida de incremento de EUA, indicando que as plantas estavam em processo de adaptação ao estresse salino.

Na literatura são encontrados resultados divergentes sobre o efeito do estresse salino sobre a EUA em meloeiro, e essa divergência pode estar atribuída ao fato dessa variável ser obtida a partir relação matemática (A/E), de forma que caso o estresse salino possa afetar essas variáveis de forma similar, o resultado da fração é inalterado, ou ainda ter relação com o genótipo estudado (LIMA *et al.* 2020; PEREIRA *et al.* 2023).

De maneira geral, plantas de meloeiro quando submetidas a níveis intermediários de salinidade podem ter aumento na EUA, sendo este aumento resultante de mecanismos que estão envolvidos com a assimilação de CO_2 , sendo essa característica desejável em plantas que são tolerantes à salinidade (Morais *et al.*, 2018).

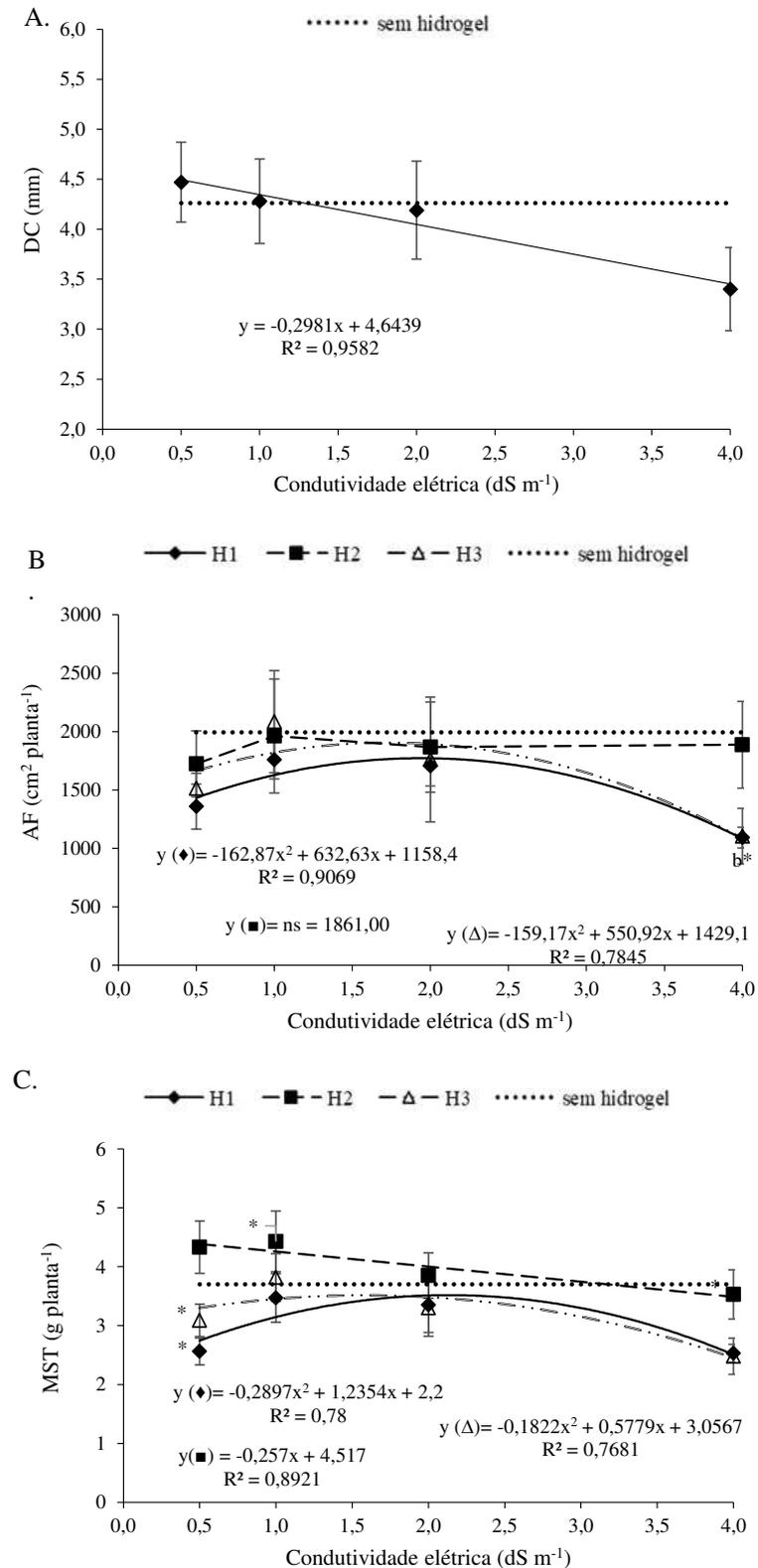
A eficiência instantânea de carboxilação (E_iC_i) das plantas foi afetada pela salinidade da água de irrigação para os três tipos de hidrogéis. Para H1 e H3, o aumento da

salinidade reduziu linearmente a $EiCi$, com valores variando de 0,067 a 0,025 ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para H1, e de 0,084 a 0,061 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) para H3. Desta forma, constata-se que o uso de água com salinidade 4,0 dS m^{-1} provocou reduções de 62,68 e 27,38%, para H1 e H3, respectivamente, em comparação com os valores obtidos na menor CE. Para o H2, a maior $EiCi$ 0,077 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) foi obtida na CE 0,5 dS m^{-1} , e reduziu com o aumento da CE até o nível 2,61 dS m^{-1} 0,023 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), resultando em perda de 70,13%. A partir deste nível salino houve resposta positiva à salinidade, indicando incrementos após a aclimação das plantas, de forma que na CE 4,0 dS m^{-1} obteve 0,047 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). No entanto, apesar desse aumento, a $EiCi$ obtida na maior salinidade equivale a redução de 38,96%, em comparação com a $EiCi$ obtida na menor salinidade (Figura 6F).

Apesar da salinidade ter reduzido a $EiCi$ em ambos os tratamentos, pode-se evidenciar que, nos maiores níveis salinos, o uso do H2 aumentou a $EiCi$, corroborando com os demais resultados observados em A, gs, E. Desse modo, pode-se afirmar que H2 proporcionou maior tolerância nas plantas de meloeiro quando submetidas à alta salinidade. Essa maior tolerância está relacionada a maior capacidade fotossintética das plantas de meloeiro sob condições salinas associada ao melhor condicionamento hídrico proporcionado pelo polímero, sendo ainda necessário observar os efeitos no crescimento das plantas.

