

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

ALEXANDRE NASCIMENTO DOS SANTOS

**ESTRATÉGIA DE MANEJO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA EM
CULTIVO HIDROPÔNICO DE TOMATE CEREJA EM SUBSTRATO**

RECIFE

2014

ALEXANDRE NASCIMENTO DOS SANTOS

**ESTRATÉGIA DE MANEJO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA EM
CULTIVO HIDROPÔNICO DE TOMATE CEREJA EM SUBSTRATO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola, área de concentração: Engenharia de água e solo.

Orientador:

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva

RECIFE

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e Santos, Alexandre Nascimento dos
Estratégia de manejo para utilização de água salobra em cultivo hidropônico de tomate cereja em substrato / Alexandre Nascimento dos Santos. – Recife, 2014.

94 f. : il.

Orientador: Ênio Farias de França e Silva.
Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Engenharia Agrícola, Recife, 2014.

Referências.

1. *Lycopersicon esculentum* Mill 2. Nutrição mineral
3. Salinidade 4. Semiárido I. Silva, Ênio Farias de França e,
orientador II. Título

CDD 631

ALEXANDRE NASCIMENTO DOS SANTOS

**ESTRATÉGIA DE MANEJO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA EM
CULTIVO HIDROPÔNICO DE TOMATE CEREJA EM SUBSTRATO**

Tese defendida e aprovada em XX de fevereiro de 2014 pela Banca Examinadora:

Orientador:

Ênio Farias de França e Silva, Prof. Dr
DEAGRI-UFRPE

Examinadores:

Gerônimo Ferreira da Silva, Dr
DEAGRI-UFRPE

Egídio Bezerra Neto, Prof. Dr
DQ-UFRPE

Tales Miler Soares, Dr
CCAAB-UFRB

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”*

Madre Teresa de Calcuta

Dedico

A minha esposa, Kamilla Dinah

A minha mãe, Maria José

A minha vó, Maria Olivia

Aos meus irmãos, Adjailton e Adriana

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural de Pernambuco – Departamento de Engenharia Agrícola pela primordial contribuição em minha formação profissional;

À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade dada para realização do Mestrado e Doutorado;

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, através do Instituto de Ciência e Tecnologia em Salinidade pelo apoio financeiro ao projeto;

Ao Professor Dr. Ênio Farias de França e Silva, pessoa que admiro e tenho muito respeito, agradeço pela orientação na condução deste e de outros trabalhos, pela importante contribuição em minha formação acadêmica e pela amizade construída ao longo do tempo;

A toda minha família em especial à minha mãe Maria José e minha vó Maria Olivia que se esforçaram e torceram a vida toda para que eu atingisse todos os meus objetivos;

À minha esposa Kamilla Dinah que tanto me ajudou na elaboração deste trabalho;

Ao Professor Dr. Egídio Bezerra neto pelas contribuições dadas desde a época da graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental;

Ao Professor Dr. Tales Miler Soares pela amizade e pelas contribuições em minha formação acadêmica;

Ao PNPd, Dr. Gerônimo Ferreira da Silva pelas preciosas contribuições e amizade;

Aos amigos da equipe “Família Ênio”: José Francisco (Zezito), Raquele Lira, Janice Barnabé, Daniel Dantas, Jucicléia Silva, Hammady Soares, Raphaela Revoredo Carlos Donato e Antunes pela contribuição na execução deste trabalho e pela amizade.

Aos colegas de turma: Gledson Luiz, Matheus Quintela, Adriana Figueiredo; Eduardo Santos, Igor Pinheiro, pela amizade e pelos bons momentos juntos;

As amigas Mara Suyane e Adriana Guedes pela contribuição na execução deste trabalho e pela amizade;

Ao Professor Mario Rolim, representando todos os professores e funcionários do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, agradeço o apoio e as contribuições na minha vida acadêmica;

À Empresa Sempre Verde, representada na pessoa do Adriano, pelo apoio ofertado à execução dessa pesquisa;

E a todos que ajudaram de forma direta ou indireta para que este trabalho fosse concretizado.

SUMÁRIO

	Pag.
RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
CAPÍTULO I: REVISÃO DE LITERATURA	14
1. Cultivo hidropônico em regiões semiáridas	14
2. O substrato em cultivos hidropônicos	17
3. Qualidade da água subterrânea em regiões semiáridas	18
4. A importância do pH e da condutividade elétrica da solução nutritiva em cultivos hidropônicos	19
5. Produção da cultura do tomate em condições salinas	22
6. Absorção dos macronutrientes na cultura do tomate em condições salinas	24
REFERÊNCIAS	27
CAPÍTULO II: ESTRATÉGIA PARA O USO DE ÁGUA SALOBRA NO RENDIMENTO DA CULTURA DO TOMATE CEREJA EM HIDROPONIA COM SUBSTRATO	34
RESUMO	34
ABSTRACT	35
1. INTRODUÇÃO	36
2. MATERIAL E MÉTODOS	38
2.1. Estrutura experimental	38
2.2. Aquisição e transplante das mudas	42
2.3. Preparo da água e da solução nutritiva	42
2.4. Tratamentos	45
2.5. Manejo da irrigação	46
2.6. Monitoramento climático	46
2.7. Determinação das variáveis de crescimento e rendimento do tomate cereja	48
2.8. Análise estatística	48
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.1. Consumo hídrico	49

3.2. Rendimento do tomate cereja	50
4. CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS	64
CAPÍTULO III: ESTRATÉGIA PARA O USO DE ÁGUA SALOBRA NO CULTIVO HIDROPÔNICO DO TOMATE CEREJA EM SUBSTRATO E OS ACÚMULOS DE NUTRIENTES NO TECIDO FOLIAR	67
RESUMO	67
ABSTRACT	68
1. INTRODUÇÃO	69
2. MATERIAL E MÉTODOS	71
2.1. Estrutura experimental	71
2.2. Aquisição e transplântio das mudas	72
2.3. Preparo da água e da solução nutritiva	73
2.4. Tratamentos	74
2.5. Manejo da irrigação	75
2.6. Monitoramento climático	75
2.7. Determinação das concentrações de nutrientes nos tecido foliar da cultura do tomate cereja	76
2.8. Análise estatística	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
3.1. Concentração dos macronutrientes no tecido foliar das plantas do tomate de cereja	77
4. CONCLUSÕES	89
REFERÊNCIAS	90
CONSIDERAÇÕES FINAIS	93

RESUMO

ESTRATÉGIA DE MANEJO PARA UTILIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA EM CULTIVO HIDROPÔNICO DE TOMATE CEREJA EM SUBSTRATO

A adoção de manejo adequado para o aproveitamento de água salobra em atividades produtivas poderia representar uma importante fonte de renda e de alimento aos moradores das regiões semiáridas, contribuindo para melhoria da qualidade de vida. Diante disto, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da utilização de água salobra no preparo da solução nutritiva (SN) sobre o rendimento e a concentração dos macronutrientes no tecido foliar do tomate cereja cultivado em hidropônia com substrato. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em vasos com pó de coco. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 6x2x2, sendo os fatores: seis níveis de salinidade da água; dois tempos de exposição à salinidade e dois turnos de rega. Foram utilizadas cinco repetições para à análise de rendimento e três para a concentração dos macronutrientes. A água utilizada no preparo da SN foi obtida simulando-se as características químicas da água salobra subterrânea coletada na região semiárida de Pernambuco. Os níveis de salinidade da água foram alcançados pela diluição ou concentração da água obtida. Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento autocompensante para a distribuição das SN. Para a produção de frutos do tomate cereja observou-se uma redução de 5,66% por dS m^{-1} em função da salinidade da SN, quando as plantas foram submetidas a um maior tempo de exposição à salinidade. Essa perda relativa foi menor quando o tempo de exposição foi menor. Para as concentrações dos macronutrientes, observou-se interações antagônicas, principalmente entre nitrogênio e o cloro e entre o potássio e o sódio, que foram mais evidentes quando as plantas estavam expostas por um maior tempo à salinidade. A salinidade da SN afetou o rendimento de frutos e as concentrações dos macronutrientes no tecido foliar do tomate cereja. O menor tempo de exposição das plantas à salinidade acarretou em menores perdas de produção e promoveu uma melhor condição para absorção e acúmulo dos macronutrientes nas folhas. A adoção de um maior intervalo entre as irrigações não afetou a produção de frutos e nem as concentrações dos macronutrientes no tecido foliar do tomate cereja.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum mill*, nutrição mineral, salinidade, semiárido

ABSTRACT

MANAGEMENT STRATEGY FOR USE OF BRACKISH WATER IN HYDROPONIC CHERRY TOMATO GROWN WITH SUBSTRATE

The adoption of appropriate management for the use of brackish water in productive activities could represent an important source of income and food for the residents of the semiarid regions, contributing to improved quality of life. Given this, the aim of this work was to evaluate the effects of the use of brackish water in the preparation of nutrient solution (NS) on the yield of fruit and in macronutrients accumulation in leaf tissue of hydroponics cherry tomato grown with substrate. The experiment was conducted in a greenhouse with hydroponic structure in pots containing coir dust. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme 6 x 2 x 2, with five replicates for the analysis of yield and three for the macronutrients accumulation. Were tested six levels of salinity; tow time exposure to salinity and two irrigation frequency. The water used in the preparation of SN was obtained simulating the chemical characteristics of underground brackish water collected in the semiarid region of Pernambuco. Levels of salinity were achieved by dilution or concentration of water obtained. Was used a self-compensating drip irrigation system to distribute the NS. For fruit production of tomato was observed a decrease of 5.66% per dS m^{-1} depending on the salinity of the SN, when plants were subjected to a longer exposure to salinity. This relative loss was less when the time of exposure to salinity was shorter. For macronutrients accumulation was observed antagonistic interactions, mainly between nitrogen and chlorine and between potassium and sodium, which were more evident when the plants were exposed for a longer time to salinity. The salinity of the SN affected the fruit yield and concentrations of macronutrients in leaf tissue of tomato. Shorter exposure of plants to salinity resulted in lower production losses and promoted a better condition for absorption and accumulation of macronutrients in the leaves. Adopting a longer interval between irrigations did not affect the production of fruits and neither the concentration of macronutrients in leaf tissue of cherry tomato cv. "Rita".

Keywords: *Lycopersicon esculentum mill*, mineral nutrition, salinity, semiarid

INTRODUÇÃO GERAL

No Semiárido do Brasil, a irregularidade e as baixas taxas de precipitação pluviométrica, aliadas às elevadas temperaturas, altos volumes de evaporação e a formação geológica, favorecem a situação de escassez de águas superficiais. Tais condições dificultam a implantação de sistemas de produção agrícola convencionais, pois os mesmos necessitam de relevantes quantidades de água, conseqüentemente, dificultam a geração de renda e o estabelecimento de condições que promovam uma melhor qualidade de vida aos habitantes dessa região.

Por outro lado, em grande parte do Semiárido nordestino brasileiro existem reservas subterrâneas de água que podem ser exploradas e com isso melhorar a relação de convivência com a seca. Porém, a maior parte dessa área é coberta por rochas de embasamento cristalino, e os poços tubulares perfurados para captação de água subterrânea desse tipo de embasamento, geralmente, possuem baixas vazões e águas com elevados teores de sais dissolvidos (água salobras), restringindo o seu potencial de uso para o consumo humano e para a produção agrícola (Cabral & Santos, 2007).

Uma alternativa encontrada para favorecer a utilização das águas salobras para o consumo humano é a sua dessalinização por osmose reversa (ou inversa). O uso dessa técnica tem sido muito explorado, principalmente para fornecer água potável às comunidades difusas, tornando-se um importante instrumento para a melhoria da qualidade de vida das pessoas residentes em localidade com tais condições (Pinheiro & Callado, 2004).

Entretanto, o processo de dessalinização produz, tanto uma água de boa qualidade como, em mesma proporção, outro tipo de água denominada de rejeito, também conhecida por concentrado ou salmoura, que possui concentração de sais aproximadamente dobrada em relação à água originalmente captada do poço, o que torna seu uso muito mais restritivo (Pinheiro & Callado, 2004).

O uso de água subterrânea salobra ou do rejeito da dessalinização para a agricultura, em condições não adequadas, pode oferecer riscos ao meio ambiente, promovendo a salinização dos solos e, como consequência, pode proporcionar prejuízos à própria produção agrícola (Freire et al., 2003). As plantas submetidas às condições salinas encaram problemas de natureza osmótica, o que dificulta a absorção de água e de nutrientes. Dessa forma, podem ocorrer acúmulos de íons específicos em seus

tecidos vegetais, causando problemas de toxicidade ou distúrbios nutricionais das plantas, refletindo diretamente no seu metabolismo e desenvolvimento (Taiz & Zeiger, 2009).

O manejo adequado pode promover o aproveitamento de águas salobras em atividades agrícola, podendo criar oportunidades de incrementar a renda dos produtores, bem como aumentar a oferta de alimento aos moradores de comunidades localizadas distantes dos centros urbanos, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida dessas pessoas.

Nesse sentido, alguns pesquisadores têm desenvolvido estudos que indicam a hidroponia com uma alternativa para a produção de plantas, mesmo com a utilização de águas salobras (Santos et al., 2011; Cosme et al., 2011; Santos et al., 2010; Soares et al., 2010). Nos cultivos hidropônicos a maior disponibilidade de água e de nutrientes minimizam os efeitos severos da salinidade sobre as plantas em comparação com o cultivo em solo, sendo a composição química da água utilizada no preparo da solução nutritiva o fator determinante para o sucesso dos cultivos hidropônicos (Santos et al., 2010).

O conhecimento da composição química da água subterrânea a ser utilizada no preparo da solução nutritiva é extremamente importante e a concentração de sais presente na água é um dos principais fatores que torna seu uso restritivo ao desenvolvimento das plantas. A concentração de sais pode ser determinada indiretamente pela condutividade elétrica do meio aquoso, sendo esse o parâmetro mais usado como indicador de salinidade. A viabilidade de exploração e o manejo a ser adotado para o uso de uma determinada água tem influência direta da magnitude deste parâmetro (Andrade Júnior et al., 2006).

Quando se utiliza água subterrânea salobra (água com elevada concentração de sais) no preparo de solução nutritiva a composição química dessa água, pode promover mudanças de pH, redução do potencial osmótico da solução e promover interações antagônicas entre íons.

Em relação ao pH, essas águas possuem tendência a valores alcalinos, deixando alguns íons indisponíveis às plantas e comprometendo a estrutura das membranas das células. A redução do potencial osmótico é provocada pelo aumento da concentração de sais na solução, dificultando o processo de absorção de água e nutrientes (Taiz & Zeiger, 2009). A concentração dos sais da água usada no preparo de soluções nutritivas também pode promover precipitação de íons quando esta atinge limites de solubilidade, alterando as relações existentes entre os íons da solução. Essas

alterações podem, ainda, promover interações antagônicas entre íons, isso quando um está em excesso em relação ao outro, favorecendo a absorção de um em detrimento da absorção de outro.

Em sistemas hidropônicos de cultivo o tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) é uma das hortaliças mais cultivadas e pode ser plantada em todas as regiões brasileiras. Dentre os tipos comerciais de tomate, encontra-se o tomate cereja como um grupo de cultivar para mesa. A maioria das cultivares é híbrida e de crescimento indeterminado.

Em regiões de clima quente o tomate cereja pode ser cultivado durante todo o ano. O ciclo de cultivo varia com a variedade e com o manejo adotado, podendo ir de 120 a 180 dias, desde que a planta não seja atingida por doenças e que haja permanência de temperaturas adequadas.

Entre os fatores que influenciam na produção e desenvolvimento do tomateiro pode-se citar a temperatura, o suprimento de água, a disponibilidade de nutrientes e a salinidade do meio de cultivo. Em relação à salinidade a cultura do tomate é classificada, entre os pesquisadores, como sendo moderadamente sensível, porém, como para todas as plantas, a tolerância à salinidade, depende de um limiar de concentração salina, bem como do estágio de desenvolvimento da planta, do tempo de exposição aos sais e do manejo adotado como estratégia para amenizar os efeitos da salinidade (Maas & Hoffman, 1977).

A duração do ciclo de cultivo também exerce influência na salinização do meio de cultivo quando se utiliza água salobra, tendo em vista que quanto maior for o período entre o transplante e a colheita final maior será o número de eventos de irrigação e maior será o acúmulo de sais nesse período.

Muitas dúvidas podem ser citadas em relação à viabilidade técnica de se cultivar o tomate cereja com uso de águas salobras em sistemas hidropônicos. Dessa forma, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos da utilização de água salobra no preparo da solução nutritiva sobre o rendimento de frutos e sobre a concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio e cloro no tecido foliar do tomate cereja cultivada em sistema hidropônico com substrato.

CAPÍTULO I

REVISÃO DE LITERATURA

1. Cultivo hidropônico em regiões semiáridas

A expansão do cultivo hidropônico tem sido uma realidade brasileira nos últimos anos e vários pesquisadores têm somados esforços para gerar informações que colaborem com a difusão dessa técnica de cultivo também na Região Semiárida do Nordeste brasileiro, sendo o principal foco destes estudos a relação da produção de plantas em sistemas hidropônicos com o uso de água salobra, tipo de água bastante comum nos aquíferos dessa região (Soares et al., 2013; Hossain e Nonami, 2012; Santos et al., 2011; Gomes et al., 2011). Esses estudos estão utilizando diversas técnicas hidropônicas para cultivar plantas utilizando águas salobras no preparo e na manutenção do volume evapotranspirado da solução nutritiva, bem como estratégias de uso dessas águas no ciclo de cultivo.

A falta de informações sobre esse sistema de cultivo em relação ao uso de água de qualidade inferior e de materiais e estruturas que se adaptem às condições climáticas das regiões semiáridas são alguns dos fatores que dificultam a expansão ou até mesmo o uso desse tipo de cultivo no Nordeste brasileiro.

A hidroponia possui características que favorecem sua indicação para regiões semiáridas, tendo em vista as vantagens inerentes a esse sistema de cultivo em comparação ao cultivo em solo. Rodrigues (2002) cita como vantagens da hidroponia a alta produtividade, o uso eficiente da água e fertilizantes, antecipação da colheita, redução das operações de tratos culturais ao longo do ciclo da cultura, redução no uso de defensivos agrícolas e produção em pequenas áreas.

Outros autores têm realizados pesquisas e constatado uma maior tolerância à salinidade pelas plantas, acrescentando a esse sistema de cultivo mais essa vantagem, o que pode potencializar o aproveitamento das escassas reservas hídricas das regiões semiáridas em que as águas possuem concentrações de sais que restringe a irrigação no cultivo em solo (Santos et al., 2010; Soares et al., 2010).

Em condições de salinidade, a água torna-se menos disponível às plantas, devido à presença de sais, que promove uma redução no potencial osmótico. Essa redução na energia livre da água em condições de solo tem seu efeito majorado, pois, o

potencial osmótico se soma a outros componentes do potencial total da água, como o potencial mátrico e o potencial gravitacional (Libarbi, 2005). Nos sistemas hidropônicos de cultivo esse fato pode ser amenizado em função da alta disponibilidade de água e nutrientes, garantidas pela alta frequência dos eventos de irrigação com solução nutritiva balanceada (Genúncio et al., 2010).

As principais desvantagens dos cultivos hidropônicos são os altos investimentos iniciais e a necessidade de treinamento especializado. Esses pontos dificultam a adoção da hidroponia como prática produtiva, principalmente para os pequenos produtores rurais (Rodrigues, 2002).

Em Pernambuco, a viabilidade técnica do cultivo hidropônico com o uso de água salobra confirmada para várias culturas pelos estudos desenvolvidos por pesquisadores da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), foi reconhecida e certificada pela Fundação Banco do Brasil (FBB) através do *Prêmio Fundação Banco do Brasil de Tecnologia Social*, concedida ao projeto *Hidroponia com reuso de águas residuárias de dessalinizadores no semiárido*, possibilitando a inserção desta técnica ao banco de tecnologia social aplicada ao semiárido brasileiro da referida fundação. Este fato pode favorecer o acesso dos produtores rurais, inclusive da agricultura familiar, a financiamentos e custeios deste tipo de investimento (UFRPE, 2013; FBB, 2013).

No sistema hidropônico de cultivo diferentes técnicas são utilizadas quanto à forma de aplicação de solução nutritiva, podendo estas técnicas influenciar na disponibilidade de água e nutrientes às plantas.

Dentre as técnicas hidropônicas o NFT (nutrient film technique) já é bastante consolidado entre os hidroponistas do Brasil (Mathias, 2008). O NFT é classificado entre as técnicas de cultivo hidropônico como um sistema fechado, em que o meio de cultivo é uma solução nutritiva balanceada que circula pelo sistema em alta frequência (geralmente os intervalos de irrigação são de 15 em 15 minutos ou 30 em 30 minutos), indo do reservatório de solução às calhas de cultivo e das calhas de cultivo ao reservatório de forma intermitente (Rodrigues, 2002).

Outra técnica também classificada como um sistema fechado é o Floating, também conhecida como DFT (deep flow technique), na qual uma lâmina profunda (5 a 20 cm) de solução nutritiva é formada em um reservatório onde as plantas são suportadas por um sistema flutuante e as raízes ficam submersas continuamente nessa solução. Frequentemente essa solução é renovada ou aerada ao longo do cultivo (Rodrigues, 2002).

Finalmente pode-se citar o cultivo hidropônico com substrato. Nessa técnica as plantas são cultivadas em vasos ou sacolas contendo substrato e recebem a solução nutritiva via irrigação em menor frequência quando comparado às outras técnicas de cultivo hidropônico, citadas anteriormente. Isso ocorre devido ao fato de que os substratos possuem elevadas capacidades de retenção de água, podendo, dessa forma, diminuir custos com energia elétrica, em função da diminuição do uso do sistema de bombeamento da solução nutritiva (Rodrigues, 2002).

Andriolo et al. (2004) comparando o cultivo hidropônico NFT com o cultivo em substrato observaram que o emprego dos substratos permitiu uma redução em torno de 92,4% no tempo de funcionamento da motobomba e simplificou tanto o manejo da fertirrigação como os controles da solução nutritiva.

Outra vantagem do cultivo hidropônico com substrato é que as plantas podem ser cultivadas em vasos individuais diminuindo as chances de proliferação de agentes patogênicos em casos de incidência de doenças, diferente dos sistemas NFT e DFT, onde várias plantas compartilham o mesmo espaço e solução nutritiva (Rodrigues, 2002).

Os substratos também possuem capacidade de troca de cátions (CTC), sendo essa maior em substratos orgânicos. A CTC é a capacidade de reter cátions nas cargas negativas das partículas do substrato deixando-o disponíveis à planta por mais tempo, já que não são facilmente perdidos por lixiviação, devido ao fato de estarem adsorvidos nas partículas do substrato. Isso também pode lhe conferir uma maior resistência as mudanças de pH (poder tampão) (Rodrigues, 2002).