O aumento da salinidade reduziu linearmente o diâmetro do caule (DC), apresentando caules mais finos, independentemente do uso de hidrogel, ocorrendo variação de 4,49 mm (0,5 dS m^{-1}) a 3,45 mm (4 dS m^{-1}), resultado em perda total de 23,21% (Figura 7A). Nesse caso, os efeitos do hidrogel não foram suficientes para mitigar as consequências da salinidade e do *deficit hídrico* no diâmetro do caule das plantas de meloeiro. Ademais, há relatos distintos na literatura no tocante às respostas do DC mediante estresse salino. Dias et al. (2010) verificaram reduções no diâmetro do caule das plantas de meloeiro sob estresse salino enquanto Silva et al. (2021) não observaram efeito da salinidade sobre o DC, o que indica que a sensibilidade ao estresse salino depende do tipo de genótipo estudado.

Figura 7- Diâmetro do caule – DC (A), área foliar - AF (B) e massa seca total - MST (C) em plantas de meloeiro em função da condutividade elétrica da água de irrigação, aplicação, de hidrogéis distintos (H1, H2, H3) (H1) e de tratamento controle sem adição do hidrogel



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resultados encontrados neste trabalho evidenciam reduções para o DC em função do aumento da salinidade como sendo uma estratégia morfológica da planta para ambientes de estresse salino (DIAS *et al.*, 2010). Nesse caso, o efeito combinado do estresse salino e estresse hídrico afetou diretamente a expansão, divisão, alongamento celular e a fotossíntese, devido ao transporte reduzido de água nos vasos do xilema, o que afetou o turgor celular, reduzindo as variáveis morfológicas das plantas, como a o diâmetro do caule (; REHMAN *et al.*, 2023; TAIZ *et al.*, 2017).

A salinidade afetou a AF das plantas cultivadas em solo contendo os hidrogéis H1 e H3, ambos de forma quadrática (Figura 7B). Os maiores valores de AF ocorreram nos níveis salinos 1,94 e 1,73 dS m⁻¹, sendo 1772,72 e 1905,81 cm² planta⁻¹, para H1 e H3, respectivamente. Comparando esses valores com o obtido na menor CE (H1=1433,99 e H3=1664,77 cm² planta⁻¹), constata-se que houve aumento de 23,62% para H1 e 14,48% para H3 (Figura 7B). Ainda na Figura 7B, observa-se que na maior CE ocorreram os menores valores de área foliar em ambos os hidrogéis, ocorrendo perdas de 38,91 e 43,01%, em H1 e H3, respectivamente, em comparação com os máximos valores obtidos (Figura 7B). O H2 manteve a AF nas maiores salinidades, apresentando valores médios de 1861 cm² planta⁻¹.

Efeitos deletérios na AF de plantas de meloeiro em função da salinidade foram reportados por outros autores (MEDEIROS *et al.*, 2012; MIRBEHBAHANI *et al.*, 2023; MORAIS *et al.*, 2018;). Essas pesquisas têm apontado a redução na AF, em condições de salinidade e seca, associada ao fechamento estomático como mecanismo adaptativo de plantas cultivadas para reduzir a perda de água por transpiração com efeitos diretos no crescimento das plantas de meloeiro (LIMA *et al.*, 2020; SARABI *et al.*, 2019; TESTER; DAVENPORT, 2003).

A redução na AF nos tratamentos com hidrogel em comparação com o controle sugerem possível limitação nos efeitos benéficos do hidrogel na mitigação da salinidade, especificamente para esta variável. Esse fenômeno pode estar associado aos efeitos deletérios da salinidade na degradação química do hidrogel, impactando sua capacidade de retenção e disponibilidade de água para as plantas (NASCIMENTO *et al.*, 2021; Costa *et al.*, 2022), fato que pode ter influenciado também o DC (Figura 4A).

Adicionalmente, apesar de resultados positivos nos parâmetros fotossintéticos (Figura 6), não refletiu efetivamente em redução dos efeitos da salinidade sobre AF, com exceção do H2, que manteve resultados positivos de manutenção da AF sob o estresse salino. Para os demais, essa limitação pode estar relacionada à capacidade adaptativa das plantas ao ambiente salino, prevalecendo sobre os benefícios do hidrogel. Além disso, fatores como

temperatura no interior da casa de vegetação, a carga do solo nos vasos, bem como a constituição dos íons da solução do solo pode ter influenciado negativamente o desempenho dos hidrogéis (MISIEWICZ *et al.*, 2019; NASCIMENTO *et al.*, 2021; COSTA *et al.*, 2022; TAKAHASHI *et al.*, 2023).

A MST foi afetada pela salinidade para todos hidrogéis (Figura 7C), no entanto, a resposta variou em função do hidrogel analisado. Para H1 e H3 ocorreram respostas quadráticas, sendo os maiores valores obtidos nas CEs 2,13 e 1,59 dS m⁻¹, sendo 3,52 g planta⁻¹ para ambos os hidrogéis. Esses valores corresponderam aumentos de 28,11 e 6,51%, para H1 e H3, respectivamente, em comparação com os valores obtidos na menor CE. Em ambos os hidrogéis, o uso de água com CE 4,0 dS m⁻¹ provocou redução na MST, com perdas equivalentes a 28,74% para H1 e 30,21 para H3, em comparação com os maiores valores encontrados (Figura 7C). As plantas cultivadas em H2 apresentaram redução linear de MST com incremento linear da salinidade da água de irrigação, de forma que a MST reduziu de 4,39 g planta⁻¹ (0,5 dS m⁻¹) a 3,49 g planta⁻¹ (4,0 dS m⁻¹), representando uma perda total de 20,50% (Figura 7C).

A menor redução linear na MST no H2 em pode ser atribuído a capacidade desse hidrogel em mitigar os efeitos adversos da salinidade por meio da manutenção da disponibilidade hídrica, melhorando o turgor celular e promovendo melhores condições físicas para o desenvolvimento radicular das plantas. No entanto, destaca-se que, apesar da superioridade de H2 para MST, os resultados ainda se mostraram inferiores ao tratamento controle (3,70 g planta⁻¹). Esses achados ressaltam a necessidade de otimizações adicionais no uso do hidrogel 2, visando melhorar os resultados no tocante a MST de plantas de meloeiro submetidas ao estresse salino.

Os parâmetros de crescimento decresceram significativamente com o aumento do estresse salino (SILVA *et al.*, 2021; ADIGÜZEL *et al.*, 2022; MIRBEHBAHANI *et al.*, 2023;) devido ao acúmulo de sais na zona radicular das plantas, o que que implica no declínio das taxas de transpiração, fotossíntese e de carboidratos e, portanto, reduziu o crescimento e a produção massa seca total das plantas (MEDEIROS *et al.*, 2007; TAIZ *et al.*, 2017). Sarabi *et al.* (2019) verificaram reduções da MST de na ordem de 39%, assemelham-se aos constatados nessa pesquisa. Esses autores concluíram que o menor acúmulo de massa seca das plantas submetidas ao estresse salino é frequentemente devido diretamente à inibição da fotossíntese, o que corrobora com os resultados encontrados nesta pesquisa.

5 CONCLUSÃO

Os hidrogéis apresentam respostas distintas quanto a curva de retenção de água no solo em condições de estresse salino, sendo que o H2 promove maior retenção de água no solo e manutenção das trocas gasosas do meloeiro em condições de estresse salino.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

São necessários outros estudos de longo prazo para avaliar a os efeitos dos polímeros durante todo ciclo produtivo da cultura em campo, considerando o manejo aplicado nas fazendas agrícolas de cultivo comercial de melão.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Sertões e sertanejos: uma geografia humana sofrida. **Estudos Avançados**, v.13, p. 7-59, 1999.
- ABIDO, W. E. A.; ZSOMBIK, L. Effect of water stress on germination of some Hungarian wheat landraces varieties. **Acta Ecologica Sinica**, v. 38, p. 422-428, 2018.
- ADIGÜZEL, P. *et al.* Applied biotechnological approaches for reducing yield gap in melon grown under saline and drought stresses: an overview. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, n. 1, p. 139-151, 2023.
- AHMED, E. M. Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review. **Journal of Advanced Research**, v.6, p. 105-121, 2015.
- AKRAMI, M.; ARZANI, A. Inheritance of fruit yield and quality in melon (*Cucumis melo* L.) grown under field salinity stress. **Scientific Reports**, v.9, p. 1-13, 2019.
- AKRAMI, M.; ARZANI, A. Physiological alterations due to field salinity stress in melon (*Cucumis melo* L.). **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 49, p. 1-14, 2018.
- ALOUI, H.; SOUGUIR, M.; HANNACH, C. Determination of an optimal priming duration and concentration protocol for pepper seeds (*Capsicum annuum* L.). **Acta agriculturae Slovenica**, v.103, p. 213 – 221, 2014.
- ANDRADE, I. S. *et al.* Morphoagronomic genetic diversity of Brazilian melon accessions based on fruit traits. **Scientia Horticulturae**, v.243, p.514-523, 2019.
- ANDRADE, M. E. O Semiárido cearense e suas águas. *In*: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (org.). **SEMIÁRIDO e o manejo dos recursos naturais**: uma proposta de uso adequado do capital natural. Fortaleza: Expressão gráfica e Editora, 2016. p.55 – 62.
- Anuário Brasileiro da Fruticultura 2018**. Santa Cruz do Sul: Editora Gazeta Santa Cruz. 88p.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**, Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.
- BASU, S. *et al.* Plant adaptation to drought stress. **F1000Research**, v.5, p 1- 10, 2016.
- BEUCHLE, R. *et al.* Land cover changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga biomes from 1990 to 2010 based on a systematic remote sensing sampling approach. **Applied Geography**, v.58, p. 116 – 127, 2015.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. *In*: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, pt. 1, p. 62 363-375, 1986a. (Agronomy Monography, 9).
- BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v.112, p.119-123, 2009.

- BODNER, G.; NAKHFOROOSH, A.; KAUL, H. P. Management of crop water under drought: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.35, p. 401-442, 2015.
- BÖHM, W. **Methods of studying root systems**. Berlin: Springer-Verlag, 1979.188p.
- BOHNERT, H. J.; NELSON, D. E.; JENSEN, R. G. Adaptations to Environmental Stresses. **The Plant Cell**, v.7, p.1099 – 1111, 1995.
- BOUALLA, N. *et al.* Estimating generalized of global impacts to water quality on soil characteristics in basin of the Great Sebkhah of Oran. **Applied Water Science**, v.9, p. 1-10, 2019.
- BOURANIS, D. L.; THEODOROPOULOS, A. G.; DROSSOPOULOS, J. B. Designing synthetic polymers as soil conditioners. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.26, p.1455-1480, 1995.
- BOURANIS, D. L.; THEODOROPOULOS, A. G.; DROSSOPOULOS, J. B. Designing synthetic polymers as soil conditioners. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.26, p.1455-1480, 1995.
- BOX G. E. P; COX D. R. An analysis of transformations. **Journal of the Royal Society**, v.26, p. 211-252, 1964.
- BRASIL. Resolução nº.115/2017. **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste**. SUDENE. Acrescenta municípios a relação aprovada pela Resolução CONDEL nº 107, e 27 de julho de 2017.
- BRITO, A. S. *et al.* Variação diurno-noturna do potencial mátrico e gradiente de potencial total da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.38, p.128-134, 2014.
- BUCHHOLZ, F. L. Recent advances in superabsorbent polyacrylates. **Trend Polymer Science**, v.2, p.277-281, 1994.
- BUCHMANN, C.; BENTZ, J.; SCHAUMANN, G. E. Intrinsic and model polymer hydrogel-induced soil structural stability of a silty sand soil as affected by soil moisture dynamics. **Soil & Tillage Research**, v.154, p.22–33, 2015.
- BUSSCHERA, W. J.; BJORNEBERG, D. L.; SOJKAB, R.E. Field application of PAM as an amendment in deep-tilled US southeastern coastal plain soils. **Soil and Tillage Research**, v. p.215-220, 2009.
- BUTCHER *et al.* Soil Salinity: A Threat to Global Food Security. **Agronomy Journal**, v.108, p. 2189 – 2200, 2016.
- BUTCHER, K. *et al.* Soil Salinity: A Threat to Global Food Security. **Agronomy Journal**, v. 108, p. 2189 – 2200, 2016.
- CALIXTO, R. R. *et al.* A computer vision model development for size and weight estimation of yellow melon in the Brazilian northeast. **Scientia Horticulturae**, v. 256, p. 1-8, 2019.

CARMO FILHO, F.; OLIVEIRA, O. F. **Mossoró: um município do semi-árido nordestino, caracterização climática e aspecto florístico**. Mossoró: ESAM, 1995. 62p. Coleção Mossoroense, série B.

CASTRO, F. C.; ARAÚJO, J. F.; SANTOS, A. M. Susceptibility to soil salinization in the quilombola community of Cupira - Santa Maria da Boa Vista - Pernambuco – Brazil. **Catena**, v. 179, p. 175–183, 2019.

CAVALCANTE, A. L. **Indicadores econômicos do estado do Ceará 2017**. Fortaleza: IPCE, 2017.107p.

CHEN, S. *et al.* Hydrogel modified uptake of salt ions and calcium in *Populus euphratica* under saline conditions. **Trees**, p.175–183, v.18, 2004.