A estrutura utilizada no cultivo hidropônico em substrato também faz parte das vantagens dessa técnica, permitindo que a planta seja cultivada individualmente e com o emprego de menos equipamentos e materiais em sua implantação, comparado com as outras técnicas hidropônicas, sendo necessários apenas vasos com substrato, sistema de irrigação e sistema de armazenamento e bombeamento. Já para a hidroponia NFT são necessárias calhas de suporte para as plantas (várias plantas na mesma calha), sistema de irrigação (injeção de solução), sistema de recolhimento da solução (retorno ao reservatório que deve estar em menor cota), bancada de apoio para as calhas, sistema de reservatório e bombeamento (Soares et al. 2009), entre outros, o que demanda muito espaço e recursos financeiros. Em caso de experimentação agrícola, isso pode dificultar a execução de estudos em cultivos hidropônicos com grande número de tratamentos.

2. O substrato em cultivos hidropônicos

A utilização de substratos como meio de suporte físico para as plantas em cultivos hidropônicos para armazenar água e nutrientes (solução nutritiva) para as raízes entre os eventos de irrigação, tem se difundido bastante entre os produtores hidropônicos (Miranda et al., 2011; Acuña et al., 2013).

Os substratos devem apresentar como principais características a alta capacidade de retenção de água facilmente disponível para as raízes; alta porosidade para que haja uma boa aeração das raízes; estrutura estável e decomposição lenta para que sua vida útil seja a maior possível; baixa salinidade; ausência de fungos, bactérias e nematoides; disponibilidade no mercado local e baixo custo (Rodrigues, 2002; Miranda et al., 2011).

Existem vários tipos de substratos que podem ser utilizados para cultivos hidropônicos, tais como: pó de coco, casca de arroz parcialmente carbonizada, areia, lã de rocha, vermiculita e outros materiais, mesclados ou puros (Furlani et al., 1999; Rodrigues, 2002; Miranda et al., 2011).

Para a região Nordeste do Brasil, o pó de coco é um dos mais recomendados para o cultivo do tomateiro, pois apresentam boas características físicas, disponibilidade no mercado local e boa relação custo/benefício (Miranda et al., 2011).

Além disso, devido a sua lenta decomposição, ainda permite sua reutilização em ciclos consecutivos. A reutilização de substrato em hidroponia por mais de um cultivo caracteriza-se como uma tentativa de reduzir o custo de produção. Além disso, a questão ambiental deve ser considerada, uma vez que a reutilização do substrato reduz o volume descartado após o seu uso (Fernandes et al., 2007).

Por outro lado, as condições de cultivo devem ser consideradas quando se trata de reutilização do substrato. Partindo de um ponto padrão em que a água disponível para o preparo da solução nutritiva é de boa qualidade esse substrato provavelmente terá maior vida útil. Já nas situações em que a água utilizada no preparo da solução nutritiva possui alta concentração de sais pode ocorrer tendências comportamentais para um aumento progressivo da salinidade do substrato, principalmente nos de alta CTC, isso em função da condutividade elétrica da solução aplicada nos consecutivos eventos de irrigação durante o ciclo de cultivo.

Cosme et al., (2011) conduziram um experimento para avaliar a produção do tomate em cultivo hidropônico com pó de coco, utilizando diluições do rejeito da

dessalinização resultando em três níveis de salinidade da solução nutritiva mais a testemunha (solução padrão), sendo estas aplicada diariamente até a capacidade máxima de retenção de água do substrato (sem lixiviação), perceberam que houve um aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do substrato em função da aplicação da solução salinizada durante o ciclo de cultivo. Os autores relataram variações dos valores das condutividades elétricas no extrato de saturação do substrato que, no tratamento mais salino, iniciaram com valor de condutividade elétrica de $13,6 \text{ dS m}^{-1}$ e chegaram a atingir $33,7 \text{ dS m}^{-1}$.

A cultura do tomate possui um ciclo de cultivo relativamente alto, com pelo menos 120 dias. Em casos em que se utiliza água com altas concentrações de sais e sem o manejo adequado, o acúmulo desses sais terá estreita relação com o tempo e o número de eventos de irrigação. Este fato pode inviabilizar a reutilização do substrato de pó de coco para cultivos consecutivos de tomate.

3. Qualidade da água subterrânea em regiões semiáridas

O conhecimento da qualidade da água subterrânea é um fator extremamente necessário quando se pensa em utilizá-la. Na produção agrícola, a concentração e composição de sais dessas águas é o principal fator que torna seu uso restritivo (Kahlaoui et al., 2011; Freire et al., 2010), sendo o conhecimento de sua magnitude em termos de condutividade elétrica (dS m^{-1}) o primeiro passo a ser dado no sentido de planejar sua melhor forma de exploração e manejo (Andrade Júnior et al., 2006; Ayers e Westcot, 1999).

A composição química das águas subterrâneas das regiões semiáridas, num contexto geral, tem como principais íons presentes os ânions CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- e SO_4^{2-} e os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+ , sendo estes os principais responsáveis pela salinidade dessas águas (Oliveira et al., 2010; Costa et al., 2006; Silva Júnior, Gheyi e Medeiros, 1999).

A formação geológica da região tem relação direta com aspectos químicos da água subterrânea (Oliveira et al., 2010), dessa forma, pode-se encontrar água com baixíssimas concentrações iônicas até águas extremamente salinas, ficando a qualidade da água subterrânea variável no espaço. Costa et al. (2006), estudando os aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, observaram que a condutividade elétrica, num contexto geral (espacial), variou de $0,03$ a $24,32 \text{ dS m}^{-1}$, com um valor médio de $4,36 \text{ dS m}^{-1}$ e um desvio padrão de $4,49$.

Santos (2009), analisando a composição química das águas de cinco diferentes poços tubulares para uso em cultivo hidropônico, exploradas de aquífero cristalino distribuídos no município de Ibimirim, região semiárida do Estado de Pernambuco também registrou variações da condutividade elétrica dessas águas, com valor de 1,70 e 11,22 dS m⁻¹ para a menor e a maior leitura de condutividade elétrica entre os poços analisados, respectivamente, sendo o valor médio de 5,96 dS m⁻¹. O autor também verificou variações no pH dessas águas.

Os valores de pH das águas subterrâneas estão relacionados com as concentrações dos ânions CO₃²⁻ e HCO₃⁻ (Cruz e Peixoto, 1991), tendo em vista que a hidrólise de sais compostos desses ânions geram ácidos fracos e deixam OH⁻ livre em solução o que eleva seu pH para valores acima de sete (Kotz et al., 2010).

A utilização dessas águas, dependendo de sua concentração, pode oferecer riscos severos às atividades agrícolas, gerando problemas de salinidade e sodicidade dos solos, toxicidade de íons específicos às plantas e alterações no equilíbrio iônico de soluções nutritivas e no equilíbrio nutricional das plantas, promovendo perdas importantes de qualidade e produtividade das culturas exploradas (Santos et al., 2010).

4. A importância do pH e da condutividade elétrica da solução nutritiva em cultivos hidropônicos

A absorção dos íons pelas plantas é um processo dinâmico e seletivo, e dentre outros fatores, depende de seu contato com as raízes, de sua concentração, da forma iônica a qual o íon se encontra no meio, da proporção relativa entre os nutrientes e de condições ambientais, especialmente o pH e a condutividade elétrica próximo a zona radicular (Martinez; Braccini; Braccini, 1997; Malavolta, 2006).

As plantas são cultivadas convencionalmente em solo, porém, devido a dificuldades no controle de alguns dos fatores acima citados, e conseqüentemente o baixo rendimento das culturas, tem se difundido o cultivo de plantas com a utilização de solução nutritiva no chamado cultivo hidropônico (Martinez; Braccini; Braccini, 1997; Furlani et al., 1999; Mathias, 2008; Rodrigues, 2002).

Nos cultivos hidropônicos as plantas recebem frequentemente uma solução nutritiva equilibrada com ajustes periódicos da concentração dos sais fertilizantes e do pH (Furlani et al., 1999). O sistema radicular tem água e todos os nutrientes a sua disposição no momento em que as plantas mais necessitam e as condições mais

adequadas para a sua absorção, o que favorece e muito o desenvolvimento contínuo da planta e a obtenção de altas médias de produtividade (Rodrigues, 2002).

Segundo Epstein e Bloom (2006), o pH influencia o desenvolvimento das plantas de duas formas: 1) o pH de uma solução (do solo ou nutritiva) influi no equilíbrio oxidação-redução e na solubilidade de vários constituintes, bem como na forma iônica de vários elementos; 2) o pH do meio influi nas raízes das plantas, especialmente na integridade das membranas transportadoras de íons das células epidérmicas e corticais da raiz.

A maioria das espécies de plantas se desenvolve bem em valores de pH entre 5 e 7 (Epstein e Bloom, 2006) e as soluções nutritivas recomendadas para o cultivo de plantas apresentam valores de pH dentro desta faixa (Martinez; Braccini; Braccini, 1997; Furlani et al., 1999). Porém, pode ocorrer preferência de intervalo dessa faixa de pH em função das espécies de planta cultivadas. Segundo Resh (1993) o pH ótimo para o cultivo do tomate encontra-se na faixa entre 6,3 e 6,5.

Em pH inferior a 4,0 a elevada concentração hidrogeniônica afeta a integridade e a permeabilidade das membranas celulares, podendo haver perda de nutrientes já absorvidos e o crescimento das raízes é retardado e aumenta a exigência em cálcio para um crescimento satisfatório (Jones, 2005). Em pH superior a 6,5 podem ocorrer precipitações de elementos como cálcio, fósforo, ferro e manganês, que se tornam indisponíveis às plantas, outros micronutrientes também poderão ser precipitados na solução se o pH estiver acima deste valor (exceto molibdênio), e poderá ocorrer absorção excessiva de micronutrientes pela planta se o pH da solução estiver abaixo de 5,5 (Jones, 2005).

O pH tem forte influência na absorção de fosfato. De modo geral, em uma solução nutritiva em que dois íons H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} sejam colocados em quantidades iguais em valores baixos de pH (de 4,0 a 5,6) H_2PO_4^- é a forma iônica absorvida com predominância pelas raízes, enquanto que, em valores de pH acima de 5,6 predomina a absorção de HPO_4^{2-} . Os íons monovalentes geralmente são absorvidos mais rapidamente do que os trivalentes (Schwarz, 1995). Várias culturas podem ter dificuldades em se desenvolver em pH alto em razão da taxa limitada de absorção de fósforo.

Um fator que também merece destaque quando se fala em cultivo utilizando solução nutritiva é a qualidade da água utilizada em seu preparo. Algumas águas podem conter íons em concentrações capazes de desequilibrar as relações de ânions e cátions

estabelecidas nas formulações de solução nutritiva e promover, por exemplo, modificações de pH, precipitações de nutrientes e o aumento da condutividade elétrica.

Santos (2009), estudando duas fontes de salinidade da água usada no preparo da solução nutritiva, sendo uma salinizada com a aplicação de NaCl e outra oriunda de poço tubular de uma região semiárida, em diferentes níveis de salinidade no cultivo hidropônico de alface em sistema NFT (Fluxo laminar de nutrientes), observou que houve deposição de precipitados no fundo do reservatório de solução e no interior das tubulações e calhas do sistema NFT quando a água utilizada no preparo da solução era de poço tubular, e que isso não ocorreu nas soluções utilizando água salinizada com a aplicação de NaCl.

Em outro estudo, utilizando a mesma água oriunda de poço tubular no preparo da solução nutritiva no cultivo hidropônico de alface em sistema NFT, Santos et al. (2010) observaram que mesmo realizando ajustes periódicos de pH para valores entre 5 e 7, foram registradas variações que se caracterizaram com elevação do pH da solução para valores acima de 8. Para ambos os trabalhos os autores explicam que como as águas utilizadas no preparo da solução e para a reposição do volume evapotranspirado também foram salobras e fornecidas sem ajuste prévio de pH, a solução nutritiva sempre retornava a uma faixa mais alcalina. Isso pode ter ocorrido devido a presença de CO_3^{2-} ($52,85 \text{ mg L}^{-1}$) e HCO_3^- ($361,24 \text{ mg L}^{-1}$) nas águas dos estudos acima citados, explicando os elevados valores de pH e a dificuldade de mantê-lo dentro da faixa ideal. Segundo Resh (2001), a presença desses ânions na água implica em tamponamento da solução preparada com tendência à manutenção de valores elevados de pH.

Sabe-se que na hidrólise de sais (NaCl, por exemplo), cujos íons são capazes de gerar ácido e base fortes, a solução permanece em equilíbrio e se tem pouco efeito sobre mudanças no pH. Porém, quando essa reação é capaz de produzir uma base forte e um ácido fraco (NaHCO_3^- , por exemplo), há um desequilíbrio na solução e, nesse caso, a mesma tende a ser alcalina (Kotz et al., 2010).

A condutividade elétrica também é influenciada em função da composição química da solução nutritiva e pela composição química da água utilizada no seu preparo, ela indica de maneira geral e de forma indireta a concentração de sais de um meio aquoso responsáveis pelo potencial osmótico da solução e por sua vez influencia a extração e o acúmulo de nutrientes pelas plantas (Cosme et al. 2011; Santos et al. 2010).

A condutividade elétrica é um importante parâmetro de monitoramento da solução nutritiva durante um ciclo de cultivo de plantas, servindo de critério para

tomada de decisão na hora da reposição nutriente ou na substituição total da solução (Gondim et al., 2010; Braccini et al., 1999; Furlani et al., 1999).

Um fenômeno que pode ocorrer em função de uma elevada concentração de sais de uma solução é que alguns sais podem alcançar seu limite de solubilidade e precipitar, retirando da solução determinados cátions (principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} e Na^+), alterando as proporções dos íons estabelecidas inicialmente nas formulações de solução nutritiva.

Segundo Gheyi et al. (1991), o excesso de um íon pode provocar deficiência de outro, devido à precipitação ou inibição (por exemplo excesso de sulfato, carbonato e bicarbonato podem precipitar o cálcio), afetando o crescimento da planta pela reduzida disponibilidade do elemento precipitado e não pelo excesso do íon considerado.

Steiner (1984) afirmou que o produto das quantidades dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} , em mg/L, não deve exceder o valor de 60, pois, nesse caso, haverá sua precipitação como CaSO_4 , independente do pH. Da mesma forma, o produto Ca^{2+} por HPO_4^{2-} , em mg/L, não deverá exceder 2,2 para evitar a sua precipitação como CaHPO_4 .

Em resumo, os efeitos da composição química da água quando utilizada no preparo de solução nutritiva pode promover mudanças de pH, com tendência a valores alcalinos, deixando alguns íons indisponíveis às plantas e a estrutura da membrana das células também podem ser comprometidas. A condutividade elétrica da solução será maior quanto maior for a concentração de sais na água utilizada no preparo da solução e o aumento da condutividade elétrica reduzirá o potencial osmótico da solução. A concentração dos sais também pode promover precipitação de íons, alterando as relações existentes entre os íons da solução nutritiva, sendo essas alterações mais acentuada quando um íon encontrasse em excesso em relação ao outro, promovendo interações antagônicas.

5. Produção da cultura do tomate em condições salinas

O tomate (*Lycopersicon esculentum mill*) é uma das hortaliças bastante cultivada e possui uma larga adaptação climática podendo ser cultivada em qualquer região do Brasil. A grande variabilidade existente no gênero tem possibilitado o desenvolvimento de cultivares para atender as mais diversas demandas do mercado de tomate para processamento e para consumo in natura. Os fatores que influenciam na produção e desenvolvimento são principalmente a temperatura, a umidade do solo, a

umidade atmosférica, o fotoperíodo e em casos mais severos a salinidade do solo (Silva e Giordano, 2006).

Os efeitos do sal nas plantas podem causar problemas de natureza osmótica, restringindo a absorção de água e de nutrientes; de toxicidade, com acúmulo de íons específicos ou por distúrbios na nutrição das plantas, refletindo diretamente no seu metabolismo e desenvolvimento (Taiz & Zeiger, 2009).

Freire et al. (2010) avaliando os efeitos da salinidade no crescimento na produção de duas cultivares de tomate rasteiro (cv. Santa Adélia e cv. Meia Estaca) irrigado com água apresentando condutividades elétricas de 0,4; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0 dS m⁻¹ observaram que a salinidade reduziu a massa seca da parte aérea nas plantas e a produção de frutos de ambas as cultivares.

O tomateiro é uma cultura classificada como moderadamente sensível aos sais, possui um valor de salinidade limiar, expresso em termos de condutividade elétrica, de 2,5 dS m⁻¹, sendo seu rendimento reduzido para 50% quando a salinidade no extrato de saturação é de 7,6 dS m⁻¹, tendo perdas relativa de produtividade de 9,0% por dS m⁻¹ do extrato de saturação do solo, segundo Ayers e Westcot (1999).

Valores aproximados foram observados por Oliveira et al. (2007), Campos et al. (2007) e Katerji et al. (1998), também para o cultivo do tomateiro em solo, sendo as perdas observadas de 9,9; 9,5 e 9,3% por dS m⁻¹ do extrato de saturação do solo, respectivamente. Já para os cultivos hidropônicos de tomate foram observados por Cosme et al. (2011), Gomes et al. (2011), Magán et al. (2008) e Amor et al. (2001) valores menores em relação às perdas relativas em função do aumento de salinidade, sendo estes valores de 7,7; 6,7; 5,3 e 5,2% por dS m⁻¹ da solução nutritiva, respectivamente. Esses resultados corroboram o fato de que o cultivo hidropônico minimiza os efeitos da salinidade sobre as culturas (Santos et al., 2010).

Entre os estudos acima citados que utilizaram o sistema hidropônico no cultivo do tomate as perdas produtivas apresentadas por esse tipo de cultivo se diferenciavam quando a salinização da água utilizada no preparo da solução nutritiva tinha origem natural (água salobra de poço) ou artificial (água com adição de NaCl). Quando se utilizou água com NaCl as perdas na produção de frutos de tomate eram de 5,2 e 5,3% por dS m⁻¹ da solução nutritiva, segundo Amor et al. (2001) e Magán et al. (2008), respectivamente, e quando se utilizou água salobra subterrânea as perdas foram de 7,7 e 6,7% por dS m⁻¹ da solução nutritiva, segundo Cosme et al. (2011) e Gomes et al. (2011), respectivamente, indicando que quando se utiliza água com elevadas

concentrações de sais e essa água possui composição química muito variada os efeitos sobre as plantas são mais acentuados.

Os efeitos do uso de água salobra no cultivo de plantas podem ser amenizados trabalhando o manejo e a aplicação dessa água em diferentes fases do ciclo de cultivo da cultura. Cosme et al. (2011) com o objetivo de avaliar a resposta do tomateiro em cultivo hidropônico, adicionando água de rejeito da dessalinização em três concentrações na composição da solução nutritiva, sendo esta aplicada em diferentes estágios de desenvolvimento da cultura, observaram que a salinidade da solução nutritiva produzida pelo rejeito salino reduziu, de forma significativa a produção dos frutos e que o efeito da salinidade sobre a produção do tomate diminuía quando o tempo de exposição a salinidade diminuía. Esse resultado corroboram as observações feitas por Amor et al. (2001) que também trabalharam com o cultivo do tomate em condições salinas, porém a solução era salinizada com adição de NaCl e aplicadas às plantas aos 16, 37 e 66 dias após o transplante, os autores relacionaram a maior produção com a aplicação da salinidade após o estágio de desenvolvimento vegetativo da plantas.

6. Absorção de macronutrientes na cultura do tomate em condições salinas

Entre os elementos essenciais os macronutrientes são os que as plantas consomem em maior quantidade (Malavolta, 2006). Por isso, são os que possuem maiores concentrações nas soluções nutritivas utilizadas em cultivos hidropônicos (Rodrigues, 2002; Martinez et al., 1997). E esse fato traz preocupações referentes a possíveis precipitações desses nutrientes (principalmente Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) quando, para o preparo da solução nutritiva, se utiliza águas salobras, o que pode gerar problemas nutricionais às plantas cultivadas nessas condições.

As alterações na absorção de nutrientes estão diretamente relacionadas com o excesso de alguns íons em relação a outros e as interações entre eles (Fageria, 2001). Em cultivo de plantas com utilização de águas salobras as interações antagônicas são bastante acentuadas, principalmente devido às elevadas concentrações de Na^+ e de Cl^- .

Em situações de cultivo em que as plantas estão submetidas a um meio salino as elevadas concentrações de Na^+ poderão promover interações antagônicas com o K^+ , Ca^{++} e Mg^{++} , já as altas concentrações de Cl^- poderão promover interações antagônicas com o NO_3^- , SO_4^- e PO_4^{3-} (Hajiaghahi-Kamrani e Hosseinniya, 2013; Raja et al., 2012; Kahlaoui et al., 2011; Freire et al., 2010).

Maggio et al. (2007) trabalhando com o cultivo hidropônico do tomate cereja (Licata F1-COIS 94) submetido à oito níveis de salinidade, medidos em função das condutividades elétricas 2,5; 4,2; 6,0; 7,8; 9,6; 11,4; 13,2; 15,0 dS m⁻¹ produzidos a partir da aplicação de uma mistura de sais (NaCl e CaCl na proporção 2:1) à água do preparo da solução nutritiva observaram que tanto em folhas novas como em folhas maduras a concentração de Cl⁻ e de Na⁺ aumentaram com o aumento da condutividade elétrica, ao contrario do Ca²⁺ e do K⁺ que diminuíram suas concentrações no tecido foliar em função do aumento da salinidade.

O acúmulo de K⁺ no tecido foliar possui uma correlação inversa com o acúmulo de Na⁺. O que indica a existência de efeitos de competição entre os íons de Na⁺ e K⁺, já que os eles competem pelos mesmos sítios no sistema de absorção e transporte na membrana plasmática das células radiculares (Taiz & Zeiger, 2009).

A diminuição do acúmulo de Ca²⁺ também pode estar relacionada com a translocação desse íon auxiliado pelo fluxo de transpiração da planta. Freire et al. (2010) avaliando os efeitos da salinidade na nutrição mineral do tomateiro observaram que o teor de Ca²⁺ aumentou e possuiu comportamento quadrático com aumento da salinidade da água de irrigação. Os autores relacionaram à diminuição no acúmulo de Ca²⁺ no tecido foliar em resposta ao aumento da condutividade elétrica com uma diminuição da taxa de transpiração, mais do que ao de efeitos de competição com o Na⁺.

Segundo Martinez et al. (1997), devido às suas funções como integrante de compostos estruturais nos vegetais, o Ca²⁺ tem pouca ou nenhuma mobilidade no floema, sendo levado às diversas partes da planta via xilema, acompanhando o movimento ascendente da água, quer via corrente transpiratória durante o dia, quer via pressão radicular durante a noite. Por essa razão, as relações hídricas e os diversos fatores que as afetam estão altamente relacionados com a ocorrência de distúrbios fisiológicos ligados ao Ca²⁺.

A redução da concentração de N nas folhas com o aumento da salinidade pode ocorrer devido ao aumento da absorção e acúmulo de Cl⁻ nas plantas. Esse efeito está diretamente relacionado ao decréscimo no teor de NO₃⁻ de forma que a absorção e o transporte do NO₃⁻ são limitados em condições de salinidade devido ao efeito antagônico existente entre o NO₃⁻ e o Cl⁻ ou a redução na absorção de água pelas plantas (Fageria, 2001).

Em pesquisa com a cultura da berinjela, Bosco et al. (2009) observaram que os teores de N nas folhas e na raiz possuíam tendência linear inversamente proporcional ao

aumento da salinidade do meio de cultivo, porém não foi observado diferença na concentração deste nutriente no caule das plantas cultivadas sob tais condições.

Por outro lado, Blanco et al. (2008), trabalhando com a cultura do tomate em ambiente protegido com fertirrigação utilizando uma água salina de $9,5 \text{ dS m}^{-1}$, sendo a fertirrigação feita com três doses de N e três de K perceberam que as concentrações de N e K nas folhas do tomateiro aumentaram com o aumento das doses de N e K mas não promoveram redução dos teores de Cl nem de Na nas folhas das plantas, porém houve a redução das relações Na/K e Cl/N com as doses de K e N. Os resultados sugerem que o aumento na concentração de nutrientes, hora prejudicados pela salinidade, pode reverter as relações antagônicas existentes em condições salinas, podendo promover um benéfico para o tomateiro sob tais condições.

O fósforo é um dos macronutrientes de baixa demanda na cultura do tomate, porém, é um nutriente que tem função importante na composição do ATP e é responsável pelo armazenamento e transporte de energia para a síntese de compostos orgânicos e absorção ativa de nutrientes (Taiz & Zeiger, 2009).

A concentração desse nutriente nas folhas das plantas de tomate parece está relacionada com as concentrações de Ca e K, mais do que com o estresse osmótico. Shabani et al. (2012), avaliando os efeitos de diferentes concentrações de Ca e de K em condições salinas sobre a absorção de nutriente no cultivo hidropônico da cultura do tomate cereja observaram que o aumento no nível de cálcio nas condições de salinidade contribuiu para o aumento da concentração de fósforo na folha, porém o aumento da concentração de potássio na solução causou diminuição da concentração de fósforo.

Os autores também verificaram que o efeito isolado da salinidade não teve influência significativa sobre a concentração de fósforo, o que pode ser reflexo da alta concentração e a pronta disponibilidade do fósforo em solução nutritiva nos cultivos hidropônicos.

REFERÊNCIAS

ACUÑA, R. A.; BONACHELAB, S.; MAGÁNC, J. J.; MARFÀD, O.; HEMÁNDEZB, J. H.; CÁRCERES, R. Reuse of rockwool slabs and perlite grow-bags in a low-cost greenhouse: Substrates physical properties and crop production. **Scientia Horticulturae**, v. 160, p. 139-147, 2013.

AMOR, F. M.; MARTINEZ, V.; CERDÁ, A. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. **HortScience**, v. 36, n. 7, p. 1260-1263, 2001.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SILVA, E. F. F.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 873-880, 2006.

ANDRIOLO, J. L.; ROSS, T. D.; WITTER, M. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do tomateiro cultivado em substrato com três concentrações de nitrogênio na solução nutritiva. **Ciência Rural**, vol.34, n.5, p. 1451-1457, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: III. Produção e qualidade de frutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 122-127, 2008.

BOSCO, A. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p.157-164, 2009.

BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L. E.; MARTINEZ, H. E. P. Critérios para renovação ou manutenção de solução nutritiva em cultivo hidropônico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 20, n. 1, p. 48-58, 1999.

CAMPOS, C. A. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BLANCO, F. F. Tomato growth and dry matter partitioning as a function of the irrigation water quality. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 3, p. 239-246, 2007.

CARDOSO, A. F.; CHARLO, H. C. O.; ITO, L. A.; BRAZ, L. T.; CORÁ, J. E. Qualidade de melão rendilhado em função da reutilização do substrato. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. S2647-S2652, 2009.

COSME, C. R.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, E. M. M.; SOUSA NETO, O. N. Produção de tomate hidropônico utilizando rejeito da dessalinização na solução nutritiva aplicados em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 499-504, 2011.

COSTA, A. M. B.; MELO, J. G.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 67-82, 2006.

CRUZ, W. B.; PEIXOTO, C. A. M. A evolução química das águas subterrâneas de Poços de Caldas – MG. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, n. 1, p. 23-33, 1991.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia cultura sem terra**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1987. 144 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.

FERNANDES, C.; CORÁ, J. E.; BRAZ, L. T. Reuse of sand, crushed sugarcane and peanut hull-based substrates for cherry tomato cultivation. **Scientia Agricola**, v. 64, n. 6, p. 630-635, 2007.

FREIRE, A. L. O.; SARAIVA, V. P.; MIRANDA, J. R. P.; BRUNO, G. B. Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, supl. 1, p. 1133-1144, 2010.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL. Hidroponia com reuso de águas residuais de dessalinizadores no semiárido. **Banco de Tecnologias Sociais**. 2013. Disponível em:

<<http://www.fbb.org.br/tecnologiasocial/banco-de-tecnologias-sociais/pesquisar-tecnologias/detalhar-tecnologia-97.htm>>. Acesso em: 12 novembro 2013.

FURLANI, P. R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT**. 1. ed. Campinas: IAC, 1998. 30p. Boletim técnico, 168.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 1.ed. Campinas: IAC, 1999. 52p. (Boletim técnico 180).

GENUNCIO, G. C.; SILVA, R. A. C.; SÁ, N. M.; ZONTA, E.; ARAÚJO, A. P. Produção de cultivares de tomateiro em hidroponia e fertirrigação sob razões de nitrogênio e potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 446-452, 2010.

GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; BATISTA, M. A. F. **Prevenção, manejo e recuperação de solos salinos e sódicos**. Mossoró: ESAM, 1991. 70p.

GOMES, J. W. S.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; BLANCO, F. F.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento e produção de tomate cereja em sistema hidropônico com rejeito de dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 850-856, 2011.

GONDIM, A. R. O.; FLORES, M. E. P.; MARTINEZ, H. E. P.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G. Condutividade elétrica na produção e nutrição de alface em sistema de cultivo hidropônico NFT. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 894-904, 2010.

HAIAGHAEI-KAMRANI, M.; HOSSEINNIYA, H. Effect of salinity on nutrient uptake in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in hydroponic system. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, n. 10, p. 2729-2733, 2013.

HOSSAIN, M. M.; NONAMI, H. Effect of salt stress on physiological response of tomato fruit grown in hydroponic culture system. **Horticultural Science (Prague)**, v. 39, n. 1, p. 26-32, 2012.

JONES, J. B. **Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grover**. 2. ed. Florida: CRC Press, 2005. 423p.

KAHLAOU, B.; HACHICHA, M.; REJEB, M. N.; HANCHI, B.; MISLE, E. Effects of saline water on tomato under subsurface drip irrigation: nutritional and foliar aspects. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 11, n. 1, p. 69-86, 2011.

KATERJI, N.; VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Response of tomatoes, a crop of indeterminate growth, to soil salinity. **Agricultural Water Management**, v. 38, p. 59-68, 1998.

KOTZ, J. C.; TREICHEL, P. M.; WEAVER, G. C. **Química geral e reações químicas**. 6. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010. v. 1. 708 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: USP, 2005. 329 p.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 103, n. IR2, p. 115-134, 1977.

MAGÁN, J. J.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B.; LORENZO, P. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 95, p.1041-1055, 2008.

MAGGIO, A.; RAIMONDI, G.; MARTINO, A.; DE PASCALE, S. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 276–282, 2007.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARTINEZ, H. E. P.; BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L. Cultivo hidropônico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Revista UNIMAR**, v. 19, n. 3, p. 721-740, 1997.

MATHIAS, M. NFT in Brazil. **Practical Hydroponics & Greenhouses**, p. 33-40, 2008.

MIRANDA, F. R.; MESQUITA, A. L. M.; MARTINS, M. V. V.; FERNANDES, C. M. F.; EVANGELISTA, M. I. P.; SOUSA, A. A. P. **Produção de tomate em substrato de fibra de coco**. 2011. Circular Técnica (Embrapa). 20p.

OLIVEIRA, B. C.; CARDOSO, M. A. A.; OLIVEIRA, J. C.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F. Características produtivas do tomateiro submetido a diferentes

níveis de sais, na água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 11-16, 2007.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano. Estudo de caso: Bacia Hidrográfica do Rio Salitre. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1059-1066, 2010.

RAJA, S.; SHOKAT, S.; AZHAR, F. M.; AZHAR, M. T.; KHAN, A. A. Screening of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes at different salinity levels. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 4, n. 6, p. 94-100, 2012.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. 5. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2001. 558 p.

RESH, H. M. **Hidroponic tomatoes: for the home gardener**. California: Woodbridge Press, 1993. 142p.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762p.

SANTOS, A. N. **Rendimento e avaliação nutricional do cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema NFT no semiárido brasileiro utilizando águas salobras**. 2009. 133p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. Produção de alface em NFT e Floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 319-326, 2011.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 961-969, 2010.

SCHWARZ, M. **Soilless culture management**. Berlin: Springer Verlag, 1995. 197 p. (Advanced Series in Agricultural Sciences, 24).

SHABANI, E.; TABATABAEI, S. J.; BOLANDNAZAR, S.; GHASEMI, K. Vegetative growth and nutrient uptake of salinity stressed Cherry tomato in different calcium and potassium level. **International Research Journal of Applied and Basic Sciences**, v. 3, n. 9, p. 1845-1853, 2012.

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, n. 1, p. 11-17, 1999.

SILVA, J. B. C.; GIORDANO, L. B. (Org.). **Cultivo de tomate para industrialização**. 2. ed. Brasília: Sistemas de Produção, Embrapa Hortaliças, 2006.

SOARES, T. M. ; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; MELO, R. F.; JORGE, C. A.; OLIVEIRA, A. S. Experimental structure for evaluation of saline water use in lettuce hydroponic production. **Irriga**, v.14, n.1, p.102-114. 2009.

SOARES, T. M.; ALMEIDA, C.D.G.C.; FRIZZONE, J. A.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N. Economic risk analysis of tomato irrigation using desalinated water by reverse osmosis. **Irrigation and Drainage**, v. 62, p. 658-665, 2013.

SOARES, T. M.; DUARTE, S. N.; SILVA, E. F. F.; JORGE, C. A. Combinação de águas doce e salobra para produção de alface hidropônica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 705–714, 2010.

STEINER, A. A. **The universal nutrient solution**. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOILLESS CULTURE, 6, 1984, Lunteren. Proceedings... Wageningen: International Society for Soilless Culture, 1984. p. 633-649.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TEIXEIRA, T. N. **Hidroponia**: uma alternativa para pequenas propriedades. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86p.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO. A UFRPE recebe certificação do Prêmio Fundação Banco do Brasil de Tecnologia Social. **Notícias**. 2013.

Disponível em: < http://www.ufrpe.br/noticia_ver.php?idConteudo=13315#>. Acesso em: 12 novembro 2013.

CAPÍTULO II

ESTRATÉGIA PARA O USO DE ÁGUA SALOBRA NO RENDIMENTO DA CULTURA DO TOMATE CEREJA EM HIDROPONIA COM SUBSTRATO

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho avaliar o rendimento do tomate cereja cultivado em hidroponia com substrato em função da salinidade da solução nutritiva (SN), do tempo de exposição à salinidade e do turno de rega. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com estrutura hidropônica em vasos contendo pó de coco. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 6x2x2 com cinco repetições, testando três fatores: seis níveis de salinidade da SN preparada com água salobra (3,01; 4,51; 5,94; 7,34; 8,71 e 10,40 dS m⁻¹); dois tempos de exposição à salinidade (60 e 105 dias) e dois turnos de rega (uma irrigação por dia e uma irrigação a cada dois dias). Para obtenção da água com diferentes níveis de salinidade para o preparo da SN, utilizou-se como referência a composição química da água salobra subterrânea de um poço tubular de uma região semiárida. A salinidade da SN afetou o rendimento do tomate cereja cv. “Rita” com redução na produção relativa de frutos, sendo essa redução mais acentuada quando as plantas foram submetidas a um maior tempo de exposição à salinidade. Não houve diferença entre o turno de rega com uma irrigação a cada dois dias e uma irrigação por dia sobre a produção de frutos de tomate cereja cv. “Rita”.

Palavras-chaves: *Lycopersicon esculentum mill*, salinidade, semiárido

STRATEGY FOR USE BRACKISH WATER IN YIELD OF CHERRY TOMATO IN HYDROPONICS SYSTEMS WITH SUBSTRATE

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the yield of cherry tomato grown in hydroponic system with substrate under salinity levels of the nutrient solution (SN), time of exposure to salinity and irrigation frequency. The experiment was conducted in a greenhouse with hydroponic structure in pots containing coir dust. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme 6 x 2 x 2 with five replications, testing three factors: six salinity levels of SN prepared with brackish water (3.01, 4.51, 5.94, 7.34, 8.71 and 10.40 dS m⁻¹); two exposure times to salinity (60 and 105 days) and two irrigation frequency (one irrigation for day and one irrigation the each two days). To obtain different water salinity levels to prepare the SN, was used as reference chemical composition of the brackish ground water of a semiarid region. The yield of cherry tomato cv. "Rita" was affected for salinity of the SN with relative reduction in fruit production, this reduction was more pronounced when plants were subjected to a longer exposure to salinity. There was no difference between the irrigation frequency with one irrigation every two days and one irrigation for day on fruit yield of cherry tomato cv. "Rita".

Keywords: *Lycopersicon esculentum mill*, salinity, semiarid

1. INTRODUÇÃO

A ocorrência de água subterrânea com elevadas concentrações de sais (salobras) são comuns em regiões semiáridas, devido ao tipo de rocha em que a água está confinada e as condições edafoclimáticas dessas áreas. Em muitas ocasiões essa é a única fonte hídrica disponível para o uso humano e para utilização nas atividades agrícolas dessas localidades (Costa et al., 2006).

A utilização de águas salobras, principalmente quando são manejadas de forma inadequada, para o uso agrícola pode oferecer riscos ao meio ambiente, promovendo a salinização e sodificação dos solos em função do acúmulo de sais e as alterações nas percentagens de sódio trocável, reduzindo dessa forma a produção das plantas (Aguiar et al., 2007; Garcia et al., 2008).

Os riscos ambientais e as perdas de produção podem ser minimizados pelo uso de técnicas de cultivo que promovam melhores condições ao desenvolvimento das plantas sem a utilização do solo e nesse sentido tem-se indicado a hidroponia como alternativa, principalmente quando se dispõem apenas de águas salobras para o cultivo de plantas (Santos et al., 2010; Cosme et al., 2011, Gomes et al., 2011).

Nos sistemas hidropônicos de cultivo os efeitos dos sais sobre as plantas podem ser amenizados em função da alta disponibilidade de água e nutrientes, garantida pela regularidade dos eventos de irrigação com solução nutritiva balanceada (Santos et al., 2010). A utilização de culturas mais tolerantes aos sais pode aumentar ainda mais a eficiência dos cultivos hidropônicos com uso de águas salobras, tornando possível a utilização de águas com valores de salinidade mais elevados sem perda de produção.

Dentre as hortaliças, o tomateiro é uma cultura classificada como moderadamente sensível aos sais. Segundo Ayers & Westcot (1999) o tomateiro pode ser cultivado em solo cujo extrato de saturação tenha condutividades elétrica de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ (salinidade limiar) sem perdas significativas de produção, sendo as perdas acima desse valor, em termos de produção relativa, de 9,0% por dS m^{-1} medido no extrato de saturação do solo.

O estudo acima citado considerou apenas as plantas cultivadas em sistema convencional de cultivo em solo, porém em cultivos hidropônicos pode-se produzir as plantas com maior valor de condutividade elétrica sem perdas significativas de produção, como foi observado por Gomes et al. (2011) estudando o cultivo do tomate cereja em sistema hidropônico utilizando pó de coco como suporte das raízes e

aplicando solução nutritiva acrescida com diferentes proporções de rejeito salino derivado do processo de dessalinização de águas salobras, concluíram que a salinidade limiar para o cultivo de tomate cereja cv. 'Samambaia' em hidroponia é de 3,5 dS m⁻¹.

Genúncio et al. (2010) conduziram um experimento para avaliar a produção e qualidade de frutos de quatro cultivares de tomateiro em sistemas de cultivo hidropônico NFT (Técnica do fluxo laminar de nutrientes) e fertirrigado no solo sob duas razões entre N e K fornecidas às plantas e concluíram que o sistema hidropônico propiciou maiores produções e qualidade de frutos de tomateiros dos tipos italiano (San Marzano) e salada (Santa Clara), em comparação ao sistema fertirrigado no solo.

Em uma visão mais ampla se constatou que outros autores trabalhando com a cultura do tomate em sistema hidropônico, considerando a produção de frutos em termos relativos, obtiveram menores perdas percentuais em função do aumento unitário de salinidade (em dS m⁻¹) quando comparadas às perdas em cultivos de solo. Para o cultivo hidropônico do tomate os valores das perdas percentuais da produção relativa foram de 5,2; 5,3; 7,7 e 6,7% encontrados por Amor et al. (2001), Magán et al. (2008), Cosme et al. (2011) e Gomes et al. (2011), respectivamente. Porém, os autores Katerji et al. (1998), Oliveira et al. (2007) e Campos et al. (2007) cultivando o tomate em solo encontraram valores para as perdas de produção relativa de 9,3; 9,9 e 9,5%, respectivamente, o que corrobora o fato de que em cultivo hidropônico os efeitos da salinidade sobre as culturas são minimizados (Santos et al., 2010; Santos et al., 2011).

Outro fator que pode ser utilizado como estratégia de inserção da água salobra em cultivos hidropônicos quando se dispõem, também, de uma água de melhor qualidade é a época de aplicação da água salobra no cultivo, procurando preservar alguma fase do ciclo da cultura. Nesse sentido, Amor et al. (2001) cultivando tomate hidropônicos (cv. Daniela) em perlita com solução nutritiva em condições de salinidade variada, sendo os níveis de salinidade aplicados em diferentes fases do desenvolvimento da cultura (16, 36 e 66 dias após o transplante) observaram que a tolerância do tomate ao aumento da salinidade foi maior quando a aplicação da solução nutritiva salinizada a diferentes níveis foi feita mais tardiamente.

Resultado semelhante foi encontrado por Cosme et al. (2011) trabalhando com o cultivo de tomate cv. "Kada Gigante" em hidroponia com pó de coco, aplicando solução nutritiva preparada a partir de três combinações de água doce com rejeito salino do processo de dessalinização de águas salobras, sendo essa aplicação realizada aos 7, 32 e 58 dias após o transplante, os autores observaram que para a produção de frutos

houve um maior comprometimento quando a solução nutritiva em diferentes níveis de salinidade foram aplicadas desde a fase inicial do ciclo de cultivo, com diminuição da produção em relação a testemunha de 62,56; 48,61 e 42,90%, respectivamente.

O turno de rega também é um fator importante em cultivos de plantas, pois, tem reflexo direto na disponibilidade de água para as culturas (Monte et al., 2009; Marouelli & Silva, 2005). No cultivo hidropônico com substrato as plantas são cultivadas em vasos ou sacolas contendo um material capaz de receber a solução nutritiva e armazená-la, deixando-a disponível às plantas, diminuindo com isso a frequência de irrigação quando comparado às outras técnicas de cultivo hidropônico.

Andriolo et al. (2004) comparando o cultivo hidropônico NFT com o cultivo em substrato observaram que o uso do substrato permitiu uma redução em torno de 92,4% no tempo de funcionamento da motobomba e simplificou tanto o manejo dos eventos de irrigação como o controle da solução nutritiva, podendo, dessa forma, diminuir custos com energia elétrica.

Contudo, objetivou-se com este trabalho avaliar o rendimento do tomate cereja sob cultivo hidropônico com substrato em função da salinidade da solução nutritiva preparada com água salobra, do tempo de exposição à salinidade e do turno de rega.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, no período de 13 de maio a 10 de setembro de 2013, utilizando um sistema hidropônico em vasos com pó de coco para o cultivo do tomate cereja.

2.1. Estrutura experimental

A casa de vegetação utilizada possuía 7 m de largura, 24 m de comprimento e 3 m de pé direito, com cobertura do tipo arco e filme de polietileno de baixa densidade com 150 µm de espessura, tratado contra a ação dos raios ultravioletas e com difusor de luz. As paredes laterais e frontais foram confeccionadas com telas de nylon, cor preta, com 50% de sombreamento.

Foram montadas tábuas sobre tijolos que serviram de apoio aos vasos utilizados para o cultivo hidropônico do tomate com substrato (Figura 1 A e B). Os vasos possuíam volumes de 8,0 litros e neles foi colocada uma camada de brita com 2,0

cm de altura e cobertas por uma manta geotêxtil com a finalidade de permitir a drenagem do sistema. Após a montagem do sistema de drenagem o primeiro vaso foi preenchido até a borda com pó de coco seco, o que resultou em uma massa de 2,0 kg desse substrato. Esse valor foi utilizado como padrão para o preenchimento dos demais vasos. A padronização no preenchimento dos vasos, principalmente referente a quantidade de substrato, foi observada para evitar variações na quantidade de água disponível para cada planta, em função do acúmulo de água por massa de substrato (Tabela 1). Após o preparo dos vasos esses eram postos dentro de recipientes (bacia) que possuíam 20 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Esses tinham a função de reter a drenagem da solução excedente e auxiliar no controle da irrigação.

Para o conhecimento da capacidade máxima de retenção de água do substrato foi realizado um teste, pesando três vasos preenchidos com pó de coco seco e em seguida pesando esses vasos após saturação e drenagem do excesso de água. Por diferença entre o peso do substrato na capacidade máxima de retenção de água e o peso do substrato seco foi determinando o volume de água acumulado na capacidade máxima de retenção do vaso e dividindo-se o volume de água acumulado pelo peso do substrato seco foi determinada a relação entre o peso do pó de coco e o volume de água acumulado (Tabela 1). Cada vaso correspondeu a uma parcela experimental e cada parcela possuía uma planta de tomate cereja da cv. “Rita” (Figura 1B).

Tabela 1. Quantidade e conteúdo de água do pó de coco em sua capacidade máxima de retenção

Amostra	Peso do pó de coco seco (kg)	Peso do pó de coco úmido* (kg)	Volume de água (L) acumulado por vaso	Relação pó de coco/vol. água
Vaso 1	2,00	4,98	2,98	1,49
Vaso 2	2,00	5,00	3,00	1,50
Vaso 3	2,00	5,08	3,08	1,54

* Peso do pó de coco na capacidade máxima de retenção de água

Para a sustentação das plantas foi instalado um sistema de tutoramento com mourões espaçados a cada 3,0 m no sentido das linhas de planta e um arame passando no mesmo sentido a 2,0 m de altura da superfície do solo. Este tutoramento auxiliou no suporte das plantas para conduzi-las a um crescimento vertical (Figura 1 C).

A casa de vegetação foi dividida em cinco blocos, distribuídos no sentido longitudinal do ambiente protegido, com o objetivo de isolar possíveis fatores

ambientais, biológicos ou estruturais que não foram objetos de estudo do experimento. Os tratamentos foram distribuídos de forma aleatória dentro destes blocos (Figura 1 A).