CHEVILLY, S. *et al.* Distinctive traits for drought and salt stress tolerance in melon (*Cucumis melo* L.). **Frontiers in Plant Science**, v. 2471, 2021.

CLAESSEN, M. E. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo**. 19. ed. Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA-CNPS. v. 26.

COMAS *et al.* Root traits contributing to plant productivity under drought. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, p. 1 – 16, 2013.

CORREIA, R. C. *et al.* **A região semiárida brasileira**. In: VOLTOLINI, T. V. (Ed.). Produção de caprinos e ovinos no Semiárido. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. p. 21-48.

COSTA, M. C. G. *et al.* Hydrogel composed of potassium acrylate, acrylamide, and mineral as soil conditioner under saline conditions. **Scientia Agrícola**, v. 79, 2021.

COSTA, N. D (ed.). **A cultura do melão**. Petrolina: Embrapa. 2017, 210p.

COSTA, N. D. O cultivo do melão. São Roque: HortiBrasil. 2005. Disponível em: <http://www.almanaquedocampo.com.br/imagens/files/O%20cultivo%20do%20mel%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 10 de jul. 2019.

COSTA, P. A. *et al.* Changes in soil pore network in response to twenty-three years of irrigation in a tropical semiarid pasture from northeast Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.137, p.23-32, 2014.

COWAN, I, R. Transport of Water in the Soil-Plant-Atmosphere System. **Journal of Applied Ecology**, v.2, p. 221-239, 1965.

CRISÓSTOMO, L.A. *et al.* **Adubação, irrigação, híbridos e práticas culturais para o meloeiro no Nordeste**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2002. 21p. Circular Técnica, 14.

DALIAKOPOULOS, I. N. *et al.* The threat of soil salinity: A European scale review. **Science of the Total Environment**, v.573, p.727–739, 2016.

DANIELSON, R. E.; SUTHERLAND, P. L. Porosity. In: KLUTE, A. (ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, 1986. pt. 1, p. 443-461, 1986.

DEBAEKE, P.; ABOUDRARE, A. Adaptation of crop management to water-limited environments. **European Journal of Agronomy**, v. 21, p.433-446, 2004.

DEMARTELAERE, F. *et al.* Utilização de polímero hidroabsorvente no meloeiro (*Cucumis melon* L.) Sob diferentes lâminas de irrigação. **Revista Caatinga**, v.22, p.5-8, 2009.

DIAS *et al.* Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. *In: Gheyi et al.* (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504p.

DIAS, N. D.; BLANCO, F. F. Efeitos dos sais no solo e na planta. *In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.* **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade. p. 129-140, 2010.

DIAS, N. S. *et al.* Nutrient solution salinity effect of greenhouse melon (*Cucumis melon* L. cv. Néctar). **Acta Agronómica**, v.67, p. 517-524, 2017.

DIAS, N. S. *et al.* Produção de melão rendilhado em sistema hidropônico com rejeito da dessalinização de água em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, 2010, p. 755-761.

DIEL, J.; VOGEL, H. J.; SCHLÜTER, S. Impact of wetting and drying cycles on soil structure dynamics. **Geoderma**, v. 345, p. 63 – 71, 2019.

DORRAJI, S. S.; GOLCHIN, A.; AHMADI, S. The Effects of Hydrophilic Polymer and Soil Salinity on Corn Growth in Sandy and Loamy Soils. **Clear Soil Air Water**, v.38, p. 584-591, 2010.

DOURADO NETO, D. *et al.* Programa para confecção da curva de retenção no solo utilizando o modelo de genuchten. **Engenharia Rural**, v.1, p.92-102, 1990.

EKEBAFE, L. O.; OGBEIFUN, D. E.; OKIEIMEN, F. E. Polymer Applications in Agriculture. **Biokemistri**, v.23, p.81- 89, 2011.

EL-SWAIFY, S.A. *et al.* Soil management for optimized productivity under rain fed conditions in the semi-arid tropics. *In: Stewart, B. A.* (ed.) **Advances in Soil Science**. New York: Springer-Verlag, 1985. p. 1–64.

ENEJI, A. E. *et al.* Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. **Journal of Cleaner Production**, v.52, p. 474-480, 2013.

EVELIN, H. *et al.*, 2019. Mitigation of Salinity Stress in Plants by Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis: Current Understanding and New Challenges. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, 2019.

FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. Efeitos dos sais sobre as plantas. *In: Gheyi, H. R.; Queiroz, J. E.; Medeiros, J. F. de.* (ed.). **Manejo e controle da salinidade na agricultura irrigada**. Campina Grande: UFPB/SBEA, 1997. p.125-131.

FAGERIA, N.K.; GHEYI, H.R.; MOREIRA, A. Nutrient bioavailability in salt affected soils. **Journal of Plant Nutrition**, v.34, p.945-962, 2011.

- FAHAD, S. *et al.* Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. **Frontiers in Plant Science**, v.8, p.1 – 16, 2017.
- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Italy: FAOSTAT database. 2016. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acesso em: 23 jul. 2019.
- FAO. **Status of The World's Soil Resources (SWSR) – Main Report**. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy, 2015.
- FAO. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk**. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome and Earth Scan, London, 2011. 308p.
- FAOSTAT. **Food and agriculture organization of the United Nations statistical databases**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 25 nov. 2019.
- FAROOQ, M. *et al.* Plant drought stress: effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v.29, p. 185–212, 2009.
- FAROOQI, Z. U. R. *et al.* Regulation of drought stress in plants. *In: Plant life under changing environment*. **Academic Press**, 2020. p. 77-104.
- FERNANDES, F. B. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v.46, 2015.
- FERREIRA, P. A.; J. B. L. SILVA, RUIZ, H. A. **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. Fortaleza: Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas, 2010.
- FOLEY, J. A. *et al.* Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337–342, 2011.
- FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M. Cultura do melão. *In: Fontes, P. C. R. Olericultura: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 2005. p 407-428.
- GALEŞ, D. C. *et al.* Effects of a hydrogel on the cambic chernozem soil's hydrophysic indicators and plant morphophysiological parameters. **Geoderma**, v.267, p.102–111, 2016.
- GHAREKHANI, H. G. *et al.* Superabsorbent hydrogel made of NaAlg-g-poly(AA-co-AAm) and rice husk ash: Synthesis, characterization, and swelling kinetic studies. **Carbohydrate Polymers**, v.168, p.1-13, 2017.
- GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. *In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JR., R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (org). Agricultura, sustentabilidade e o semiárido*. Viçosa: Folha de Viçosa/SBCS. v.1. 2000. p.329-346.
- GRATTAN, S. R.; GRIEVE, C. M. Salinity–mineral nutrient relations in horticultural crops. **Scientia Horticulturae**, v.78, p.127–157, 1999.
- GUILHERME, M. R. *et al.* Superabsorbent hydrogels based on polysaccharides for application in agriculture as soil conditioner and nutrient carrier: A review. **European Polymer Journal**, v.72, p.365-385, 2015.