Figura 1. Layout dos blocos (A), Bancada de suporte e disposição dos vasos na casa de vegetação (B) e planta tutorada (C)

Na casa de vegetação foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, por meio do qual aplicou-se a solução nutritiva para as plantas de cada tratamento. O sistema de irrigação possuía 12 reservatórios, cada um com capacidade para 200 litros e onde foram armazenadas as soluções nutritivas dos diferentes tratamentos. Aos reservatórios foram acopladas seis bombas elétricas do tipo centrífuga (uma bomba para cada dois reservatórios que correspondia a um mesmo nível de salinidade da solução nutritiva). Na tubulação de recalque foi instalado um dispositivo para controlar a pressão do sistema (mangueira de retorno equipada com um registro) e seis conjuntos de torneiras de passagem cada um com seis pontos de distribuição de solução nutritiva, dando origem à 36 linhas de derivação (mangueira de polietileno na cor preta, DN 16 e PN 30). Cada linha de derivação correspondeu a um tratamento e possuía cinco gotejadores do tipo autocompensante com vazão nominal de 4 L h^{-1} (Netafim - modelo PCJ-CNL), sendo cada gotejador direcionado a uma repetição do tratamento,

conectados as respectivas linhas de derivação (tratamento) por um microtubo com cinco mm de diâmetro (Figura 2).

O controle da distribuição da solução nutritiva nos seus diferentes níveis de salinidade, época de aplicação da salinidade e turno de rega foi feito pelo acionamento das bombas e pela abertura e fechamento das torneiras de passagens. A distribuição dos volumes de solução aplicados a cada tratamento foi feita por observação.

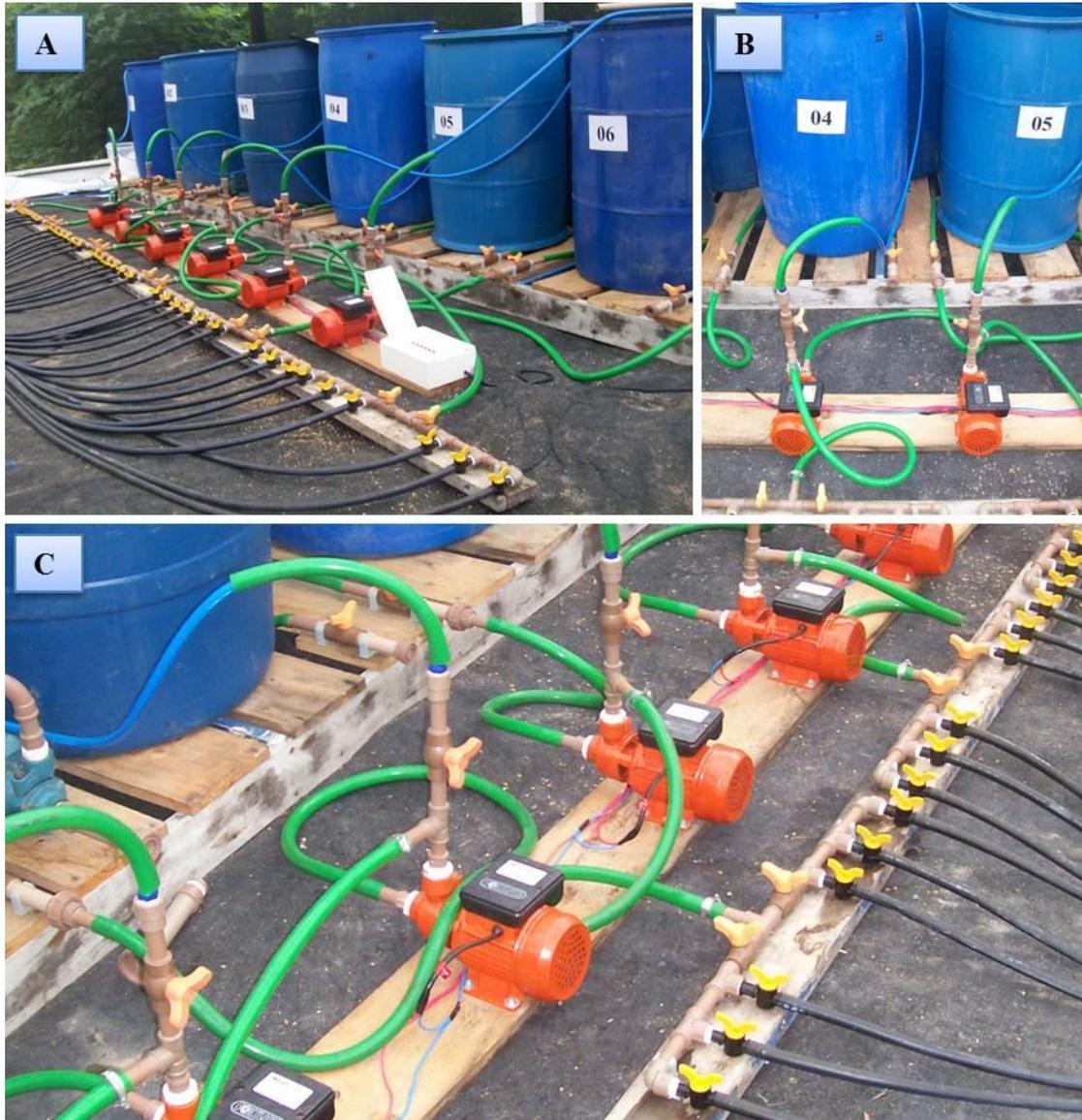


Figura 2. Sistema de armazenamento, bombeamento e distribuição das soluções nutritiva (A); detalhe do sistema de armazenamento e bombeamento (B) e detalhe do sistema de bombeamento e distribuição (C)

2.2. Aquisição e transplântio das mudas

As Mudas de tomate cereja cv. “Rita” foram adquiridas de viverista especializado 20 dias após a sementeira, tendo essas sido produzidas em bandeja de 200 células preenchida com pó de coco.

As mudas foram mantidas em bandeja até 30 dias após a sementeira, nesse período as mesmas foram irrigadas com solução nutritiva indicada por Furlani et al. (1999) para a cultura do tomateiro com 50% de diluição. Aos 30 dias após a sementeira 180 plantas foram transplântadas para os vasos preenchidos com pó de coco previamente umedecidos até a capacidade máxima de retenção de água, deixando uma planta por vaso e distribuídas na casa de vegetação utilizando um espaçamento entre plantas de 0,5 m e entre linhas de 1,0 m (Figura 1B), obtendo uma densidade de plantio de 20.000 plantas por hectare. Nesse momento as plantas foram mantidas em regime de aclimatação até o 15º dia após o transplântio, no qual todas as plantas recebiam de forma manual solução nutritiva indicada por Furlani et al. (1999) para o cultivo do tomate. Após esse período deu-se início aos tratamentos com salinização.

2.3. Preparo da água e da solução nutritiva

A água do abastecimento público da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) foi salinizada adicionando-se sais na tentativa de alcançar, o mais próximo possível, a composição química de uma água salobra oriunda do aquífero subterrâneo da Comunidade Poço do Boi, localizada no Município de Ibimirim, região semiárida do Estado de Pernambuco. A determinação da quantidade de cada sal a ser utilizado na salinização da água foi feita com base na estequiometria dos sais e nas concentrações de K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , SO_4^- , Cl^- , CO_3^- e HCO_3^- encontradas na água acima citada (Tabela 2).

Tabela 2. Composição química da água subterrânea da comunidade Poço do Boi, Ibimirim, Pernambuco e formulação de sais utilizada na salinização da água com condutividade elétrica de 1,70 dS m⁻¹

Sais de salinização da água	(g m ⁻³)	Composição química da água com CE de 1,7 dS m ⁻¹ (g m ⁻³)							
		K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	H ₂ CO ₃ ⁻
MgCl ₂	200,00			50,6			149,4		
CaCl ₂	155,00		55,8				99,2		
KCl	6,00	3,1					2,9		
NaCl	230,00				92		138,7		
NaHCO ₃	450,00				121,5				326,7
CaCO ₃	80,00		32,0					48,0	
MgSO ₄	185,00			37		148			
Água salinizada (A)		3,1	87,8	87,6	214,6	148,0	390,2	48,0	326,7
Água do poço* (B)		2,7	74,2	71,9	179,8	133,4	383,7	52,9	361,2
Diferença % entre A e B		14,9	18,3	21,9	19,4	10,9	1,7	9,2	9,6

*Santos et al. 2010

Após a determinação da quantidade de sais para se produzir uma água com concentrações químicas e condutividade elétrica (1,70 dS m⁻¹) semelhante a da água subterrânea salobra de Poço do Boi, empregou-se os cálculos de proporção direta para encontrar as quantidades de sais necessárias para se obter as condutividades elétricas de: 1,50; 3,00; 4,50; 6,00 e 7,5 dS m⁻¹ (Tabela 3).

Tabela 3. Quantidade de sais utilizados na salinização da água em diferentes condutividades elétricas tendo como referência a composição química da água subterrânea da comunidade Poço do Boi, Ibimirim, Pernambuco

Sais	CE 1,70*	CE 0,08**	CE 1,50	CE 3,00	CE 4,50	CE 6,00	CE 7,50
	g m ⁻³						
MgCl ₂	200,00	0,00	176,47	352,94	529,41	705,88	882,35
CaCl ₂	155,00	0,00	136,76	273,53	410,29	547,06	683,82
KCl	6,00	0,00	5,29	10,59	15,88	21,18	26,47
NaCl	230,00	0,00	202,94	405,88	608,82	811,76	1014,71
NaHCO ₃	450,00	0,00	397,06	794,12	1191,18	1588,24	1985,29
CaCO ₃	80,00	0,00	70,59	141,18	211,76	282,35	352,94
MgSO ₄	185,00	0,00	163,24	326,47	489,71	652,94	816,18

* Água subterrânea da comunidade Poço do Boi (Santos et al., 2010); ** água do abastecimento da UFRPE

O pH da água já salinizada foi ajustado para um valor próximo a 5,0 (cinco), com o intuito de evitar a precipitação de sais no momento do preparo da solução

nutritiva em função dos elevados valores de pH (em média 7,9) desse tipo de água devido à presença de CO_3^- e HCO_3^- .

A composição química da solução nutritiva utilizada seguiu as recomendações de Furlani et al. (1999) para o cultivo hidropônico da cultura tomate em suas distintas fases vegetativas (Tabela 4). Os fertilizantes e suas quantidades utilizados no preparo da solução para obter a referida composição estão apresentados na Tabela 5. Todos os tratamentos recebiam a mesma formulação de fertilizantes após o preparo e ajuste de pH das águas em suas diferentes condutividades elétricas.

Tabela 4. Composição da solução nutritiva indicada por Furlani et al. (1999) para a cultura do tomate em diferentes fases vegetativa do ciclo

Fase da planta	Macronutrientes (mg L^{-1})							Micronutrientes (mg L^{-1})				
	NO_3^-	NH_4^+	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo
Fase A	135	35	52	314	152	40	70	0,5	0,05	2,4	0,75	0,06
Fase B	150	37	52	326	190	40	70	0,5	0,05	2,4	0,75	0,06
Fase C	164	38	52	409	209	40	70	0,5	0,05	2,4	0,75	0,06

Nota: Na fase de semeadura até 30 dias após o transplante das mudas (Fase A), de 30 a 60 dias após o transplante das mudas (Fase B) e de 60 dias após o transplante das mudas até o término da colheita (Fase C)

Tabela 5. Formulação de solução nutritiva indicada por Furlani et al. (1999) para a cultura do tomate em diferentes fases vegetativa do ciclo

Fertilizantes	Fase A	Fase B	Fase C
	----- (g m^{-3}) -----		
Nitrato de potássio	150	40	40
Nitrato de cálcio	800	1000	1100
Monoamôniofosfato (MAP)	250	250	250
Sulfato de magnésio	400	400	400
Cloreto de potássio	500	600	760
Fe EDTA 13%	18,46	18,46	18,46
Ácido bórico	3,0	3,0	3,0
Sulfato de cobre	0,2	0,2	0,2
Sulfato de manganês	3,0	3,0	3,0
Sulfato de Zinco	0,5	0,5	0,5
Molibdato de sódio	0,15	0,15	0,15

Nota: Na fase de semeadura até 30 dias após o transplante das mudas (Fase A), de 30 a 60 dias após o transplante das mudas (Fase B) e de 60 dias após o transplante das mudas até o término da colheita (Fase C)

Na Tabela 6 encontram-se os valores de condutividade elétrica registrados ao longo do experimento no preparo da água e da solução nutritiva. O pH da solução foi ajustado mediante adição de KOH ou HNO₃, visando mantê-lo na faixa de 5,0 a 7,0.

Tabela 6. Condutividade elétrica (CE) das águas utilizadas no preparo da solução nutritiva e CE da solução nutritiva nos dias de preparo e as respectivas médias de CE no período de cultivo

CE água Desejada	DAT				CE média da água	DAT				CE média Solução
	8	60	80	110		8	60	80	110	
	CE da água (dS m ⁻¹)					CE da solução (dS m ⁻¹)				
0,0	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	2,78	3,26	3,00	3,00	3,01
1,5	1,47	1,60	1,51	1,69	1,57	4,40	4,45	4,66	4,52	4,51
3,0	2,95	3,06	2,75	3,09	2,96	5,72	6,04	6,07	5,92	5,94
4,5	4,6	4,70	4,3	4,46	4,52	7,06	7,76	7,08	7,47	7,34
6,0	5,89	6,20	5,85	6,20	6,04	8,60	8,97	8,58	8,70	8,71
7,5	7,44	7,86	7,3	7,35	7,49	10,30	10,50	10,09	10,70	10,40

DAT – Dias após o transplântio

2.4. Tratamentos

Foram analisados os efeitos do uso de água salobra no cultivo hidropônico do tomate cereja em substrato, estudando três fontes de variação: a salinidade da solução nutritiva (CEsol), tempo de exposição à salinidade da solução nutritiva (TES) preparada com água salobra e turno de rega (TR) (intervalo entre uma irrigação e outra).

As plantas foram submetidas a seis diferentes níveis de condutividade elétrica da solução nutritiva, promovidos pelo uso de fertilizantes (solução nutritiva padrão) e pelo uso de fertilizantes mais águas salinizadas (solução nutritiva salinizada) (Tabela 6).

As soluções salinizadas foram aplicadas em duas épocas diferentes dentro do ciclo de cultivo: desde os 15 dias após o transplântio até 120 dias após o transplântio e desde os 60 dias após o transplântio até 120 dias após o transplântio, ficando as plantas submetidas a dois períodos de exposição à salinidade, 105 dias e 60 dias, respectivamente.

As plantas ainda foram submetidas a dois turnos de rega: um possuía um evento de irrigação a cada dia e o outro um evento de irrigação a cada dois dias. Os eventos de irrigação elevaram a umidade do substrato sempre à capacidade máxima de retenção de água (solução) em ambos os turnos de rega.

2.5. Manejo da irrigação

Os eventos de irrigação foram realizados seguindo as regras estabelecidas para a fonte de variação “turno de rega”, sendo o controle quantitativo dessa irrigação iniciado com o acionamento das bombas conectadas aos reservatórios de cada tratamento e cessava-se a medida que formava-se uma lâmina de solução de aproximadamente 1,0 cm dentro do recipiente que ficava abaixo dos vasos. Esse controle foi feito por observação de uma das repetições de cada tratamento, sendo essa repetição alternada a cada evento de irrigação. O tempo entre o início e o final da irrigação de cada tratamento foi anotado e esse tempo multiplicado pela vazão dos gotejadores determinando assim o volume de solução aplicado a cada irrigação.

Com a estrutura e o manejo adotado não havia drenagem de solução para fora do sistema. A solução nutritiva era aplicada e a drenagem do vaso era contida pelo recipiente que ficava abaixo de cada vaso e voltava ao substrato por capilaridade a medida que o substrato secava.

2.6. Monitoramento climático

Diariamente foram monitorados os seguintes dados climáticos: a temperatura e a umidade relativa máxima e mínima do ar no interior da casa de vegetação, utilizando um sensor de temperatura e umidade relativa do ar da marca Campbell, Modelo HMP45C, instalado no centro da casa de vegetação a 2,0 m de altura em relação à superfície do solo; a temperatura do ar, utilizando sensor termopar tipo “T” instalado próximo à entrada e ao fundo da casa de vegetação a 2,0 m de altura em relação à superfície do solo e a temperatura da solução nutritiva e do substrato, utilizando sensor termopar tipo “T”, instalados dentro de um reservatório de solução nutritiva e dentro de um vaso de planta, respectivamente. Todos os sensores estavam conectados a um multiplexador modelo AM16/32B e um datalogger modelo CR1000, ambos da marca Campbell, programado para realizar leituras a cada 30 segundos e registrar as médias diárias.

Os registros de temperaturas coletados durante o experimento indicaram que no interior da casa de vegetação a temperatura máxima (Temp max) atingiu 35,1 °C e a temperatura mínima (Temp min) atingiu 19,0 °C, porém os valores de temperatura média no centro (Temp med), próximo a entrada (T1 med) e ao fundo (T2 med) da casa de vegetação registraram valores próximos a 25,5 °C. A temperatura da solução nutritiva

(T4 med) acompanhou estes valores e atingiu valor médio de 25,7 °C, já a temperatura média do substrato (T5 med) foi de 26,0 °C (Figura 3 A).

Em relação à umidade relativa no interior da casa de vegetação foram registrados valores médios de 97,2 e 61,4% para as umidades máxima (UR max) e mínima (UR min), respectivamente, durante o ciclo de cultivo do tomate cereja (Figura 3 B).

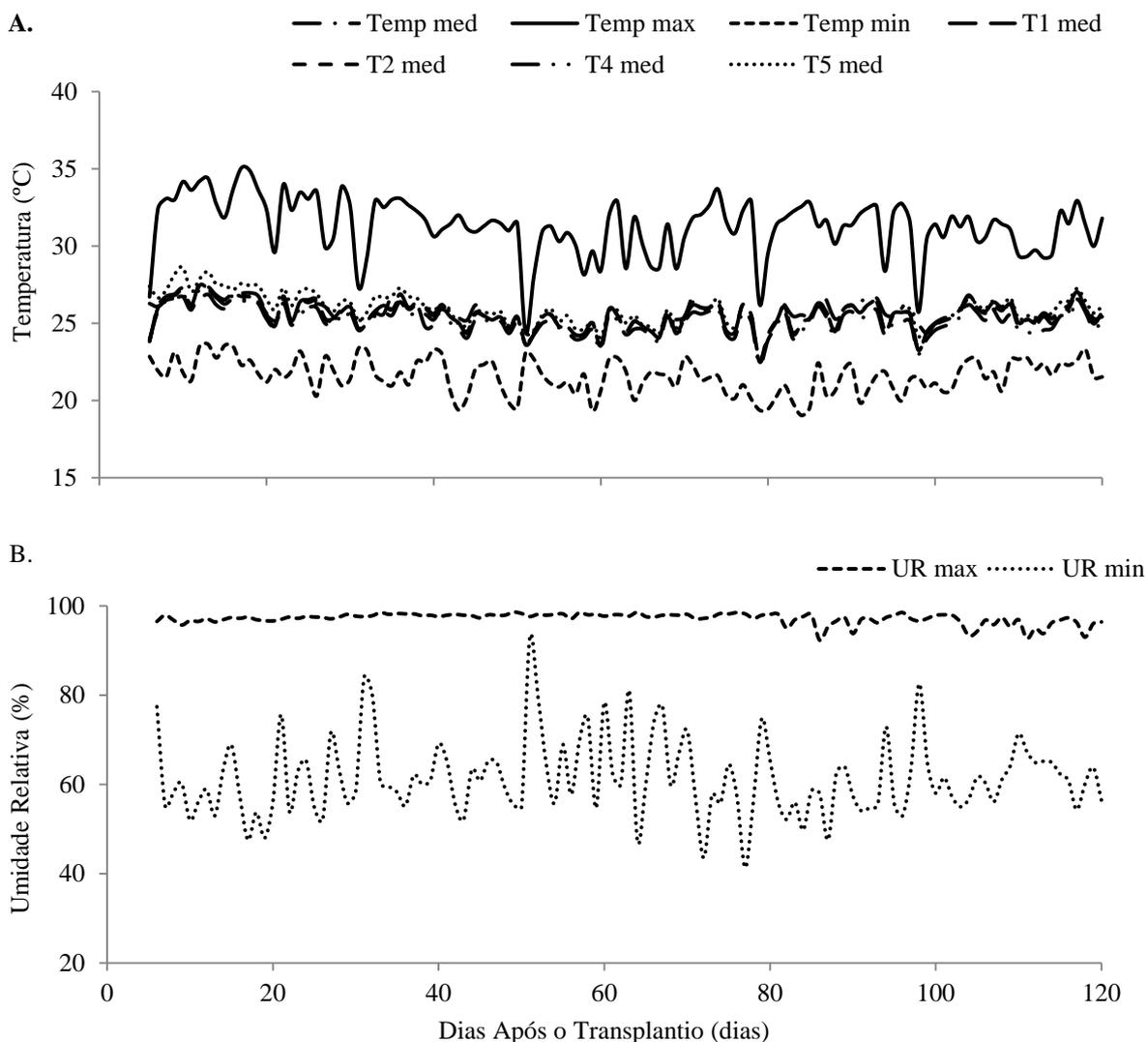


Figura 3. Temperatura média, máxima e mínima do ar no centro da casa de vegetação (Temp med, Temp max e Temp min, respectivamente), temperatura média próximo a entrada e próximo ao fundo da casa de vegetação (T1 med e T2 med), temperatura média da solução nutritiva e do substrato (T4 med e T5 med) (A) e umidade relativa máxima e mínima do ar dentro da casa de vegetação (UR max e UR min) (B) ao longo do ciclo de cultivo do tomate cereja

2.7. Determinação das variáveis de crescimento e rendimento do tomate cereja

As variáveis de crescimento vegetativo foram avaliadas determinando-se: a altura das plantas (AP, em cm), medindo com o auxílio de uma trena a distância entre o colo e o ápice caulinar; e o número de folhas (NF), contando em cada planta todas as folhas que possuíam pelo menos 5 folíolos expandidos. Para essas análises, as plantas foram mensuradas no período compreendido entre o transplântio e a poda apical (54 dias após o transplântio) com leituras a cada 7 dias.

Para a análise do rendimento da cultura do tomate cereja, foram mantidos seis cachos por planta, sendo realizadas colheitas semanais dos frutos do início da produção aos 58 DAT (1ª colheita) até 120 DAT (última colheita). Para cada planta foi determinado: o número de flores (NFL), contando-se cacho a cacho o número de pedúnculo após a última colheita; o número de frutos colhidos, contando-se o número de frutos colhidos por cacho e por planta e ao final do ciclo determinando o número total de frutos colhidos por planta (NTFr); e o número de flores abortadas (NFLA), subtraindo do número de flores o número de frutos colhidos; a massa fresca total do fruto (MFTFr, em g), pesando-se em balança de precisão (0,01 g) os frutos obtidos após cada colheita e somando o montante ao final do ciclo; o diâmetro transversal do fruto (DTFr, em mm), medindo-se com o auxílio de um paquímetro a maior distância de um plano transversal ao fruto; o °Brix, utilizando um refratômetro medindo o °Brix do suco do tomate; a massa seca total dos frutos (MSTFr, em g), pesando-se em balança de precisão (0,01 g) os frutos de cada colheita (secos em estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 70°C até atingirem massa constante) e somando o montante ao final do ciclo; a massa fresca por fruto (MF/Fr, em g), dividindo-se a MFTFr pelo NTFr; a massa seca por (MS/Fr, em g), dividindo-se a MSTFr pelo NTFr; e o consumo hídrico médio por planta por dia ($L \text{ planta}^{-1} \text{ dia}^{-1}$), multiplicando o tempo de irrigação (h) pela vazão dos gotejadores ($L \text{ h}^{-1}$) a média diária dos volumes de irrigação aplicados por planta em cada tratamento durante o ciclo de cultivo.

2.8. Análise estatística

O delineamento experimental aplicado foi o de blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 6x2x2 (níveis de salinidade da água, período de exposição à salinidade e turno de rega, respectivamente) com cinco repetições, totalizando 120 parcelas experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F para as fontes de variação “salinidade da solução nutritiva”, “tempo de exposição à salinidade” e “turno de rega”, bem como, para os efeitos dos blocos e de interações.

Para os efeitos sobre as variáveis estudadas, causados pela fonte de variação “salinidade da solução nutritiva”, foi aplicada análise de regressão, ajustando modelos polinomiais, selecionados após análise dos parâmetros da equação pelo teste F a 5% de probabilidade e pelo maior valor do coeficiente de determinação. Já para os efeitos sobre as variáveis estudadas dentro das fontes de variação “tempo de exposição à salinidade” e “turno de rega” os dados foram analisados pela comparação de médias utilizando o teste de Tukey a uma probabilidade de 5% (Pimentel Gomes, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Consumo hídrico

Os valores médios dos volumes de solução nutritiva aplicados diariamente pelo sistema de irrigação estão apresentados na Figura 4. Pode-se observar que, em termos absolutos, houve uma redução desses volumes em função do aumento nos níveis de salinidade da solução nutritiva. Isso se deve ao manejo adotado para os procedimentos de irrigação, no qual aplicava-se a solução em volumes suficientes para atingir a capacidade máxima de retenção de água do substrato, sendo estes volumes menores com o aumento da salinidade. Porém, o sistema de irrigação utilizado não permitia uma diferenciação dos volumes aplicados entre as repetições dentro de cada tratamento. Dessa forma, estes valores representam os volumes de irrigação aplicados em cada tratamento, considerando a salinidade da solução, o tempo de exposição à salinidade e o turno de rega.

A redução do consumo hídrico das plantas em função do aumento da salinidade do meio de cultivo já é conhecida entre os pesquisadores. Segundo Taiz & Zeiger (2009), a redução do consumo hídrico das plantas em condições de estresse salino se dá em função da diminuição do potencial osmótico, promovendo dificuldade na absorção de água, bem como, devido às estratégias das plantas de convívio com o estresse salino, como o fechamento dos estômatos, por exemplo. Gomes et al. (2011), trabalhando o cultivo hidropônico do tomate cereja, adicionando rejeito de dessalinizador de água salobra à solução nutritiva, observaram que quanto maior a salinidade da solução menor foi o consumo de água pelas plantas.

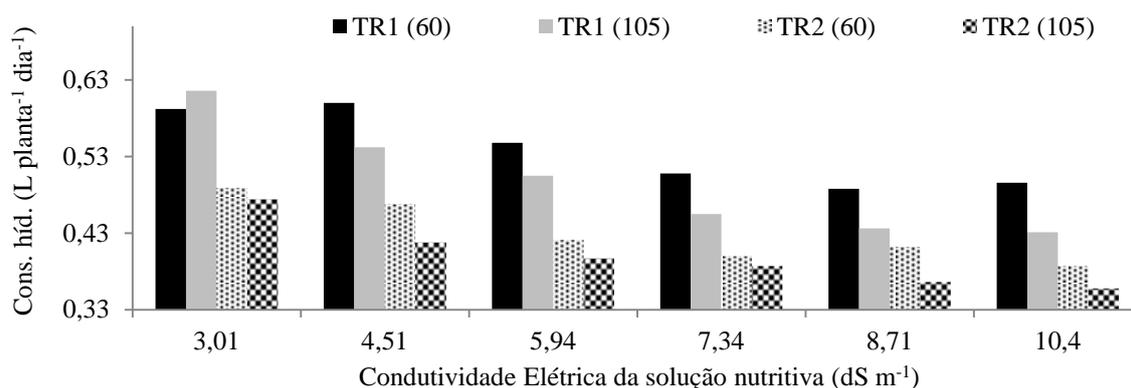


Figura 4. Consumo hídrico médio por planta por dia em função da salinidade da solução nutritiva, do tempo de exposição à salinidade (60 ou 105 dias) e do turno de rega (TR1 – uma vez por dia ou TR2 – uma vez a cada dois dias) do tomate cereja cv. “Rita”

3.2. Rendimento do tomate cereja

Conforme a análise de variância não houve efeito dos blocos sobre as variáveis estudadas, exceto para a variável massa seca total dos frutos (MSTFr). Já para a análise dos fatores, observou-se que houve efeito significativo dos níveis de salinidade da solução nutritiva sobre todas as variáveis de produção do tomate cereja cultivado hidroponicamente, exceto para a o número total de frutos (NTFr). As variáveis de produção também foram afetadas pelo tempo de exposição à salinidade da solução, com exceção do número de flores abortadas (NFLA) e do teor de sólidos solúveis dos frutos de tomate (°Brix). Já o turno de rega não promoveu efeitos sobre a maioria das variáveis, com exceção apenas para a massa fresca por fruto (MF/Fr), número de flores abortadas (NFLA) e teor de água dos frutos (UFr) (Tabela 7 e 8).

Na análise, não foram registrados efeitos de interações triplas entre os três fatores estudados sobre as variáveis de produção, porém interações duplas entre esses fatores afetaram a produtividade do tomate cereja. A principal interação que afetou a produção de frutos ocorreu entre a salinidade da solução nutritiva e o tempo de exposição das plantas à salinidade da solução que promoveu efeito sobre a maioria das variáveis, exceto para a massa seca por fruto (MS/Fr) e o teor de sólidos solúveis (°Brix). Já a interação entre a salinidade da solução nutritiva e o turno de rega promoveu efeito apenas sobre o °Brix e a interação entre o tempo de exposição à salinidade da solução e o turno de rega afetou apenas o número total de frutos e o número de flores abortadas (Tabela 7 e 8).

Tabela 7. Análise de variância aplicada às variáveis massa fresca total dos frutos (MFTFr), massa seca total dos frutos (MSTFr), número total de frutos (NTFr), massa fresca por fruto (MF/Fr) e massa seca por fruto (MS/Fr) do tomate cereja em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol), do tempo de exposição à salinidade da solução (TES) e do turno de rega (TR)

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio				
		MFTFr	MSTFr	NTFr	MF/Fr	MS/Fr
BLOCO	4	14448,19ns	169,70**	92,29ns	1,09ns	0,005ns
CEsol	5	193462,68**	560,81**	28,80ns	26,94**	0,059**
TES	1	712375,02**	3277,75**	2688,53**	40,83**	0,090**
TR	1	21741,40ns	5,33ns	299,23ns	9,78*	0,010ns
CEsol*TES	5	81350,31**	395,29**	163,33**	4,96**	0,014ns
CEsol*TR	5	2208,22ns	6,60ns	45,63ns	0,59ns	0,002ns
TES*TR	1	8732,84ns	30,40ns	472,03*	0,09ns	0,002ns
CEsol*TES*TR	5	12924,14ns	94,67ns	145,73ns	0,62ns	0,007ns
Erro	92	6503,75	47,12	90,31	1,44	0,008
CV (%)		11,59	11,91	13,15	12,68	11,67

**significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

Tabela 8. Análise de variância aplicada às variáveis diâmetro transversal dos frutos (DTFr), número de flores (NFL), número de flores abortadas (NFLA), teor de água dos frutos (UTFr) e sólidos solúveis (°Brix) do tomate cereja em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol), do tempo de exposição à salinidade da solução (TES) e do turno de rega (TR)

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio				
		DTFr	NFL	NFLA	Ufr	°Brix
BLOCO	4	3,27ns	142,82ns	109,95ns	0,21ns	0,17ns
CEsol	5	24,02**	765,33**	551,95**	4,69**	2,20**
TES	1	48,22**	2530,01**	2,41ns	6,96**	0,08ns
TR	1	5,66ns	143,01ns	612,01*	1,56**	0,01ns
CEsol*TES	5	9,96**	1482,41**	508,51**	1,31**	0,11ns
CEsol*TR	5	2,58ns	259,13ns	170,59ns	0,32ns	0,53**
TES*TR	1	1,21ns	1,88ns	533,41*	0,02ns	0,03ns
CEsol*TES*TR	5	1,58ns	205,68ns	120,07ns	0,34ns	0,11ns
Erro	92	2,16	190,66	98,08	0,15	0,15
CV (%)		5,76	12,38	25,23	0,42	5,00

**significativo a 1% de probabilidade; *significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo

O desdobramento das interações revelou que os diferentes níveis de salinidade, provocados pela utilização de água salobra no preparo da solução nutritiva, promoveram efeitos deletérios sobre a produção de tomate cereja. Esses efeitos foram observados de forma distinta em função do tempo de exposição das plantas à solução salinizada, obtendo-se menor produtividade quando as plantas eram submetidas ao maior tempo de exposição à salinidade do meio de cultivo.

A produção de massa fresca dos frutos por planta (MFTFr) do tomate cereja decresceu linearmente em função do aumento dos níveis de salinidade da solução nutritiva (CESol), com reduções de 1,45% por dS m^{-1} , isso ocorreu quando as plantas foram submetidas à solução salinizada somente dos 60 aos 120 dias após o transplântio (DAT), ou seja, 60 dias de exposição à salinidade, e de 5,66% por dS m^{-1} , quando as plantas foram expostas à salinidade a partir dos 15 DAT até os 120 DAT, ficando exposta por um período de 105 dias. Esse comportamento foi acompanhado pela massa fresca por fruto (MF/Fr) que apresentou redução de 2,12% por dS m^{-1} , quando as plantas foram submetidas a 60 dias de exposição à salinidade, e de 4,46% por dS m^{-1} , quando as plantas foram expostas à salinidade por 105 dias.

De forma semelhante ocorreu para a massa seca dos frutos por planta que obteve uma redução de 4,37% por dS m^{-1} na solução nutritiva, isso para as plantas submetidas a 105 dias de exposição à salinidade, porém para o período de 60 dias de exposição os dados médios obtidos para essa variável não se ajustaram aos modelos linear ou cúbico. Já para a massa seca por fruto não foi registrado interação entre a salinidade e o tempo de exposição à salinidade, mas essa variável também foi afetada pelo aumento dos níveis salinos, tendo reduzido sua produção em 2,07% por dS m^{-1} .

Os efeitos negativos da salinidade na produção das plantas são relatados por vários pesquisadores tanto para o cultivo em solo como para o cultivo hidropônico (Cosme et al., 2011; Gomes et al., 2011; Freire et al., 2010; Santos et al., 2010; Amor et al., 2001; Katerji et al., 1998). A salinidade pode causar problemas de natureza osmótica, restringindo a absorção de água e de nutrientes; de toxicidade, com acúmulo de íons específicos ou por distúrbios na nutrição das plantas, refletindo diretamente no metabolismo, no desenvolvimento e na produção das plantas (Taiz & Zeiger, 2009).

Segundo Maas & Hoffmann (1977), o tomateiro é classificado como uma cultura moderadamente sensível à salinidade com decréscimo, em termos de produção relativa em função do aumento unitário da condutividade elétrica do extrato de

saturação do solo, de 9,0% por dS m^{-1} . Valor esse relativamente alto comparado ao encontrado neste estudo para a produção de frutos em função do aumento unitário da salinidade, que foi de 5,66% dS m^{-1} . Porém, os autores acima citados, referem-se à produção relativa do tomateiro cultivado em solo e neste experimento utilizou-se o cultivo hidropônico e tem-se visto que nessa técnica as plantas são menos prejudicadas pelo estresse salino (Santos et al., 2010).

Outros autores trabalhando a cultura do tomate em hidroponia também obtiveram valores próximos aos do presente estudo para as perdas em produção relativa em função do aumento da salinidade, sendo estes valores de 5,2; 5,3; 7,7 e 6,7% por dS m^{-1} encontrados por Amor et al. (2001), Magán et al. (2008), Cosme et al. (2011) e Gomes et al. (2011), respectivamente. Já os autores Katerji et al. (1998), Oliveira et al. (2007) e Campos et al. (2007) em cultivo de solo encontraram valores bem próximo ao apresentado por Maas & Hoffmann (1977), quais sejam, 9,3; 9,9 e 9,5% por dS m^{-1} , o que corrobora a hipótese de que o cultivo hidropônico minimiza os efeitos da salinidade sobre as culturas.

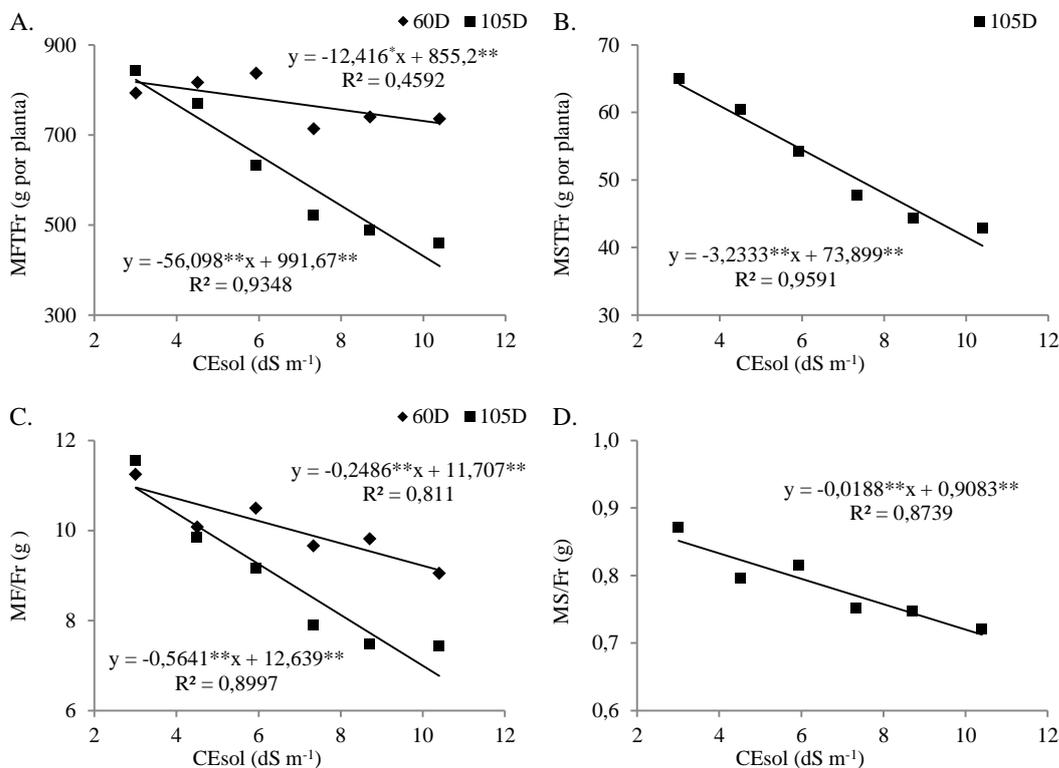


Figura 5. Análise de regressão para o efeito do fator salinidade da solução nutritiva (CEsol) dentro do fator tempo de exposição à salinidade para as variáveis massa fresca

dos frutos por planta (MFTFr), massa seca dos frutos por planta (MSTFr), massa fresca por fruto (MF/Fr) e massa seca por fruto (MS/Fr) do tomate cereja cv. “Rita”

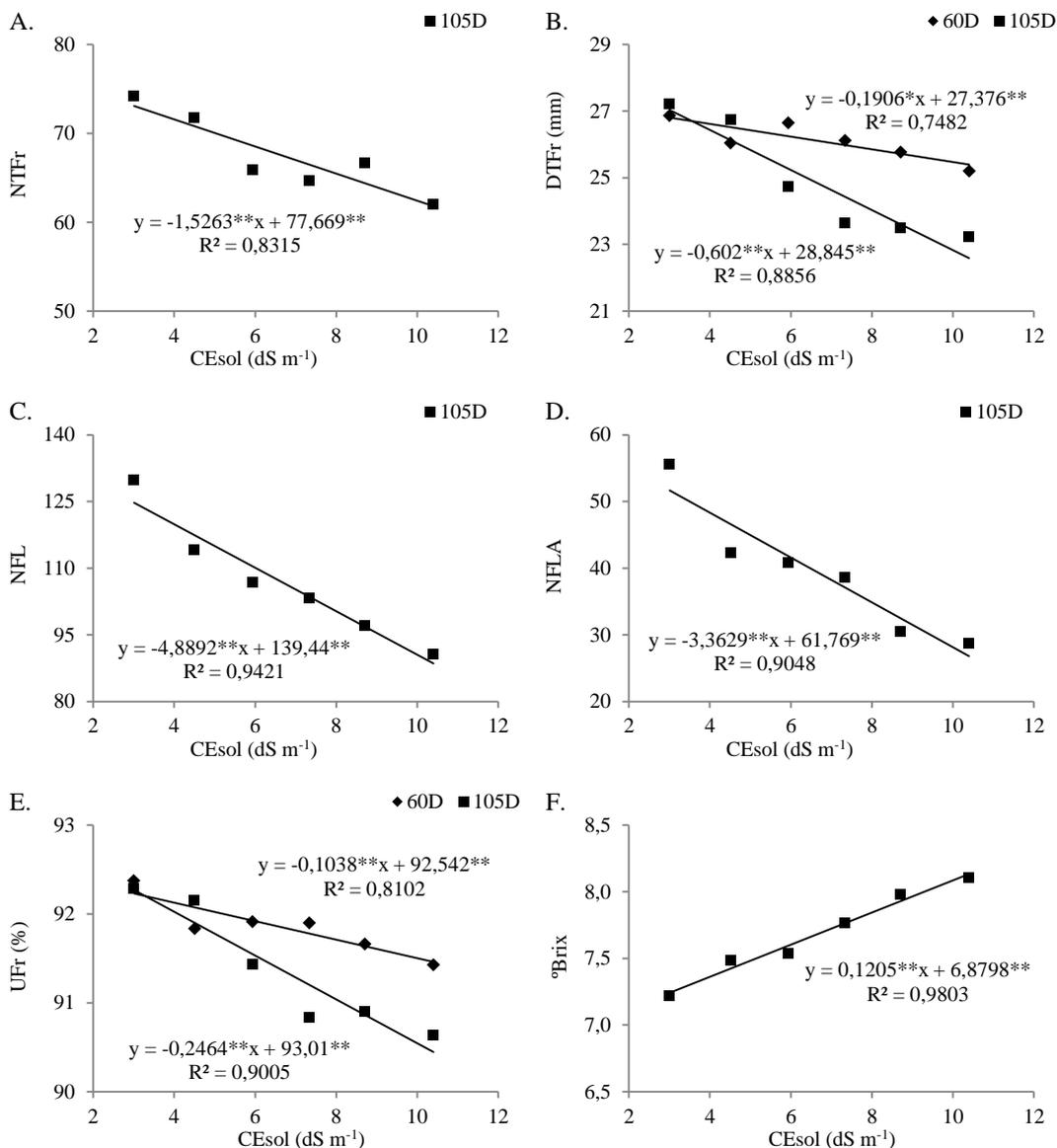


Figura 6. Análise de regressão para o efeito do fator salinidade da solução nutritiva (CEsol) dentro do fator tempo de exposição à salinidade para as variáveis número de frutos por planta (NTFr), diâmetro transversal dos frutos (DTFr), número de flores por planta (NFL), número de flores abortadas por planta (NFLA), teor de águas dos frutos (UFr) e teor de sólidos solúveis da polpa dos frutos ($^{\circ}$ Brix) do tomate cereja cv. “Rita”

A salinidade também influenciou a emissão de flores pelas plantas de tomate cereja, reduzindo o número de flores por planta (NFL) em 3,51% por dS m^{-1} . Por outro

lado, as plantas responderam ao aumento da salinidade com uma redução no número de flores abortadas (NFLA) em 5,44% por dS m^{-1} , consequentemente as plantas, mesmo sendo afetadas pela salinidade, tiveram uma redução menos acentuada no número total de frutos por planta (NTFr), sendo essa redução de 1,96% por dS m^{-1} . Esse comportamento foi observado nas plantas que foram submetidas a 105 dias de exposição à salinidade, já para as plantas expostas pelo período de 60 dias não sentiram efeitos significativos da salinidade.

Outra estratégia de adaptação das plantas frente ao estresse salino foi a diminuição no tamanho dos frutos, visto pela redução da massa fresca (MF/Fr) e seca (MS/Fr) por fruto (Figura 5) e pela redução do diâmetro transversal dos frutos (DTFr) (Figura 6). Essa redução no DTFr foi de 0,70% quando as plantas foram submetidas a 60 dias de exposição à salinidade e de 2,09% quando as plantas foram expostas por 105 dias.

A salinidade também afetou o teor de água dos frutos (UFr), reduzindo esse valor em 0,11% quando as plantas foram submetidas à solução salinizada por um período de 60 dias e em 0,26% quando o meio de cultivo das plantas foi salinizado por um período de 105 dias. Como consequência na redução do teor de águas dos frutos houve um aumento no teor de sólidos solúveis dos frutos ($^{\circ}\text{Brix}$), o que pode conferir ao fruto um sabor mais adocicado.

O desdobramento das interações, considerando os efeitos do tempo de exposição à salinidade dentro dos níveis de salinidade da solução nutritiva, mostrou ainda que diferenças entre as médias das variáveis foram observadas principalmente dentro dos maiores níveis de salinidade da solução.