GUO, J. *et al.* The choice of reference genes for assessing gene expression in sugarcane under salinity and drought stresses. **Scientific Reports**, v.4, 2014.

HAGE JUNIOR, E. Aspectos históricos sobre o desenvolvimento da ciência e tecnologia de polímeros. **Revista Polímeros: Ciência e Tecnologia**. São Carlos, v.8, p. 6-9, 1998.

HAN, Y. G. *et al.* Porosity change model for watered super absorbent polymer-treated soil. **Environmental Earth Sciences**, v. 61, p. 1197–1205, 2010.

HARMON, J. P.; DAIGH, A. L. M. Attempting to predict the plant- mediated trophic effects of soil salinity: A mechanistic approach to supplementing sufficient information. **Food Webs**, v.13, p. 67 – 79, 2017.

HASANUZZAMAN *et al.* Factors determining stomatal and non-stomatal (residual) transpiration and their contribution towards salinity tolerance in contrasting barley genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, v.153, p.10–20, 2018.

HAYAT, R.; ALI, S. Water absorption by synthetic polymer (aquasorb) and its effect on soil properties and tomato yield. **International Journal Of Agriculture & Biology**, v.6, p.998-1002, 2004.

HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. San Diego: Elsevier/Acad. Press, 2004. 494p.

HOU, X. *et al.* Superabsorbent polymers influence soil physical properties and increase potato tuber yield in a dry-farming region. **Journal of Soils and Sediments**, v.18, p. 816-826, 2018.

HUANG, J. *et al.* Global semi-arid climate change over last 60 years. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 3–4, p. 1131–1150, 2016.

HUSSAIN *et al.* Interactive effects of drought and heat stresses on morpho-physiological attributes, yield, nutrient uptake and oxidative status in maize hybrids. **Scientific Reports**, v.9, p.1- 12, 2019.

HUSSAIN, M. I. *et al.* Salt and drought stresses in safflower: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.36, p. 1 – 31, 2016.

HUSSAIN, M. I. *et al.* Salt and drought stresses in safflower: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.36, p.1 - 31, 2016.

HUSSAIN, M. I. *et al.* Salt and drought stresses in safflower: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.36, p.1-31, 2016.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agropecuária no Brasil**. IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/>. Acesso em: 17 nov. 2023.

IBRAHIM, E. A. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating sedes. **Journal of Plant Physiology**, v.192, p. 38-46, 2016.

IPEA. **Normas Voluntárias de Sustentabilidade (NVS) e implicações sobre as exportações de produtos do agronegócio – FRUTAS**, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/12123/1/Publicacao_preliminar_TD_NVS_implicacoes_exportacoes_frutas.pdf. Acesso em: 16 nov. 2023.

JANMOHAMMADI, G. R.; DEZFUL, P. M.; SHARIFZADEH, F. Seed invigoration techniques to improve germination and early growth of inbred line of maize under salinity and drought stress. **General and Applied Plant Physiology**, v.34, p. 215-226, 2008.

JARAMILO, M. F.; RESTREPO, I. Wastewater Reuse in Agriculture: A Review about Its Limitations and Benefits. **Sustainability**, v. 9, p.1-19, 2017.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.35, p. 1381–1396, 2013.

JOHNSON, M. G. *et al.* Advancing fine root research with minirhizotrons. **Environmental and Experimental Botany**, v.45, p.263-289, 2001.

KHAJEH-HOSSEINI, M.; POWELL, A. A.; BINGHAM, I. J. The interaction between salinity stress and seed vigour during germination of soyabean seeds. **Seed Science and Technology**, v.31, p. 715–725, 2003.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. *In*: KLUTE, A. (ed.) Methods of soil analysis. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, **Soil Science Society of America**, 1986. pt. 1, p. 635-662.

KRAMER, P. J.; BOYER, J.S. Water relations of plants and soils. **Academic Press**, San Diego, 1995.

KUMAR, R.; SOLANKEY, S. S.; SINGH, M. Breeding for drought tolerance in vegetables. **Vegetable Science**, v.39, p.1-15, 2012.

LACERDA, C. F. *et al.* Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 362 – 377.

LACERDA-JÚNIOR, G. V. *et al.* Land Use and Seasonal Effectson the Soil Microbiome of a Brazilian Dry Forest. **Frontiers in Microbiology**, v.10, p. 1–14, 2019.

LAFTAH, W. A.; HASHIM, S. H.; IBRAHIM, A. K. Polymer Hydrogels: A Review. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, v.50, p.1475–1486, 2011.

LAMAQUI, M. *et al.* Morphological, physiological, and biochemical responses to water stress in melon (*Cucumis melo*) subjected to regulated deficit irrigation (rdi) and Partial Rootzone Drying (PRD). **Journal of Crop Science and Biotechnology**, v.21, p. 407–416, 2018.

LÄUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant responses to saline and sodic conditions. *In*: TANJI, K.K. (ed), **Agricultural Salinity Assessment and Management**. American Society of Civil Engineers. 1990. p.113-137.

- LÄUCHLI, A.; GRATTAN, S. R. Plant Abiotic Stress: Salt. *In*: Neal Van Alfen (ed.). **Encyclopedia of Agriculture and Food Systems**, v.4, San Diego: Elsevier; 2014. p.313-329.
- LI, J. *et al.* Comprehensive comparison of different saline water irrigation strategies for tomato production: Soil properties, plant growth, fruit yield and fruit quality. **Agricultural Water Management**, v.213, p. 521-533, 2019.
- LI, A.; WANG, A.; CHEN, J. Studies on Poly(acrylic acid)/Attapulgit Superabsorbent Composites. II. Swelling Behaviors of Super absorbent Composites in Saline Solutions and Hydrophilic Solvent–Water Mixtures. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 94, p.1869–1876, 2004.
- LIMA, L. A. *et al.* Tolerância da berinjela à salinidade da água de irrigação. **Revista Agro@mbiente on-line**, v.9, p. 27 – 34, 2015.
- LIMA, R. E. M. *et al.* Biometrics, physiology, production, and quality of Cantaloupe melons grown with saline waters under semi-arid conditions. **Comunicata Scientiae**, v. 11, p. e3249, 2020.
- LOBATO, F. A. O. *et al.* Sazonalidade na qualidade da água de irrigação do Distrito Irrigado Baixo Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, v.39, p.167-172, 2008.
- LOPES, I.; MONTENEGRO, A. A. A.; LIMA, J. L. M. P. Performance of conservation techniques for semiarid environments: Field observations with caatinga, Mulch, and Cactus Forage Palma. **Water (Switzerland)**, v. 11, 2019.
- KOPECKÁ, R. *et al.* Abiotic stress in crop production. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 7, p. 6603, 2023.
- M'BARKI, N. *et al.* Cultivar dependent impact of soil amendment with water retaining polymer on olive (*Olea europaea* L.) under two water regimes. **Agricultural Water Management**, v.216, p. 70-75, 2019.
- MA, R. *et al.* Evaluation of soil aggregate microstructure and stability under wetting and drying cycles in two Ultisols using synchrotron-based X-ray micro-computed tomography. **Soil and Tillage Research**, v.149, p.1-11, 2015.
- MACHADO, R. M.; SERRALHEIRO, R. P. Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization. **Horticulturae**, v.30, p. 1- 13, 2017.
- MAHAJAN, S.; TUTEJA, N. Cold, salinity and drought stresses: An overview. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.444, p. 139-158, 2005.
- MALLICK, M. R. F.; MASUI, M. Origin, Distribution and Taxonomy of Melons. **Scientia Horticulturae**, v.28, p.251—261, 1986.
- MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: presente state and future projections. **Climatic Change**, v. 129, p. 103–115, 2015.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3.ed London: Elsevier, 2012. 643p.

- MASEKO, I. *et al.* Moisture stress on physiology and yield of some indigenous leafy vegetables under field condition. **South African Journal of Botany**, In Press, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.07.018>. Acesso em: 10 nov. 2023.
- MEDEIROS, J. F. D. *et al.* Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 248-255, 2007.
- MEDEIROS, J. F. *et al.* P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p. 469 – 472, 2003.
- MEDEIROS, J. F. **Qualidade da água de irrigação utilizada nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB, CE e avaliação da salinidade dos solos**. 1992. 173f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, PB.
- MEDRANO, H. *et al.* Improving water use efficiency of vineyards in semi-arid regions. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.35, p. 499–517, 2015.
- MEHTA, P. *et al.* Chlorophyll a fluorescence study revealing effects of high salt stress on Photosystem II in wheat leaves. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, p. 16-20, 2010.
- MELO, J. L. *et al.* Can a superabsorbent polymer synthesised a CaCO₃ based biofiller improve soil and plant available water and crop growth under salt stress? **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 69, n. 14, p. 3375-3387, 2023.
- MILANI, P. *et al.* Polymers and its applications in agriculture. **Polímeros**, v. 27, p.256-266, 2017.
- MILLER, G. W. Integrated concepts in water reuse: managing global water needs. **Desalination**, v. 187, 65–75, 2006.
- MIRANSARI, M. Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. **Plant Biology**, v.12, p. 563–569, 2010.
- MIRBEHBAHANI, G. S. *et al.* Differential Assessment of Growth, Physiological Parameter, and Leaf Responses to Salinity Stress in Inbred Melon Lines. **Gesunde Pflanzen**, p. 1-16, 2023.
- MISIEWICZ, J. *et al.* The characteristics of absorbency under load (AUL) for superabsorbent and soil mixtures. **Scientific Reports**, v. 9, n. 1, p. 18098, 2019.
- MOGHADAM, H. R. T.; ZAHEDI, H.; GHOOSHCHI, F. Oil quality of canola cultivars in response to water stress and super absorbent polymer application. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.579-586, 2011.
- MONTENEGRO, A. A. A. *et al.* Spatio Temporal Soil Moisture Dynamics and Runoff under Different Soil Cover Conditions in a Semiarid Representative Basin in Brazil. **Advances in Geosciences**, v. 48, p. 19–30, 2019.

- MORAIS, P. L. D. *et al.* Effects of nutrient solution salinity on the physiological performance of melon cultivated in coconut fiber. **Revista Caatinga**, v.31, p. 713-718, 2018.
- MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant Cell & Environment**, v. 25, p. 239–250, 2002.
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p. 651 – 681, 2008.
- NAMAZI, H. *et al.* Antibacterial oxidized starch/ZnO nanocomposite hydrogel: Synthesis and evaluation of its swelling behaviours in various pHs and salt solutions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.126, p. 578-584, 2019.
- NARJARY, B. *et al.* Water availability in different soils in relation to hydrogel application. **Geoderma**, v. 187 – 188, p. 94-101, 2012.
- NASCIMENTO, C. D. V. *et al.* Potential of superabsorbent hydrogels to improve agriculture under abiotic stresses. **Journal of Arid Environments**, [s. l.], v. 189. p. 104496, 2021.
- NASCIMENTO, C. W. A. *et al.* Influence of Silicon Fertilization on Nutrient Accumulation, Yield and Fruit Quality of Melon Grown in Northeastern Brazil. **Silicon**, p. 1-7, 2019.
- OLIVEIRA *et al.* Salt stress and K/Ca ratios of the nutrient solution in the production and quality of the melon. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, 2023.
- OLIVEIRA, C. E. S. *et al.* Seed priming improves the germination and growth rate of melon seedlings under saline stress. **Ciência Rural**, v.49, p. 1- 11, 2019.
- OLIVEIRA, F. A. *et al.* Desempenho de cultivares de rúcula sob soluções nutritivas com diferentes salinidades. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, p.170-178, 2013.
- PARIDA, A, K.; DAS, A. B. Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.60, p. 324-349, 2005.
- PARIHAR, P. *et al.* Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v.22, p. 4056–4075, 2015.
- PASCUAL, I. *et al.* Effect of water deficit on microbial characteristics in soil amended with sewage sludge or inorganic fertilizer under laboratory conditions, **Bioresource Technology**, v.98, p. 29–37, 2007.
- PAULA, J. A. de A., *et al.* Metodologia para determinação das necessidades nutricionais de melão e melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.9, p.911–916, 2011.
- PENMAN, H. L. The Physical Bases of irrigation Control. *In: Report 13° Congresso internacional de Horticultura*, 11 p., Royal Horticultural Society, London, 1953.
- PEREIRA, F. A. L. *et al.* Tolerance of melon cultivars to irrigation water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, p.846-851, 2017.