Tabela 9. Comparação entre médias para o efeito do fator tempo de exposição à salinidade (TES) dentro dos níveis de salinidade da solução nutritiva (CEsol) para as variáveis massa fresca dos frutos por planta (MFTFr), massa seca dos frutos por planta (MSTFr), número de frutos por planta (NTFr), massa fresca por fruto (MF/Fr) e massa seca por fruto (MS/Fr) do tomate cereja cv. “Rita”

CEsol (dS m ⁻¹)	TES	MFTFr ----- (g por planta) -----	MSTFr	NTFr	MF/Fr (g)	MS/Fr (g)
3,01	60 dias	793,08a	60,44a	71a	11,24a	0,85a
	105 dias	841,98a	64,95a	74a	11,54a	0,89a
DMS		94,38	8,20	13,52	1,26	0,08
4,51	60 dias	816,34a	66,54a	76a	10,08a	0,82a
	105 dias	769,05a	60,41b	72a	9,83a	0,77a
DMS		77,77	6,54	7,36	1,26	0,09
5,94	60 dias	837,35a	67,84a	81a	10,49a	0,85a
	105 dias	632,55b	54,20b	66b	9,16b	0,78a
DMS		78,39	8,14	7,31	1,10	0,08
7,34	60 dias	713,48a	57,63a	78a	9,66a	0,78a
	105 dias	520,85b	47,68b	65b	7,88b	0,72a
DMS		78,38	6,17	9,47	1,08	0,10
8,71	60 dias	739,67a	61,50a	76a	9,81a	0,81a
	105 dias	488,59b	44,33b	67b	7,47b	0,68b
DMS		89,20	7,39	8,45	1,01	0,08
10,40	60 dias	735,78a	63,11a	80a	9,05a	0,75a
	105 dias	458,10b	42,79b	62b	7,43b	0,70a
DMS		43,39	3,69	9,36	1,43	0,12

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 10. Comparação entre médias para o efeito do fator tempo de exposição à salinidade (TES) dentro dos níveis do fator salinidade da solução nutritiva (CEsol) para as variáveis diâmetro transversal dos frutos (DTFr), número de flores por planta (NFL), número de flores abortadas por planta (NFLA), teor de água dos frutos (UFr) e teor de sólidos solúveis da polpa dos frutos (°Brix) do tomate cereja cv. “Rita”

CEsol (dS m ⁻¹)	TES	DTFr (mm)	NFL	NFLA	UFr (%)	°Brix
3,01	60 dias	26,9a	110b	38b	92,4a	7,30a
	105 dias	27,2a	130a	56a	92,3a	7,14a
DMS		1,47	18,21	11,89	0,38	0,28
4,51	60 dias	26,0a	113a	37a	91,8a	7,52a
	105 dias	26,7a	114a	42a	92,1a	7,44a
DMS		1,16	11,86	6,54	0,42	0,31
5,94	60 dias	26,7a	127a	46a	91,9a	7,42a
	105 dias	24,7b	107b	41a	91,4b	7,65a
DMS		1,30	11,69	9,23	0,35	0,31
7,34	60 dias	26,1a	114a	36a	91,9a	7,71a
	105 dias	23,6b	103a	39a	90,8b	7,81a
DMS		1,29	9,96	10,66	0,37	0,33
8,71	60 dias	25,8a	114a	38a	91,7a	7,89a
	105 dias	23,5b	97b	31a	90,9b	8,07a
DMS		1,39	10,29	9,00	0,51	0,46
10,40	60 dias	25,2a	118a	38a	91,4a	8,08a
	105 dias	23,2b	91b	29b	90,6b	8,13a
DMS		0,96	13,64	7,38	0,41	0,50

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Os resultados mostram que a partir da condutividade elétrica da solução nutritiva (CEsol) de 5,94 dS m⁻¹ o tempo em que as plantas foram submetidas à solução salinizada influenciou a produção de massa fresca de frutos por planta (MFTFr) dentro de cada nível de salinidade até o nível mais alto de CEsol (10,40 dS m⁻¹). As plantas que foram submetidas à solução salinizada somente a partir de 60 DAT até 120 DAT (60 dias de exposição à salinidade) tiveram os melhores rendimentos de frutos dentro dos níveis de salinidade comparados aos das plantas que experimentaram o estresse salino desde os 15 DAT até 120 DAT, ou seja, 105 dias de exposição à salinidade.

Esse comportamento foi acompanhado pela massa fresca por fruto (MF/Fr), número de frutos por planta (NTFr), diâmetro transversal dos frutos (DTFr) e pelo teor de água dos frutos (UFr) que sofreram os efeitos do tempo de exposição à salinidade

dentro de cada nível salino, diferenciando as médias dessas variáveis com melhores rendimentos para as plantas que foram submetidas à solução salinizada por um período de 60 dias. Também foi registrado diferenças entre as médias da variável massa seca de frutos por plantas (MSTFr) a dentro dos níveis de salinidade, porém essas ocorreram desde a CEsol de 4,51 dS m⁻¹ até 10,40 dS m⁻¹ e para a massa seca por fruto (MS/Fr) só houve diferença dentro do nível de salinidade da solução de 8,71 dS m⁻¹. Já para as variáveis número de flores (NFL) e número de flores abortadas (NFLA) as diferenças entre as médias ocorreram de forma aleatória dentro dos níveis de salinidade, para NFL foram observadas diferenças nos níveis 3,01; 5,94; 8,71 e 10,40 dS m⁻¹ e para NFLA as diferenças ocorreram nas CEsol de 3,01 e 10,40 dS m⁻¹. Para o teor de sólidos solúveis (°Brix) não foi observado efeito do tempo de exposição à salinidade dentro dos diferentes níveis salinos.

A melhor resposta produtiva das plantas de tomate cereja expostas à salinidade por menor tempo (60 dias) também pode ter sido influenciada pela estratégia de manejo adotada para a aplicação da solução nutritiva preparada com água salobra, na qual foi aplicada no período de 60 a 120 DAT. Isso permitiu um melhor desenvolvimento das plantas na fase inicial do ciclo de cultivo que por sua vez responderam com melhor produtividade, comparadas às plantas que foram submetidas à salinidade no período de 15 a 120 DAT.

Resultados semelhantes foram encontrados por Cosme et al. (2011) e Amor et al. (2001), estudando a resposta do tomateiro em cultivo hidropônico submetido a solução nutritiva em diferentes níveis de salinidade aplicada em diferentes épocas do ciclo de cultivo do tomate, em ambos os trabalhos os autores observaram que as plantas de tomate sofreram menores perdas produtivas quando a salinidade da solução nutritiva foi aplicada mais tardiamente. As reduções nos componentes de produção da cultura do tomate em função do tempo de exposição à salinidade já foi mencionado por Maas (1993). Segundo esse autor a influência da salinidade sobre a produtividade das plantas é determinada por vários fatores, dentre eles a cultivar, o estágio fenológico, a composição salina do meio, a intensidade e a duração do estresse, as condições edafo-climáticas e o manejo da irrigação.

A comparação das médias aplicada ao fator turno de rega tomado isoladamente mostrou que para as variáveis massa fresca por fruto (MF/Fr) e teor de água dos frutos (UFr) o melhor manejo da irrigação foi quando se irrigou uma vez por dia (TR1) (Tabela 11).

Tabela 11. Comparação de médias entre os turnos de rega para as variáveis massa fresca por fruto (MF/Fr) e teor de água dos frutos (UFr) do tomate cereja cv. “Rita”

Turno de rega	MF/Fr (g)	UFr (%)
TR1	9,76 a	91,72 a
TR2	9,18 b	91,50 b
DMS	0,43	0,14

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TR1 – uma irrigação por dia; TR2 – uma irrigação a cada dois dias

A interação entre o turno de rega e a salinidade da solução nutritiva ocorreu apenas para o teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) e o seu desdobramento mostrou que a salinidade promoveu um incremento no $^{\circ}$ Brix dos frutos de tomate cereja, sendo esse incremento 2,20% por dS m^{-1} , dentro do turno de rega no qual a irrigação foi feita uma vez a cada dia (TR1) e de 1,33% por dS m^{-1} , quando a irrigação foi feita uma vez a cada dois dias (TR2) (Figura 7).

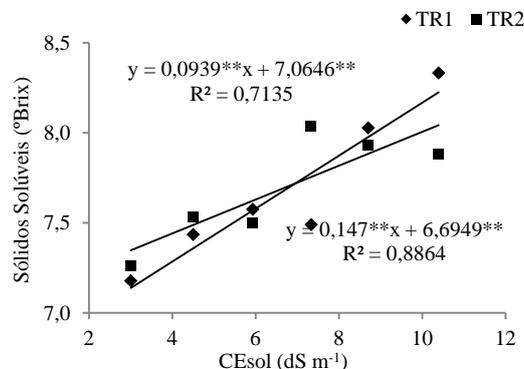


Figura 7. Análise de regressão para o efeito do fator salinidade da solução nutritiva (CEsol) dentro do fator tempo de exposição à salinidade para a variável teor de sólidos solúveis da polpa dos frutos ($^{\circ}$ Brix) de tomate cereja cv. “Rita”

Já o desdobramento da interação dentro dos níveis de salinidade da solução nutritiva mostrou que o manejo da irrigação em dois turnos de rega (TR1 e TR2) promoveu diferença entre as médias apenas dentro dos níveis de salinidade 7,34 e 10,40 dS m^{-1} (Tabela 12).

Tabela 12. Comparação entre médias para o efeito do fator turno de rega (TR) dentro dos níveis do fator salinidade da solução nutritiva (CEsol) para o teor de sólidos solúveis da polpa dos frutos (°Brix) do tomate cereja cv. “Rita”

CEsol (dS m ⁻¹)	TR	°Brix
3,01	TR1	7,2 a
	TR2	7,3 a
DMS		0,28
4,51	TR1	7,4 a
	TR2	7,5 a
DMS		0,31
5,94	TR1	7,6 a
	TR2	7,5 a
DMS		0,31
7,34	TR1	7,5 b
	TR2	8,0 a
DMS		0,33
8,71	TR1	8,0 a
	TR2	7,9 a
DMS		0,46
10,4	TR1	8,3 a
	TR2	7,9 b
DMS		0,50

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TR1 – uma irrigação por dia; TR2 – uma irrigação a cada dois dias

A adoção de um turno de rega com um intervalo maior entre os eventos de irrigação é possível devido à capacidade de armazenamento de água pelo substrato, que para o pó de coco utilizado neste experimento foi de 1,51 g g⁻¹, com isso, para os 2,0 kg de substrato por vaso usado neste estudo a quantidade de água armazenada foi de 3,02 litros, aproximadamente cinco vezes mais a quantidade de água aplicada por dia para o tratamento menos salino, que demandou mais água (Figura 4).

Dessa forma, o aumento do intervalo entre as irrigações, quando se utiliza água salobra no preparo da solução nutritiva, pode ser analisado por duas vertentes: uma do ponto de vista econômico, já que os eventos de irrigação são reduzidos com o aumento desse intervalo, diminuindo o custo com energia; e outra do ponto de vista do acúmulo de sais no meio de cultivo, já que a utilização de águas com elevadas concentrações salinas promovem a adição de sais, salinizando o meio de cultivo de forma progressiva ao longo do tempo.

Cosme et al. (2011) conduziram um experimento para avaliar a produção do tomate em cultivo hidropônico com pó de coco, utilizando diluições do rejeito da dessalinização de água salobra no preparo da solução nutritiva, sendo estas aplicadas diariamente até a capacidade máxima de retenção de água do substrato (sem lixiviação). Os autores perceberam que houve um aumento da condutividade elétrica do extrato de saturação do substrato em função da aplicação da solução salinizada durante o ciclo de cultivo com variações no tratamento mais salino que iniciaram com $13,6 \text{ dS m}^{-1}$ e chegaram a atingir $33,7 \text{ dS m}^{-1}$.

Esse comportamento também foi observado por Santos et al. (2010) cultivando alface em sistema hidropônico NFT utilizando água salobra em diferentes níveis de salinidade no preparo da solução nutritiva. Os autores observaram variações da condutividade elétrica da solução nutritiva de $7,0$ até $12,0 \text{ dS m}^{-1}$, em um período de 23 dias de cultivo.

A cultura do tomate possui um ciclo de cultivo relativamente longo, com pelo menos 120 dias. Em casos em que se utiliza água com altas concentrações de sais e sem o manejo adequado, o acúmulo desses sais terá estreita relação com o tempo e o número de eventos de irrigação. O aumento progressivo da concentração de sais no meio de cultivo pode dificultar ainda mais a absorção de água e nutrientes pelas plantas, diminuindo ainda mais a produção das plantas.

Para a interação entre os fatores tempo de exposição à salinidade e turno de rega o desdobramento revelou que dentro do tempo de exposição à salinidade no qual as plantas foram submetidas ao uso de solução nutritiva salinizada desde os 15 até os 120 dias após o transplantio (DAT), ou seja, 105 dias de exposição, o turno de rega com uma irrigação a cada dois dias (TR2) aumentou o número de frutos por planta (NTFr) em 9,86% e diminuiu em 20,45% o número de flores abortadas (NFLA) em comparação ao turno de rega em que se aplicava uma irrigação por dia (TR1). Já para as plantas que foram expostas à salinidade somente 60 DAT o turno de rega não promoveu efeito sobre as variáveis (Tabela 13).

O efeito do tempo de exposição à salinidade da solução nutritiva dentro dos turnos de rega só foi observado para a variável número de frutos por planta (NTFr). No turno de rega no qual as plantas recebiam irrigação uma vez por dia (TR1) o maior tempo de exposição (105 dias) à salinidade promoveu uma redução de 17,95% no NTFr em comparação com as plantas submetidas ao menor tempo de exposição (60 dias), já

dentro do turno de rega com uma irrigação a cada dois dias (TR2) essa diferença foi de 6,58% (Tabela 14).

Tabela 13. Comparação entre médias para o efeito do fator turno de rega (TR) dentro do fator tempo de exposição à salinidade (TES) para as variáveis número de frutos por planta (NTFr) e número de flores abortadas (NFLA) do tomate cereja cv. “Rita”

TES	TR	NTFr	NFLA
105 dias	TR1	64 b	44 a
	TR2	71 a	35 b
DMS		5,0	5,9
60 dias	TR1	78 a	39 a
	TR2	76 a	39 a
DMS		5,3	6,4

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TR1 – uma irrigação por dia; TR2 – uma irrigação a cada dois dias

Tabela 14. Comparação entre médias para o efeito do fator tempo de exposição à salinidade (TES) dentro do fator turno de rega (TR) para as variáveis número de frutos por planta (NTFr) e número de flores abortadas (NFLA) do tomate cereja cv. “Rita”

TR	TES	NTFr	NFLA
TR1	105 dias	64 b	44 a
	60 dias	78 a	39 a
DMS		4,8	5,8
TR2	105 dias	71 b	35 a
	60 dias	76 a	39 a
DMS		5,4	6,6

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; TR1 – uma irrigação por dia; TR2 – uma irrigação a cada dois dias

4. CONCLUSÕES

É possível utilizar água salobra no preparo da solução nutritiva para o cultivo hidropônico de tomate cereja cv. Rita, pelo menos até o valor de $7,5 \text{ dS m}^{-1}$ de salinidade da água;

A salinidade da solução nutritiva afetou negativamente o rendimento da cultura do tomate cereja cv. “Rita”.

A aplicação de solução nutritiva salinizada a partir de 60 dias após o transplântio promoveu menores perdas produtivas da cultura do tomate cereja cv. “Rita” em comparação as plantas submetidas a 105 dias de exposição à salinidade.

A adoção do turno de rega com uma irrigação a cada dois dias não afetou a produção do tomate cereja cv. “Rita”, quando comparado ao turno de rega com uma irrigação por dia.

REFERÊNCIAS

AGUIAR NETTO, A. O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BLANCO, F. F. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE, Brasil. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, p. 1640-1645, 2007.

AMOR, F. M.; MARTINEZ, V.; CERDÁ, A. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. **HortScience**, v. 36, n. 7, p. 1260-1263, 2001.

ANDRIOLO, J. L.; ROSS, T. D.; WITTER, M. Crescimento, desenvolvimento e produtividade do tomateiro cultivado em substrato com três concentrações de nitrogênio na solução nutritiva. **Ciência Rural**, vol.34, n.5, p. 1451-1457, 2004.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

CAMPOS, C. A. B.; FERNANDES, P. D.; GHEYI, H. R.; BLANCO, F. F. Tomato growth and dry matter partitioning as a function of the irrigation water quality. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 3, p. 239-246, 2007.

COSME, C. R.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, E. M. M.; SOUSA NETO, O. N. Produção de tomate hidropônico utilizando rejeito da dessalinização na solução nutritiva aplicados em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 499-504, 2011.

COSTA, A. M. B.; MELO, J. G.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 67-82, 2006.

FREIRE, A. L. O.; SARAIVA, V. P.; MIRANDA, J. R. P.; BRUNO, G. B. Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, supl. 1, p. 1133-1144, 2010.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 1.ed. Campinas: IAC, 1999. 52p. (Boletim técnico 180).

GARCIA, G. O.; MARTINS FILHO, S.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; NAZÁRIO, A. A. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, v. 39, n. 01, p. 7-18, 2008.

GENUNCIO, G. C.; SILVA, R. A. C.; SÁ, N. M.; ZONTA, E.; ARAÚJO, A. P. Produção de cultivares de tomateiro em hidroponia e fertirrigação sob razões de nitrogênio e potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 446-452, 2010.

GOMES, J. W. S.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; BLANCO, F. F.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento e produção de tomate cereja em sistema hidropônico com rejeito de dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 850-856, 2011.

KATERJI, N.; VAN HOORN, J. W.; HAMDY, A.; MASTRORILLI, M. Response of tomatoes, a crop of indeterminate growth, to soil salinity. **Agricultural Water Management**, v. 38, p. 59-68, 1998.

MAAS, E. V.; HOFFMAN, G. J. Crop salt tolerance: current assessment. **Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE**, v. 103, n. IR2, p. 115-134, 1977.

MAAS, E. V. Crop salt tolerance. In: Tanji, K. K. (ed.). **Agricultural salinity assessment and management manual**. New York: ASCE, 1990. cap. 13, p. 262-304.

MAAS, E. V. Testing Crops for Salinity Tolerance. In: MARANVILLE, J. W.; BAIIGAR, B. V.; DUNCAN, R. R.; YOHE, J.M. (eds.). **Adaptation of Plants to Soil Stresses**. INTSORMIL. Pub. 94-2. Lincoln, NE: University of Nebraska. 1993.

MAGÁN, J. J.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B.; LORENZO, P. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. **Agricultural Water Management**, v. 95, p.1041-1055, 2008.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Frequência de irrigação por gotejamento durante o estágio vegetativo do tomateiro para processamento industrial. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 40, n. 7, p. 661-666, 2005.

MONTE, J. A.; PACHECO, A. S.; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C. Influência do turno de rega no crescimento e produção do tomateiro no verão em Seropédica. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 222-227, 2009.

OLIVEIRA, B. C.; CARDOSO, M. A. A.; OLIVEIRA, J. C.; OLIVEIRA, F. A.; CAVALCANTE, L. F. Características produtivas do tomateiro submetido a diferentes níveis de sais, na água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 11-16, 2007.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 961-969, 2010.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. Produção de alface em NFT e Floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 319-326, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

CAPÍTULO III

ESTRATÉGIA PARA O USO DE ÁGUA SALOBRA NO CULTIVO HIDROPÔNICO DO TOMATE CEREJA EM SUBSTRATO E OS ACÚMULOS DE NUTRIENTES NO TECIDO FOLIAR

RESUMO: Objetivou-se com este trabalho avaliar as concentrações dos macronutrientes no tecido foliar do tomate cereja sob cultivo hidropônico com substrato em função da salinidade da solução nutritiva (SN) preparada com água salobra, do tempo de exposição à salinidade e do turno de rega. O experimento foi conduzido em casa de vegetação com estrutura hidropônica em vasos contendo pó de coco. O delineamento experimental foi em blocos inteiramente casualizados em esquema fatorial 6x2x2 com três repetições, sendo os fatores: seis níveis de salinidade da SN preparada com água salobra (3,01; 4,51; 5,94; 7,34; 8,71 e 10,40 dS m⁻¹, CEsol); dois tempos de exposição à salinidade (desde os 15 até 120 dias após transplantio (DAT) e desde os 60 até 120 DAT) e dois turnos de rega (uma irrigação por dia e uma irrigação a cada dois dias). Para obtenção da água com diferentes níveis de salinidade para o preparo da SN, utilizou-se como referência a composição química da água salobra subterrânea de um poço tubular de uma região semiárida. A salinidade da SN afetou as concentrações dos macronutrientes. A alta concentração de sais das águas utilizada no preparo da solução nutritiva afetaram as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cloro e sódio no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”, principalmente em função de interações antagônicas entre íons, sendo a elevada concentração de Na e Cl do meio de cultivo, a principal responsável por essas interações. O menor tempo de exposição à salinidade promoveu melhor condição para absorção e acúmulo dos macronutrientes nas folhas do tomate cereja. O turno de rega isoladamente não afetou as concentrações dos nutrientes no tecido foliar do tomate cereja, porém promoveu interação com a salinidade da SN para as concentrações de nitrogênio, cálcio e magnésio.

Palavras-chave: *Lycopersicon esculentum mill*, semiárido, nutrição mineral

STRATEGY FOR USE BRACKISH WATER IN CROP CHERRY TOMATO IN HYDROPONIC SYSTEM WITH SUBSTRATE AND ACCUMULATIONS OF NUTRIENTS IN THE TISSUE LEAF

ABSTRACT: The aim of this study was to evaluate the macronutrients accumulation in leaf tissue of cherry tomato grown in hydroponic system with substrate under salinity levels of the nutrient solution (SN), time of exposure to salinity and irrigation frequency. The experiment was conducted in a greenhouse with hydroponic structure in pots containing coir dust. The experimental design was randomized blocks, in a factorial scheme 6 x 2 x 2 with three replications, testing three factors: six salinity levels of SN prepared with brackish water (3.01, 4.51, 5.94, 7.34, 8.71 and 10.40 dS m⁻¹); two exposure times to salinity (60 and 105 days) and two irrigation frequency (one irrigation for day and one irrigation the each two days). To obtain different water salinity levels to prepare the SN, was used as reference chemical composition of the brackish ground water of a semiarid region. The macronutrients accumulation in leaf tissue of cherry tomato was affected by salinity of the SN. The high salt concentration of the water used to prepare the nutrient solution affected the nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, magnesium, sulfur, chlorine and sodium accumulation in the tissue leaves of cherry tomato cv. "Rita", mainly due to antagonistic interactions between ions, and the high concentration of Na and Cl in the medium of grown, the main responsible for these interactions. The shorter time of exposure to salinity promoted better condition for absorption and accumulation of macronutrients in the leaves of cherry tomato. The irrigation frequency alone did not affect the nutrient concentrations in the leaves of cherry tomatoes, but promoted interaction with the salinity of SN for concentrations of nitrogen, calcium and magnesium.

Keywords: *Lycopersicon esculentum mill*, semiarid, mineral nutrition

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, de maneira geral, os cultivos hidropônicos são mais comuns nas regiões Sul e Sudeste. Porém, nos últimos anos se tem testemunhado o avanço da hidroponia nas demais regiões brasileira, inclusive na região nordeste (Mathias, 2008).

A região Nordeste possui características edafoclimáticas que desfavorecem o cultivo convencional de plantas, tendo em vista a altas as demandas por água necessária para a irrigação e as baixas disponibilidades desse recurso nessa região.

A hidroponia possui características que favorecem sua indicação para regiões Semiáridas do Nordeste, já que o uso eficiente da água e a maior tolerância à salinidade pelas plantas são algumas das vantagens desse tipo de cultivo (Santos et al., 2011; Santos et al., 2010; Gomes et al., 2011).

A hidroponia pode potencializar o uso das escassas reservas hídricas dessas regiões. Porém, a qualidade da água utilizada no preparo da solução nutritiva e na manutenção da evapotranspiração é um fator que merece atenção nesse sistema de cultivo, principalmente em relação à salinidade.

A condutividade elétrica da água (ou solução) é o parâmetro mais utilizado para identificação de salinidade, e sua medida sofre influência das concentrações de sais da água. Costa et al. (2006), estudando os aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, observaram que a condutividade elétrica, num contexto geral (espacial), variaram de 0,03 a 24,32 dS m⁻¹, com um valor médio de 4,36 dS m⁻¹ e um desvio padrão de 4,49.