- PEREIRA, F. H. et al. Use of hydrogen peroxide in acclimatization of melon to salinity of irrigation water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 27, p. 51-56, 2022.
- PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, v.57, p. 175-206, 2002.
- PEREIRA, R. A.; NETO, J. D. Estudo exploratório de solos e sistematização de unidades geoambientais em bacia hidrográfica no Semiárido brasileiro. **Boletim de Geografia**, v. 32, p. 1-20, 2014.
- PIRES, L. F. *et al.* Micromorphological analysis to characterize structure modifications of soil samples submitted to wetting and drying cycles. **Catena**, v.72, 297 – 304, 2008.
- PRĂVĂLIE, R. *et al.* Recent changes in global dry lands: evidences from two major aridity data bases. **Catena**, v. 178, p. 209–231, 2019.
- QUEIROZ, M. V. A.; MASLÂNDIA, N. B.; FEITOSA, J. P. A. Composite Superabsorbent Hydrogel of Acrylic Copolymer and Eggshell: Effect of Biofiller Addition. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.28, p.204-2012, 2017.
- RAHMAN, M. T. *et al.* Wetting and drying cycles improving aggregation and associated C stabilization differently after straw or biochar incorporated into a Vertisol. **Soil and Tillage Research**, v.175, p. 28 - 36, 2018.
- RAJARAM, G.; ERBACH, D. C. Effect of wetting and drying on soil physical properties. **Journal of Terra mechanics**, v.36, p. 39 – 49 1999.
- RAJAUD, A.; NOBLET-DUCOUDRÉ, N. Tropical semi-arid regions expanding over temperate latitudes under climate change. **Climatic Change**, v.144, p.103 -719, 2017.
- REHIM, H. A. A. E.; HEGAZY, E. S. A.; MOHDY, H. L. A. E. Effect of various environmental conditions on the swelling property of PAAm/PAAcK superabsorbent hydrogel prepared by ionizing radiation. **Journal of Applied Polymer Science**, v.101, p.3955-3962, 2012.
- REHMAN, A. *et al.* Exploring drought tolerance in melon germplasm through physiochemical and photosynthetic traits. **Plant Growth Regulation**, p. 1-16, 2023.
- REICHERT, J. M. *et al.* Common bean in highly variable weather conditions, on sandy soils, and food security in a subtropical environment. **Food and Energy Security**, v.4, p. 219 – 237, 2015.
- REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. **Propriedades Físicas do Solo**. 2006. Disponível em: https://www.agro.ufg.br/up/68/o/An_lise_da_zona_n_o_saturada_do_solo__texto.pdf. Acesso em: 18 jul. 2019.
- REYNOLDS, J. F. *et al.* Global desertification: building a science for dry land development. **Science**, v. 316, p.847–851, 2007.
- RHOADES, J. D. *et al.* **Uso de águas salinas para produção agrícola**. Campina Grande: UFPB. Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 2000. 117p.

RIBEIRO, M. R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. *In*: GHEYI, H. R.; DIAS, N. DA S.; LACERDA, C. F. DE; GOMES FILHO, E. (Ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 9 – 15.

RICHARDS, L. A. 1954. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C., U.S. Salinity Laboratory. 160p.

RIETZ, D. N.; HAYNES, R. J. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. **Soil Biology and Biochemistry**, v.35, p. 845-854, 2003.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, v. 112, p. 72-91, 2015.

ROMERO, R. E.; FERREIRA, T. O. Morfologia e classificação dos solos predominantes no semiárido cearense. *In*: ANDRADE, E. M.; PEREIRA, O. J.; DANTAS, F. E. R. (org.). **Semiárido e o manejo dos recursos naturais**: uma proposta de uso adequado do capital natural. Fortaleza: Expressão gráfica e Editora, 2016. p. 45 – 54.

ROSTAMPOUR, M. F. *et al.* Physiological Response of Forage Sorghum to Polymer under Water Deficit Conditions. **Agronomy Journal**, v.105, p.951 – 959, 2013.

SAHA, A.; SEKHARAN, S.; MANNA, U. Superabsorbent hydrogel (SAH) as a soil amendment for drought management: A review. **Soil and Tillage Research**, [s. l.], v. 204, n. March, p. 104736, 2020.

SANTOS *et al.* Interação salinidade-fertilidade do solo. *In*: Gheyi *et al.* (ed.). **Manejo da salinidade na agricultura**: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504p.

SANTOS, H. T. *et al.* Cultivo de alface em solos com hidrogel utilizando irrigação automatizada. **Engenharia Agrícola**, v.35, p.852-862, 2015.

SANTOS, H.G. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Embrapa: Brasília, 2018.

SARABI, B. *et al.* Stomatal and non-stomatal limitations are responsible in down-regulation of photosynthesis in melon plants grown under the saline condition: Application of carbon isotope discrimination as a reliable proxy. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 141, p. 1-19, 2019.

SARABI, B.; GHASHGHAIE, J. Evaluating the physiological and biochemical responses of melon plants to NaCl salinity stress using supervised and unsupervised statistical analysis. **Plant Stress**, v. 4, p. 100067, 2022.

SARMENTO, J. D. A. *et al.* Qualidade e conservação da alface cultivada com rejeito da dessalinização. **Revista Caatinga**, v. 27, p. 90 – 97, 2014.

SATRIANI, A.; CATALANO, M.; SCALCIONE, E. The role of superabsorbent hydrogel in bean crop cultivation under deficit irrigation conditions: A case-study in Southern Italy. **Agricultural Water Management**, v.195, v.1, p. 114-119, 2018.

SAYED, H. EL.; KIRWOOD, R. C.; GRANAM, N. B. The Effects of a Hydrogel Polymer on

the Growth of Certain Horticultural Crops under Saline Conditions. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p. 891–899, 1991.

SINGH, A. Soil salinity: A global threat to sustainable development. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 1, p. 39-67, 2022.

SHARMA, S. P. *et al.* Root growth, yield, and fruit quality responses of reticulatus and inodorus melons (*Cucumis melo* L.) to deficit subsurface drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v.36, p.75-85, 2014.

SILVA JÚNIOR, L. G. A.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Composição química de águas do cristalino do Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, p.11-17, 1999.

SILVA, F. H. A. *et al.* Physiological aspects of melon (*Cucumis melo* L.) as a function of salinity. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 1298-1314, 2021.

SILVA, W. R. *et al.* Irrigation levels and use of hydro retainer polymer in greenhouse lettuce production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.23, p.406-412, 2019.

SNF. **AQUASORB™ Water retainers for Soils and Substrates**. Disponível em <https://www.snf.us/wp-content/uploads/2014/08/Agriculture-AQUASORB.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2019.

SOUSA, V. F. D. O. *et al.* Growth and gas changes of melon seedlings submitted to water salinity. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 90-96, 2019.

SOUZA, M.S. *et al.* Comparação de métodos de mensuração de área foliar para a cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 2, p. 241-245, 2012.

SZABOLCS, I. **Salt-affectedsoils**. Boca Raton: CRC Press, 1989. 274 p.

TADESCHI, A. *et al.* Melon crops (*Cucumis melo* L., cv. Tendral) grown in a mediterranean environment under saline-sodic conditions: Part I. Yield and quality. **Agricultural Water Management**, v.98, p.1329-1338, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6 ed. Porto Alegre: Artemed, 2017. 888p.