Nas regiões semiáridas é comum a ocorrência de água subterrânea salobra devido a sua geologia, sendo a composição química dessa água dependente da composição da rocha a qual ela tem contato, e da facilidade de dissolução dessa rocha (Oliveira et al., 2010; Costa et al., 2006). Esses mesmos autores apontam os ânions HCO₃⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻ e os cátions Ca²⁺, Mg²⁺, e Na⁺ como sendo os principais íons encontrados nas águas subterrâneas dessas regiões e afirmam também que estes são os principais responsáveis pelo aumento da condutividade elétrica dessas reservas hídricas.

Com isso, essas águas quando utilizada no preparo de soluções nutritivas promovem alterações no equilíbrio iônico e no pH desse meio, podendo ocorrer reação de precipitação de sais ou de interações antagônicas entre íons no processo de absorção radicular. Segundo Fageria (2001), a interação entre nutrientes em cultivo de plantas ocorrem quando o suprimento de um nutriente afeta a absorção de outro, sendo essa

interação mais comum quando a concentração de um íon específico está em excesso no meio de cultivo.

Alguns trabalhos têm sido conduzidos com o objetivo de estudar as relações de interação, principalmente do Na^+ e do Cl^- com os demais nutrientes, no processo de absorção das raízes de plantas cultivadas sob estresse salino. Maggio et al. (2007) conduziram um trabalho em cultivo hidropônico utilizando a cultura do tomate cereja (Licata F1-COIS 94) submetida à níveis crescentes de salinidade, produzidos a partir da aplicação de NaCl e CaCl à água do preparo da solução nutritiva, esses autores observaram que tanto em folhas novas como em folhas maduras a concentração de Cl^- e de Na^+ aumentaram com o aumento da condutividade elétrica, ao contrario do Ca^{2+} e do K^+ que diminuiriam suas concentrações nos tecidos foliares.

Resultados semelhantes foram encontrados por Bosco et al. (2009) estudando a cultura da berinjela cultivada em hidroponia sob condição salina. Esses autores registraram para o acúmulo de K^+ uma correlação inversa com o acúmulo Na^+ , aumentando a relação Na^+/K^+ nos tecidos vegetais.

Outra possível interação também observada por Bosco et al. (2009) foi que a salinidade provocou a redução dos teores de N total, tendo sido essa redução atribuída, provavelmente, ao efeito antagônico do Cl^- sobre a absorção de NO_3^- , e como em solução nutritiva a maior quantidade do N encontra-se na forma nítrica (Rodrigues, 2002) a diminuição da absorção desse ânion tem forte influência sobre a concentração do N total no tecido foliar.

Os acúmulos de íons na planta também sofre variação com o tempo de exposição à salinidade. Amor et al. (2001) cultivando tomate (cv. Daniela) em sistema hidropônico com substrato aplicando solução nutritiva em diferentes níveis de salinidade e em diferentes fases do desenvolvimento da cultura observaram efeito da salinidade e do tempo de exposição à salinidade sobre os acúmulos de nutrientes, sendo a intensidade dos efeitos negativos menores quando a aplicação da solução nutritiva salinizada foi feita mais tardiamente. Os autores constataram que os acúmulos de Na^+ e de Cl^- foram menores quando o tempo de exposição à salinidade foi menor.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do uso de água salobra no preparo da solução nutritiva sobre os acúmulos dos macronutrientes, cloro e sódio no tecido foliar das plantas de tomate cereja cultivadas em sistema hidropônico com pó de coco, submetidas a diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, sob dois tempos de exposição à salinidade e sob dois turnos de rega.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para a avaliação dos efeitos do uso de água salobra no preparo da solução nutritiva sobre os acúmulos dos macronutrientes nas folhas do tomate cereja foi conduzido um experimento em casa de vegetação no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, no período de 13 de maio a 10 de setembro de 2013, utilizando um sistema hidropônico em vasos com pó de coco para o cultivo do tomate cereja.

2.1. Estrutura experimental

A casa de vegetação utilizada possuía 7 m de largura, 24 m de comprimento e 3 m de pé direito, com cobertura do tipo arco e filme de polietileno de baixa densidade com 150 µm de espessura, tratado contra a ação dos raios ultravioletas e com difusor de luz. As paredes laterais e frontais foram confeccionadas com telas de nylon, cor preta, com 50% de sombreamento.

No interior da casa de vegetação foram montadas tábuas sobre tijolos que serviram de apoio aos vasos utilizados para o cultivo hidropônico do tomate com substrato. Os vasos possuíam volumes de 8,0 litros e neles foram colocados uma camada de brita com 2,0 cm de altura e cobertas por uma manta geotêxtil com a finalidade de permitir a drenagem do sistema. Após a montagem do sistema de drenagem o primeiro vaso foi preenchido até a borda com pó de coco seco, o que resultou em uma massa de 2,0 kg desse substrato.

Esse valor foi utilizado como padrão para o preenchimento dos demais vasos. A padronização no preenchimento dos vasos, principalmente referente à quantidade de substrato, foi observada para evitar variações na quantidade de água disponível para cada planta, em função do acúmulo de água por massa de substrato.

Após o preparo dos vasos esses eram postos dentro de recipientes (bacia) que possuíam 20 cm de diâmetro e 10 cm de altura. Esses tinham a função de reter a drenagem da solução excedente e auxiliar no controle da irrigação.

Para o conhecimento da capacidade máxima de retenção de água do substrato foi realizado um teste, pesando três vasos preenchidos com pó de coco seco e em seguida pesando esses vasos após saturação e drenagem do excesso de água. Por diferença entre o peso do substrato na capacidade máxima de retenção de água e o peso do substrato seco foi determinando o volume de água acumulado na capacidade máxima

de retenção do vaso, obtendo-se um valor médio de 3,02 litros de água acumulada para 2,00 kg de pó de coco. Cada vaso correspondeu a uma parcela experimental e cada parcela possuía uma planta de tomate cereja da cv. “Rita”.

Para a sustentação das plantas foi instalado um sistema de tutoramento com mourões espaçados a cada 3,0 m no sentido das linhas de planta e um arame passando no mesmo sentido a 2,0 m de altura da superfície do solo. Este tutoramento auxiliou no suporte das plantas para conduzi-las a um crescimento vertical.

Na casa de vegetação foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, por meio do qual aplicou-se a solução nutritiva para as plantas de cada tratamento. O sistema de irrigação possuía 12 reservatórios, cada um com capacidade para 200 litros e onde foram armazenadas as soluções nutritivas dos diferentes tratamentos. Aos reservatórios foram acopladas seis bombas elétricas do tipo centrífuga (uma bomba para cada dois reservatórios que correspondia a um mesmo nível de salinidade da solução nutritiva). Na tubulação de recalque foi instalado um dispositivo para controlar a pressão do sistema (mangueira de retorno equipada com um registro) e seis conjuntos de torneiras de passagem cada um com seis pontos de distribuição de solução nutritiva, dando origem a 36 linhas de derivação (mangueira de polietileno na cor preta, DN 16 e PN 30). Para cada tratamento existia uma linha de derivação com gotejadores autocompensante com vazão nominal de 4 L h^{-1} (Netafim - modelo PCJ-CNL), sendo os gotejadores direcionados cada um a uma repetição do tratamento, conectados as respectivas linhas de derivação (tratamento) por um microtubo com 5,0 mm de diâmetro.

O controle da distribuição da solução nutritiva nos seus diferentes níveis de salinidade, tempo de exposição à salinidade e turno de rega foi feito pelo acionamento das bombas e pela abertura e fechamento das torneiras de passagens.

2.2. Aquisição e transplântio das mudas

As Mudas de tomate cereja cv. “Rita” foram adquiridas de viverista especializado 20 dias após a semeadura, tendo essas sido produzidas em bandeja de 200 células preenchida com pó de coco.

As mudas foram mantidas em bandeja até 30 dias após a semeadura, nesse período as mesmas foram irrigadas com solução nutritiva indicada por Furlani et al. (1999) para a cultura do tomateiro, sendo essa preparada com 50% de diluição. Aos 30 dias após a semeadura 180 plantas foram transplantadas para os vasos preenchidos com

pó de coco previamente umedecidos até a capacidade máxima de retenção de água, deixando uma planta por vaso e distribuídas na casa de vegetação, utilizando um espaçamento entre plantas de 0,5 m e entre linhas de 1,0 m, obtendo uma densidade de plantio de 20.000 plantas por hectare. Nesse momento as plantas foram mantidas em regime de aclimação até o 15º dia após o transplantio (DAT), no qual todas as plantas recebiam de forma manual solução nutritiva indicada por Furlani et al. (1999) para o cultivo do tomate. Após esse período deu-se início aos tratamentos com salinização.

2.3. Preparo da água e da solução nutritiva

A água do abastecimento público da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) foi salinizada adicionando-se sais na tentativa de alcançar, o mais próximo possível, a composição química da água salobra oriunda do aquífero subterrâneo da Comunidade Poço do Boi, localizada no Município de Ibimirim, região semiárida do Estado de Pernambuco, que possuía condutividade elétrica de $1,7 \text{ d S m}^{-1}$, promovida principalmente pela presença dos seguintes íons: $\text{K} = 2,7 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Ca} = 74,2 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Mg} = 71,9 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Na} = 179,8 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{SO}_4 = 133,4 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Cl} = 383,7 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{CO}_3 = 52,9$ e $\text{HCO}_3 = 361,2 \text{ mg L}^{-1}$ (Santos et al., 2010). Na salinização da água foram utilizados os seguintes sais: MgCl_2 ; CaCl_2 ; KCl ; NaCl ; NaHCO_3 ; CaCO_3 ; MgSO_4 , nas seguintes concentrações: 200 g m^{-3} ; 155 g m^{-3} ; 6 g m^{-3} ; 230 g m^{-3} ; 450 g m^{-3} ; 80 g m^{-3} , respectivamente. A determinação da quantidade de cada sal utilizado na salinização da água foi feita com base na estequiometria dos sais.

Após a determinação da quantidade de sais para se produzir uma água com concentrações químicas e condutividade elétrica semelhante a da água subterrânea salobra de Poço do Boi, empregou-se os cálculos de proporção direta para encontrar as quantidades de sais necessárias para obterem-se as condutividades elétricas de: 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e $7,5 \text{ dS m}^{-1}$.

Após o preparo da água e antes do preparo da solução nutritiva o pH da água já salinizada foi ajustado para um valor próximo a 5,0 (cinco), com o intuito de evitar a precipitação de sais no momento do preparo da solução nutritiva em função dos elevados valores de pH (em média 7,9) desse tipo de água devido à presença de CO_3^- e HCO_3^- .

A formulação da solução nutritiva utilizada neste trabalho seguiu as recomendações de Furlani et al. (1999) para o cultivo hidropônico do tomateiro, bem como as substituições da solução em suas distintas fases vegetativas, quais sejam: Fase

A – compreende o período que vai da semeadura até 30 dias após o transplante das mudas, possuindo concentrações de $\text{NO}_3 = 135 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{NH}_4 = 35 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{P} = 52 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{K} = 314 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Ca} = 152 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Mg} = 40 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{S} = 70 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{B} = 0,50 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Cu} = 0,05 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Fe} = 2,40 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Mn} = 0,75 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Mo} = 0,06 \text{ mg L}^{-1}$, Fase B – período entre 30 e 60 dias após o transplante das mudas, nessa fase, em relação a fase A, são aumentadas as concentrações de $\text{NO}_3 = 150 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{NH}_4 = 37 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{K} = 326 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Ca} = 190 \text{ mg L}^{-1}$, Já a Fase C – vai de 60 dias após o transplante das mudas até o término da colheita e são alteradas as concentrações de $\text{NO}_3 = 164 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{NH}_4 = 38 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{K} = 409 \text{ mg L}^{-1}$; $\text{Ca} = 209 \text{ mg L}^{-1}$. Todos os tratamentos recebiam a mesma formulação de nutrientes aplicadas sempre após o preparo e ajuste de pH das águas em suas diferentes condutividades elétricas.

Os valores médios de condutividade elétrica das águas obtidos em cada tratamento ao longo do experimento após a salinização foram de 0,08; 1,57; 2,96; 4,52; 6,04 e 7,49 dS m^{-1} e da solução nutritiva foram de 3,01; 4,51; 5,94; 7,34; 8,71 e 10,40 dS m^{-1} . O pH da solução foi ajustado sempre que necessário mediante adição de KOH ou HNO_3 , visando mantê-lo na faixa de 5,0 a 7,0.

2.4. Tratamentos

Os efeitos do uso de água salobra no preparo da solução nutritiva sobre os aspectos nutricionais das plantas de tomate cereja cultivadas em hidroponia com substrato foram analisados estudando três fontes de variação: salinidade da solução nutritiva (CESol); tempo de exposição à salinidade (TES) e turno de rega (TR) (intervalo entre uma irrigação e outra).

As plantas foram submetidas a seis diferentes níveis de salinidade da solução nutritiva, promovidos pelo uso de fertilizantes (solução nutritiva padrão) e pelo uso de fertilizantes mais águas salinizadas (solução nutritiva salinizada) (3,01; 4,51; 5,94; 7,34; 8,71 e 10,40 dS m^{-1}).

As soluções salinizadas foram aplicadas em duas épocas diferentes dentro do ciclo de cultivo: desde os 15 dias após o transplantio (DAT) até 120 DAT e desde os 60 DAT até 120 DAT, ficando as plantas submetidas a dois tempos de exposição à salinidade.

As plantas ainda foram submetidas a dois turnos de rega: um possuía um evento de irrigação por dia (TR1) e o outro um evento de irrigação a cada dois dias (TR2). Os

eventos de irrigação tinham a função de elevar a umidade do substrato sempre à capacidade máxima de retenção de água (solução) em ambos os turnos de rega.

2.5. Manejo da irrigação

Os eventos de irrigação foram realizados seguindo as regras estabelecidas para a fonte de variação “turno de rega”, sendo o controle quantitativo da irrigação iniciado com o acionamento das bombas conectadas aos reservatórios de cada tratamento e cessado à medida que formava-se uma lâmina de solução de aproximadamente 1,0 cm dentro do recipiente que ficava abaixo dos vasos. Esse controle foi feito por observação de uma das repetições de cada tratamento, sendo essa repetição alternada a cada evento de irrigação. O tempo entre o início e o final das irrigações de cada tratamento foi anotado e esse valor multiplicado pela vazão dos gotejadores determinando assim o volume de solução aplicado a cada irrigação.

Com a estrutura e o manejo adotado não havia drenagem de solução para fora do sistema. A solução nutritiva foi aplicada e a drenagem do vaso contida pelo recipiente que ficava abaixo de cada vaso e voltava ao substrato por capilaridade a medida que o substrato secava.

2.6. Monitoramento climático

Diariamente foram monitorados os seguintes dados climáticos: a temperatura e a umidade relativa máxima e mínima do ar no interior da casa de vegetação, utilizando um sensor de temperatura e umidade relativa do ar da marca Campbell, Modelo HMP45C, instalado no centro da casa de vegetação a 2,0 m de altura em relação à superfície do solo; a temperatura do ar, utilizando sensor termopar tipo “T” instalado próximo à entrada e ao fundo da casa de vegetação a 2,0 m de altura em relação à superfície do solo e a temperatura da solução nutritiva e do substrato, utilizando sensor termopar tipo “T”, instalados dentro de um reservatório de solução nutritiva e dentro de um vaso de planta, respectivamente. Todos os sensores estavam conectados a um multiplexador modelo AM16/32B e a um datalogger modelo CR1000, ambos da marca Campbell, programado para realizar leituras a cada 30 segundos e registrar as médias diárias.

Os registros de temperaturas coletados durante o experimento indicaram que no interior da casa de vegetação a temperatura máxima atingiu 35,1 °C e a temperatura

mínima 19,0 °C. Já os valores de temperatura média no centro, próximo à entrada e ao fundo da casa de vegetação registraram valores próximo a 25,5 °C. A temperatura da solução nutritiva acompanhou esses valores e atingiu a média de 25,7 °C, já a temperatura média do substrato foi de 26,0 °C.

Em relação à umidade relativa no interior da casa de vegetação foram registrados valores médios de 97,2 e 61,4% para as umidades máxima (UR max) e mínima (UR min), respectivamente, durante o ciclo de cultivo do tomate cereja (Figura 2.3 B).

2.7. Determinação das concentrações de nutrientes no tecido foliar da cultura do tomate cereja

Para avaliação das concentrações dos nutrientes nas folhas das plantas foi coletada uma amostra do tecido foliar de três repetições de cada tratamento. A amostragem foi feita 66 DAT e oito dias após a primeira colheita, coletando a folha situada entre o terceiro e o quarto cacho.

Dessa forma, para a análise das concentrações dos nutrientes no tecido foliar, considerando o tempo de exposição à salinidade, as plantas foram submetidas a 51 dias de exposição, para os tratamentos em que a solução nutritiva salinizada foi aplicada desde os 15 DAT, e de seis dias de exposição à salinidade para as plantas dos tratamentos que foram submetidas à salinidade somente a partir dos 60 DAT.

A amostragem foi feita nesse período para que essa representasse o momento em que a planta encontrava-se no seu estágio de maior vigor e de plena produção, ao contrário do que acontece ao final do ciclo de cultivo (120 DAT), no qual a grande maioria das folhas está em processo de senescência.

Para determinar as concentrações dos nutrientes no tecido foliar o material vegetal foi seco em estufa à 70°C até atingir massa constante, posteriormente as amostra foram trituradas e em seguida digeridas para obtenção dos extratos específicos para a determinação de N, P, K, Ca, Mg, S, Cl e Na, seguindo a metodologia descrita por Bezerra Neto e Barreto (2011).

Para a determinação do teor de N total nas folhas das plantas de tomate cereja, utilizou-se a digestão sulfúrica e destilação pelo método Kjeldahl. Para determinação dos teores P, K, Ca, Mg, S, Cl e Na foi empregada a digestão nítrica em forno de micro ondas e, posteriormente, determinando o teor de P por colorimetria, os teores de K e Na por fotometria de emissão de chama, os teores de Ca e Mg por espectrometria de

absorção atômica, o teor de S por turbidimetria do sulfato de bário e o teor de Cl, por titulação com nitrato de prata.

2.8. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o bloco inteiramente casualizado, em esquema fatorial $6 \times 2 \times 2$ (níveis de salinidade da solução, tempo de exposição à salinidade e turno de rega, respectivamente). Três blocos foram dispostos no sentido longitudinal da casa de vegetação e neles foram distribuídos 24 tratamentos. Cada bloco possuía uma repetição de cada tratamento, totalizando 72 parcelas experimentais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F para as fontes de variação “níveis de salinidade”, “tempo de exposição à salinidade” “turno de rega”, bem como, para os efeitos dos blocos e de interações.

Para os efeitos sobre as variáveis estudadas, causados pela fonte de variação “salinidade da solução nutritiva”, foi aplicada análise de regressão, ajustando modelos polinomiais, selecionados após análise dos parâmetros da equação pelo teste F a 5% de probabilidade e pelo maior valor do coeficiente de determinação. Já para os efeitos sobre as variáveis estudadas dentro das fontes de variação “turno de rega” e “tempo de exposição à salinidade” os dados foram analisados pela comparação de médias utilizando o teste de Tukey a uma probabilidade de 5% (Pimentel Gomes, 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Concentração dos macronutrientes no tecido foliar das plantas do tomate de cereja

De acordo com a análise de variância, a concentração dos macronutrientes e as relações estudadas entre eles no tecido foliar das plantas de tomate cereja cultivadas em sistema hidropônico em pó de coco, submetidas a seis níveis de salinidade da solução nutritiva (CESol), dois tempos de exposição à salinidade (TES) e dois turnos de rega (TR), não sofreram os efeitos dos blocos, exceto para a concentração de sódio (Na) e para a relação entre o sódio e o cálcio (Na/Ca). Já o fator salinidade da solução nutritiva influenciou significativamente a concentração dos nutrientes no tecido foliar e as relações entre eles, com exceção apenas para a concentração de fósforo (P) que não sofreu o efeito da salinidade da solução. O tempo de exposição no qual as plantas foram submetidas à solução salinizada também afetou a concentração dos macronutrientes e as

relações entre eles, exceto para as concentrações de nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Já o turno de rega não produziu efeito sobre as concentrações da maioria dos nutrientes, afetando apenas a concentração de Ca nas folhas (Tabela 1 e 2).

Interações significativas ocorreram entre os fatores. Para os fatores salinidade da solução nutritiva e tempo de exposição à salinidade, observou-se efeito sobre as concentrações da maioria dos elementos estudados nas folhas do tomate cereja, exceto para as concentrações de fósforo (P) e enxofre (S). Também foi registrada interação entre os fatores salinidade da solução nutritiva e turno de rega, que afetou as concentrações dos elementos estudados, com exceção do fósforo (P), potássio (K) e enxofre (S). Já entre os fatores tempo de exposição à salinidade e turno de rega não houve interação. Para a análise dos três fatores avaliados, observou-se que a interação tripla se pronunciou apenas nas concentrações de nitrogênio (N) e magnésio (Mg) (Tabela 1 e 2).

Tabela 1. Análise de variância aplicada às concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) nas folhas do tomate cereja cv. “Rita” em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol), do tempo de exposição à salinidade (TES) e do turno de rega (TR)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio					
		N	P	K	Ca	Mg	S
BLOCO	2	2,1568 ^{ns}	1,3322 ^{ns}	1,5237 ^{ns}	0,4630 ^{ns}	0,0838 ^{ns}	7,1064 ^{ns}
CEsol	5	9,3167 ^{**}	1,1731 ^{ns}	23,2223 ^{**}	4,9895 ^{**}	3,9951 ^{**}	33,9510 ^{**}
TES	1	2,1081 ^{ns}	14,3648 ^{**}	152,3676 ^{**}	0,5850 ^{ns}	6,2128 ^{**}	52,2753 ^{**}
TR	1	1,1150 ^{ns}	0,1663 ^{ns}	0,0005 ^{ns}	6,2835 [*]	0,4434 ^{ns}	3,7037 ^{ns}
CEsol*TES	5	5,8020 [*]	0,7337 ^{ns}	10,5207 ^{**}	2,6316 [*]	0,8409 ^{**}	5,8241 ^{ns}
CEsol*TR	5	5,4499 [*]	1,1328 ^{ns}	2,2074 ^{ns}	5,6760 ^{**}	0,3563 [*]	3,7691 ^{ns}
TES*TR	1	0,5033 ^{ns}	0,7001 ^{ns}	0,5512 ^{ns}	0,2037 ^{ns}	0,0834 ^{ns}	5,8767 ^{ns}
CEsol*TES*TR	5	4,3263 [*]	0,2490 ^{ns}	2,9434 ^{ns}	1,8020 ^{ns}	0,3676 [*]	0,8660 ^{ns}
Erro	46	1,7386	0,7076	1,5769	0,9114	0,1178	5,5852
CV (%)		4,38	11,87	3,77	6,43	4,03	20,08

* e ** significativo a 1 e 5% probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{ns} não significativo pelo teste F.