TAKAHASHI, M.; KOSAKA, I.; OHTA, S. Water Retention Characteristics of Superabsorbent Polymers (SAPs) Used as Soil Amendments. **Soil Systems**, v. 7, n. 2, p. 58, 2023.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3 ed. Brasília: Embrapa, 2017

TESTER, M.; DAVENPORT, R. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. **Annals of Botany**, p. 503-527, 2003.

TOKIUMI, R. Application of superabsorbent polymers to dry land. **Gels Handbook The Fundamentals**, v.3, p. 286-292, 2001.

- UNCCD. United Nations Convention to Combat Desertification. **Desertification: a visual synthesis**. Bresson: Zoi Environment Network, 2011. 52p.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, p. 892-897, 1980.
- VASCONCELOS, A. C. M. *et al.* Avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.849-858, 2003.
- VERMA, A. K.; SINGH, A. Harnessing the Potential of Superabsorbent Polymers for Alleviating Drought and Salt Stresses in Fruit Crops: a Brief Review. **Advances in Agricultural Technology & Plant Sciences**, v.1, p. 1 – 10, 2018.
- WANG, J. *et al.* Effect of soil moisture-based furrow irrigation scheduling on melon (*Cucumis melo* L.) yield and quality in an arid region of Northwest China. **Agricultural Water Management**, v.179, p. 167-176, 2017.
- WANG, W.; VINCOUR, B; ALTMAN, A. Plant response to drought, salinity, and extreme temperatures: Towards genetic engineering for stress tolerance. **Planta**, v. 218, p 1 -14, 2003.
- WOODHOUSE, J.; JOHNSON, M. S. Effect of superabsorbent polymers on survival and growth of crop seedlings. **Agricultural Water Management**, v.20, p.63-70, 1991.
- YADAV, S. P. *et al.* Impact of salt stress on growth, productivity and physicochemical properties of plants: A Review. **International Journal of Chemical Studies**, v.7, p.1793-1798, 2019.
- YANG *et al.* Effect of salinity on soil respiration in relation to dissolved organic carbon and microbial characteristics of a wetland in the Liaohe River estuary, Northeast China. **Science of The Total Environment**, v.642, p. 946-953, 2018.
- YANG, X. *et al.* The different influences of drought stress at the flowering stage on rice physiological traits, grain yield, and quality. **Scientific Reports**, v.9, p. 1 – 12, 2019.
- YIN, Y.; MA, D.; WU, S. Enlargement of the semi-arid region in China from 1961 to 2010. **Climate Dynamics**, v. 52, p. 509–521, 2019.
- ZAIN, G. *et al.* Superabsorbent hydrogel based on sulfonated-starch for improving water and saline absorbency. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.115, p.61-68, 2018.
- ZARBIN, A. J. G. Química de (Nano) Materiais. **Química Nova**, v.30, p.1469-1479, 2007.
- ZHAO, C. *et al.* Salt-Tolerant Superabsorbent Polymer with High Capacity of WaterNutrient Retention Derived from Sulfamic Acid-Modified Starch. **ACS Omega**, v.4, p.5923–5930, 2019.
- ZHAO, J. *et al.* Yield and water use of drought-tolerant maize hybrids in a semiarid environment. **Field Crops Research**, v. 216, p. 1- 9, 2018.
- ZHU, W. *et al.* Preparation and Applications of Salt-Resistant Superabsorbent Poly (Acrylic Acid-Acrylamide/Fly Ash) Composite. **Materials**, v.12, p.1-16, 2019.

ZHU, Y.; GONG, H. Beneficial effects of silicon on salt and drought tolerance in plants. **Agronomy for Sustainable Development**, v.34, p. 455–472, 2014.

ZOHURIAAN-MEHR, M. J.; KABIRI, K. Superabsorbent Polymer Materials: A Review. **Iranian Polymer Journal**, v.17, p. 451-477, 2008.

ZÖRB, C; GEILFUS, C. M.; DIETZ, K. J. Salinity and crop yield. **Plant Biology**, v.21, p. 31 – 38, 2019.

ANEXO A – TABELAS 3 E 4

Tabela 3 - Resumo da análise da variância (ANOVA) para taxa de fotossíntese (A), condutância estomática (GS), concentração interna de CO₂ (Ci), transpiração (E), eficiência do uso da água (EUA), eficiência instantânea de carboxilação (EiC), de plantas de plantas de meloeiro submetidas à três tipos de hidrogel e a salinidades da água de irrigação

FV	GL	A	gs	Ci	E	EUA	Eici
Trat	12	27,60**	0,0012**	2085,96**	1,60**	1,08**	0,0016**
Fatorial	11	29,94**	0,0013**	2180,87**	1,65**	1,12**	0,00017**
Hidro	2	41,32**	0,00055**	3446,30 **	1,67**	1,02**	0,0034**
Sal	3	41,83**	0,0013**	1578,43**	1,91**	1,39**	0,0026**
Hidroxsal	6	20,20**	0,0015**	2059,27**	1,52**	1,02**	0,00072**
Testxfat	1	1,92**	0,00031*	1042,39*	1,02*	0,67*	0,000016**
Res	52	0,25	0,000049	247,53	0,15	0,14	1,6E-07
CV (%)		27,07	25,86	15,78	25,64	16,6	32,3

FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; HIDRO: Hidrogel; Sal: salinidade da água de irrigação; Test: testemunha – sem aplicação do hidrogel; RES: resíduo; CV: coeficiente de variação. (ns) não significativo ($p > 0,05$), (*) significativo ($p < 0,05$) e (**) significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.

Tabela 4- Resumo da análise da variância (ANOVA) para diâmetro do caule (DC), área foliar (AF), massa seca total (MST) de plantas de meloeiro submetidas à três tipos de hidrogel e salinidades da água de irrigação

FV	GL	ALTURA	DC	AF	MST
Trat	12	59,67**	0,36ns	616160,43**	1,83**
Fatorial	11	24,18**	0,39ns	618459,46**	1,93**
Hidro	2	40,22**	0,097ns	936970,98**	5,28**
Sal	3	39,79**	0,86*	1102583,37**	2,92**
Hidroxsal	6	11,03*	0,24ns	270226,99**	0,32*
Testxfat	1	450,07**	0,013ns	590871,14**	2373*
Res	52	4,32	0,25	780871,14	0,11
CV (%)		23,02	12,27	25,45	19,69

FV: Fonte de variação; GL: graus de liberdade; HIDRO: Hidrogel; Sal: salinidade da água de irrigação; Test: testemunha – sem aplicação do hidrogel; RES: resíduo; CV: coeficiente de variação. (ns) não significativo ($p > 0,05$), (*) significativo ($p < 0,05$) e (**) significativo ($p < 0,01$), pelo teste F.