Tabela 2. Análise de variância aplicada às concentrações de cloro (Cl) e sódio (Na) e as relações entre sódio e potássio (Na/K), sódio e cálcio (Na/Ca) e cloreto e nitrogênio (Cl/N) nas folhas do tomate cereja cv. “Rita” em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol), do tempo de exposição à salinidade (TES) e do turno de rega (TR)

Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		Cl	Na	Na/K	Na/Ca	Cl/N
BLOCO	2	14.4560 ^{ns}	1.0799*	0.0007 ^{ns}	0,0060*	0,0064 ^{ns}
CEsol	5	363.7095**	22.5456**	0.0299**	0,0917**	0,5243**
TES	1	1474.1545**	186.9211**	0.2335**	0,8515**	1,8177**
TR	1	8.2350 ^{ns}	0.3403 ^{ns}	0.0003 ^{ns}	0,00001 ^{ns}	0,0050 ^{ns}
CEsol*TES	5	105.4069**	10.8372**	0.0154**	0,0421**	0,1648**
CEsol*TR	5	1.9588 ^{ns}	0.4801 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0,0019 ^{ns}	0,0018 ^{ns}
TES*TR	1	3.4716 ^{ns}	0.4818 ^{ns}	0.0007 ^{ns}	0,0009 ^{ns}	0,0012 ^{ns}
CEsol*TES*TR	5	2.8932 ^{ns}	0.5091 ^{ns}	0.0004 ^{ns}	0,0008 ^{ns}	0,0079 ^{ns}
Erro	46	5.9352	0.3147	0.0003	0.0017	0,0081
CV (%)		8,84	12.02	12,50	12.96	9,72

* e ** significativo a 1 e 5% probabilidade pelo teste F, respectivamente; ^{ns} não significativo pelo teste F.

A análise de regressão aplicada às concentrações do enxofre (S) nas folhas do tomate cereja mostrou que houve um aumento linear desse nutriente em função do aumento da salinidade da solução nutritiva (Figura 1). Esse resultado diverge dos resultados encontrado por Freire et al. (2010) que não registrou efeito da salinidade na concentração de S nas folhas.

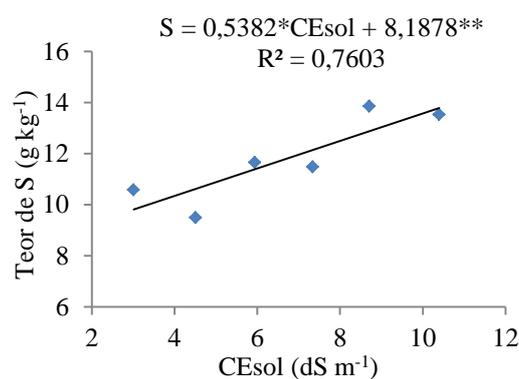


Figura 1. Análise de regressão para a concentração de enxofre (S) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita” em função da salinidade da solução nutritiva (CEsol)

Para concentração do P nas folhas do tomate cereja não houve efeito da

salinidade, por outro lado, a concentração desse nutriente nas folhas, considerando o tempo de exposição à salinidade da solução nutritiva, observou-se que as plantas que estavam submetidas a um maior tempo de exposição à salinidade no momento da amostragem das folhas, ou seja, 51 dias de exposição, apresentaram a menor média de concentração quando comparadas com as plantas que estavam submetidas a um menor tempo de exposição à salinidade, ou seja, seis dias de exposição (Tabela 3).

Esse resultado pode estar relacionado com as características químicas da água utilizada no preparo da solução nutritiva, provavelmente, ocorreu indisponibilidade do P por precipitação ou em função do pH da solução, promovendo uma menor absorção desse nutriente pelas plantas submetidas à salinidade aplicada desde os 15 dias após o transplante (DAT). Já às plantas que foram submetidas à salinidade apenas a partir da segunda metade do ciclo de cultivo dispuseram de condições mais favoráveis para a absorção do P, uma vez que recebiam solução nutritiva não salinizada até os 60 DAT.

Para o S, observou-se um aumento da concentração desse nutriente no tecido foliar quando as plantas de tomate cereja foram submetidas ao tratamento com maior tempo de exposição à salinidade (Tabela 3).

Tabela 3. Comparação entre as médias da concentração de fósforo (P) e enxofre (S) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita” em função do tempo de exposição à salinidade da solução nutritiva (TES)

TES	P	S
	----- (g kg ⁻¹) -----	
51 dias	6,64 b	12,62 a
6 dias	7,53 a	10,92 b
DMS	0,41	1,10

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O desdobramento das interações revelou que os níveis de salinidade da solução nutritiva promoveram efeitos diferenciados dentro do fator tempo de exposição à salinidade. Para as concentrações dos nutrientes nitrogênio (N) e potássio (K) no tecido foliar do tomate cereja, houve uma redução linear em função do aumento nos níveis de salinidade da solução nutritiva, sendo essa redução mais acentuada quando as plantas foram submetidas a um maior tempo de exposição à salinidade (51 dias) com reduções relativas de 1,12% e 2,15 % por dS m⁻¹ para o N e o K, respectivamente, e quando as plantas foram expostas à salinidade por um menor tempo (6 dias) a redução relativa na

concentração foliar do N foi de 0,76% por dS m^{-1} . O K não sofreu o efeito da salinidade quando a irrigação com solução salinizada foi aplicada somente 60 (DAT), ou seja, seis dias de exposição à salinidade, considerando a coleta das amostras aos 66 DAT (Figura 2A e Figura 5A).

Já as concentrações de sódio (Na) e cloro (Cl) nas folhas do tomate cereja, aumentaram linearmente em função do incremento nos níveis de salinidade da solução nutritiva. Esse aumento foi mais acentuado quando as plantas foram submetidas à salinidade desde os 15 DAT (51 dias de exposição à salinidade), aumentando as concentrações em termos relativos em 89,68% e 22,59% por dS m^{-1} para o Na e o Cl, respectivamente, e quando as plantas foram expostas à salinidade por um menor tempo (6 dias) o aumento relativa na concentração foliar do Na e do Cl foi de 8,44 e 6,94% por dS m^{-1} , respectivamente (Figura 2C e Figura 2D).

Comportamento semelhante para as concentrações de Na e Cl foi observado por vários autores (Hajiaghaei-Kamrani & Hosseinniya, 2013; Fan et al., 2011; Freire et al., 2010; Maggio et al., 2007) e para vários genótipos (Raja et al., 2012; Dasgan et al., 2002) da cultura do tomate cultivadas em condições de estresse salino.

A redução da concentração de N nas folhas com o aumento da salinidade pode ter ocorrido devido ao aumento da absorção e acúmulo de Cl nos tecidos das plantas. Esse comportamento pode está relacionado com o processo absorção dos nutrientes e a interação antagônica existente entre o NO_3^- e o Cl^- . Segundo Fageria a absorção e transporte do NO_3^- são limitados em condições de salinidade devido ao efeito antagônico com o Cl^- .

Esse antagonismo também pode ser observado por Blanco et al. (2008) estudando os efeitos de doses de N aplicadas no tomateiro via fertirrigação com água salina. Os autores observaram uma redução da relação Cl/N com o aumento das doses de N. Em outro estudo Bosco et al. (2008), trabalhando com a cultura da berinjela em condições de estresse salino observaram redução na concentração do N nas folhas das plantas com o aumento da salinidade.

A respeito do K, em condições de alta salinidade em meio com elavada concentração de Na a sua absorção é reduzida, isso devido à interação antagônica existente entre eles. Esses íons competem pelos mesmos sítios de absorção na membrana plasmática das células radiculares (Taiz & Zeiger, 2009). Esse fato refletiu na proporção entre esses elementos, produzindo um aumento linear da relação Na/K na folha do tomate cereja (Figura 3).

A redução da concentração do K no tecido foliar de plantas cultivadas em condições de salinidade é relatada por vários autores (Hajiaghaei-Kamrani & Hosseinniya, 2013; Sangtarashani et al., 2013; Kahlaoui et al., 2011; Oliveira et al., 2011). Esses autores também relacionam essa redução com o aumento da concentração de Na no meio de cultivo em condições salinas.

As concentrações de Ca e Mg no tecido foliar apresentaram comportamentos quadráticos em função do aumento da salinidade da solução nutritiva, diferenciando-se dentro do fator tempo de exposição à salinidade. Para a concentração de Ca nas folhas das plantas que foram submetidas a um menor tempo de exposição à salinidade não foram registrados efeitos do estresse salino, já para a concentração desse nutriente por um maior tempo de exposição aos sais o modelo resultante apresentou comportamento crescente até um máximo de concentração, quando a salinidade alcançava o valor de $7,40 \text{ dS m}^{-1}$. Após esse ponto a concentração decrescia com o aumento da salinidade.

Por outro lado, a concentração de Mg nas folhas do tomate cereja apresentou comportamento decrescente até uma concentração mínima, quando a salinidade da solução foi de $4,65 \text{ dS m}^{-1}$, isso quando as plantas foram submetidas a um maior tempo de exposição à salinidade e de $6,24 \text{ dS m}^{-1}$, quando as plantas foram exposta à salinidade por um menor tempo. A partir desses pontos a concentração de Mg na folhas aumentava com a salinidade (Figura 2B e Figura 5B).

Freire et al. (2010), trabalhando com o cultivo em solo do tomate, irrigando esse com água salobra, também observaram comportamento quadrático para a concentração de Ca nas folhas do tomateiro cv. Meia Estaca e constataram que a concentração máxima foi obtida com a salinidade de $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ da água de irrigação e que a partir desse ponto ocorria uma redução na concentração de Ca nas folhas. Os autores relacionaram à redução na concentração de Ca no tecido foliar a uma possível substituição do Ca pelo K, Na ou H (hidrogênio).

No presente trabalho, houve um aumento da relação Na/Ca com o aumento da salinidade, que ocorreu provavelmente pelo elevado acúmulo de Na nas folhas (Figura 3B), já que o cálcio, mesmo oscilando, manteve-se em concentrações adequadas para a cultura do tomate, que é de $14,0$ a $18,0 \text{ g kg}^{-1}$, segundo Bezerra neto & Barreto (2011).

Já segundo Martinez et al. (1997), o Ca tem pouca ou nenhuma mobilidade no floema e aproveita do fluxo transpiratório para o seu deslocamento, sendo levado às diversas partes da planta acompanhando o movimento ascendente da água. Por essa

razão, as relações hídricas e os diversos fatores que as afetam estão altamente relacionados com a ocorrência de distúrbios fisiológicos ligados ao Ca.

O comportamento da concentração foliar do Mg em função do aumento da salinidade pode ser atribuído à interação antagônica desse nutriente com o Ca. Segundo Fageria (2001) a concentração do Mg é reduzida em meio com alta concentração de Ca.

A água utilizada no preparo da solução nutritiva deste estudo possuía alta concentração de Ca e Mg (ver seção 2.3), o que proporcionou um aumento da absorção do Ca até um determinado ponto com a máxima concentração desse nutriente em função da salinidade, após esse ponto a absorção reduzia com o aumento da salinidade. Já o Mg teve absorção reduzida até o ponto de mínima concentração em função da salinidade e aumento da sua absorção após esse ponto. Esse resultado mostra que à medida que o Ca aumentava sua absorção o Mg diminuía e o inverso ocorria quando a absorção do Ca reduzia a de Mg aumentava.

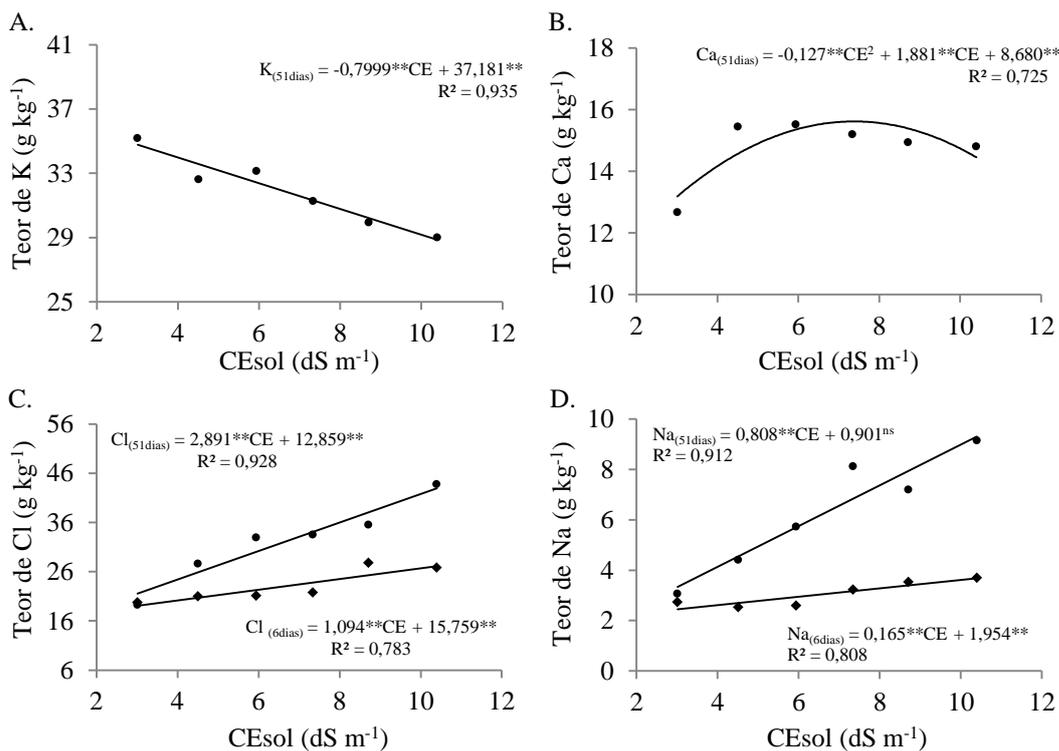


Figura 2. Análise de regressão no desdobramento do efeito da salinidade da solução nutritiva (CESol) dentro do tempo de exposição à salinidade (TES) sobre as concentrações de potássio (K), cálcio (Ca), cloro (Cl) e sódio (Na) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

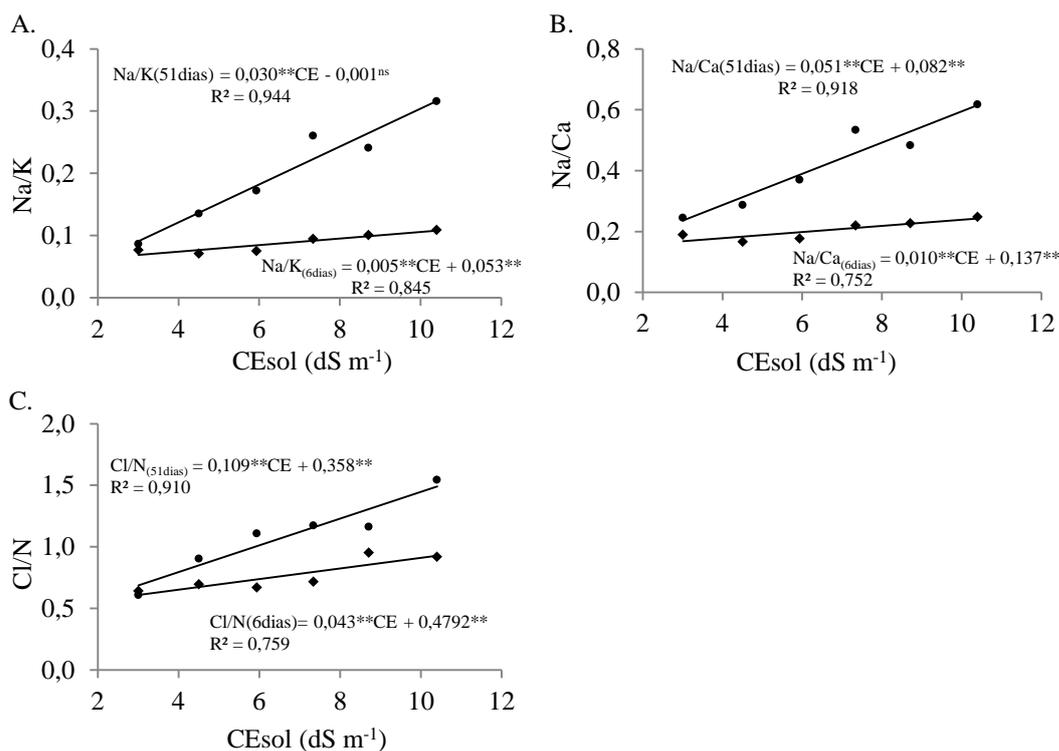


Figura 3. Análise de regressão no desdobramento do efeito da salinidade da solução nutritiva (CEsol) dentro do tempo de exposição à salinidade (TES) sobre as relações de concentração dos nutrientes sódio/potássio (Na/K), sódio/cálcio (Na/Ca) e cloro/nitrogênio (Cl/N) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

O efeito do tempo de exposição à salinidade dentro dos níveis salinidade sobre a concentração do N nas folhas das plantas do tomate cereja, diferenciou-se apenas nos níveis 5,94 e 7,34 $dS\ m^{-1}$ e apresentou maior média quando as plantas foram submetidas ao menor tempo de exposição ao estresse salino (Tabela 4).

Em relação ao K o tempo no qual as plantas foram submetidas à salinidade influenciou sua concentração nas folhas dentro da maioria dos níveis de salinidade, exceto para os níveis 3,01 $dS\ m^{-1}$, referente a solução nutritiva padrão que foi preparada com água doce, e o nível 5,94 $dS\ m^{-1}$. O menor tempo de exposição à salinidade promoveu melhor condição para absorção do K, resultando em menores valores para a relação Na/K (Tabela 5). Esse resultado difere dos observados por Amor et al. (2001), que não registrou efeito do tempo de exposição à salinidade na concentração de K na folha de tomate.

A concentração de Ca não foi afetada dentro dos níveis de salinidade. Já a concentração de Mg, diferiu-se dentro dos níveis 4,51; 5,95 e 10,40 $dS\ m^{-1}$, com maior acúmulo desse nutriente quando as plantas foram submetidas a um maior tempo de

exposição à salinidade.

As concentrações de Cl e Na no tecido foliar da cultura do tomate cereja foram os elementos mais influenciados pelo tempo de exposição à salinidade dentro dos níveis de salinidade da solução nutritiva. As diferenciações entre os valores médio de concentração desses elementos nas folhas ocorreram na maioria dos níveis de salinidade da solução, exceto apenas para o nível 3,01 dS m⁻¹. Da mesma forma aconteceu para as relações Na/K, Na/Ca e Cl/N (Tabela 5).

Os maiores acúmulos desses elementos foram obtidos quando o tempo de exposição à salinidade foi maior, evidenciando que essas plantas não foram eficientes em evitar a absorção e translocação desses elementos para suas folhas. A absorção do Na em meio salino pode não ser inibida, e sua alta concentração no meio pode afetar o transporte de Ca para as raízes, alterando a estabilidade e a seletividade das membranas na absorção de íons (Tuna et al., 2007).

Tabela 4. Comparação de médias para o desdobramento do efeito do tempo de exposição à salinidade (TES) dentro da salinidade da solução nutritiva (CEsol) para as concentrações de nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

CEsol (dS m ⁻¹)	TES (dias)	N	K	Ca	Mg
		----- (g kg ⁻¹) -----			
3,01	51 dias	31,73a	35,17a	12,67a	8,25a
	6 dias	30,89a	35,55a	14,50a	8,48a
DMS		2,43	1,66	2,77	0,47
4,51	51 dias	30,63a	32,63b	15,44a	8,67a
	6 dias	30,29a	35,67a	15,20a	8,31b
DMS		2,81	2,06	1,60	0,16
5,94	51 dias	29,67b	33,14a	15,52a	8,40a
	6 dias	31,50a	34,45a	14,83a	7,30b
DMS		1,45	2,01	1,79	0,32
7,34	51 dias	28,62b	31,27b	15,20a	8,25a
	6 dias	30,45a	34,05a	14,65a	7,95a
DMS		1,50	1,54	1,36	0,79
8,71	51 dias	30,57a	29,95b	14,94a	9,33a
	6 dias	29,18a	34,94a	15,53a	8,40a
DMS		1,49	1,80	1,08	0,63
10,40	51 dias	28,33a	29,00b	14,80a	10,00a
	6 dias	29,28a	33,95a	14,95a	8,93b
DMS		1,36	1,31	0,77	0,71

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Tabela 5. Comparação de médias para o desdobramento do efeito do tempo de exposição à salinidade (TES) dentro da salinidade da solução nutritiva (CEsol) para as concentrações de cloro (Cl) e sódio (Na) e as relações sódio/potássio (Na/K), sódio/cálcio (Na/Ca) e cloro/nitrogênio (Cl/N) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

CEsol (dS m ⁻¹)	TES (dias)	Cl ----- (g kg ⁻¹)	Na -----	Na/K	Na/Ca	Cl/N
3,01	51 dias	19,27a	3,07a	0,09a	0,25a	0,61a
	6 dias	19,79a	2,73a	0,08a	0,19a	0,64a
DMS		3,24	0,94	0,02	0,07	0,10
4,51	51 dias	27,62a	4,41a	0,14a	0,29a	0,90a
	6 dias	20,98b	2,53b	0,07b	0,17b	0,70b
DMS		3,35	0,59	0,02	0,04	0,11
5,94	51 dias	32,91a	5,72a	0,17a	0,37a	1,11a
	6 dias	21,12b	2,60b	0,08b	0,18b	0,67b
DMS		4,05	1,09	0,03	0,08	0,13
7,34	51 dias	33,49a	8,12a	0,26a	0,53a	1,17a
	6 dias	21,76b	3,23b	0,09b	0,22b	0,72b
DMS		2,37	0,97	0,03	0,05	0,12
8,71	51 dias	35,52a	7,19a	0,24a	0,48a	1,16a
	6 dias	27,78b	3,53b	0,10b	0,23b	0,95b
DMS		3,01	0,48	0,02	0,02	0,11
10,4	51 dias	43,72a	9,14a	0,32a	0,62a	1,54a
	6 dias	26,81b	3,69b	0,11b	0,25b	0,92b
DMS		3,01	0,66	0,03	0,04	0,11

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

O efeito dos níveis de salinidade da solução nutritiva dentro do turno de rega foi observado apenas para as concentrações de N, Ca e Mg. O aumento dos níveis de salinidade promoveu uma redução linear nas concentrações de N nas folhas das plantas de tomate cereja, sendo essa redução mais acentuada dentro do turno de rega no qual as plantas recebiam irrigação uma vez por dia (Figura 5A).

Para o Ca e o Mg a concentração nas folhas desse nutrientes apresentou comportamento quadrático em função da salinidade da solução dentro dos turnos de rega, exceto para a concentração do Ca nas folhas das plantas que foram irrigadas uma vez a cada dois dias, que apresentou comportamento linear crescente em função do aumento da salinidade (Figura 4 e Figura 5B).

Dentre os fatores estudados os turnos de rega, com uma irrigação por dia (TR1) e uma irrigação a cada dois dias (TR2), foi o fator que menos afetou os acúmulos dos

nutrientes no tecido foliar. O uso de um maior intervalo entre as irrigações (TR2) promoveu um período maior em que a plantas ficavam sujeitas a uma menor disponibilidade de água. De forma absoluta, isso pode ter gerado um menor consumo de águas pelas plantas submetidas a esse tratamento. Esse fato pode ser relacionado com a capacidade de aclimação das plantas em condições de estresse. Uma das principais estratégias adaptativas das plantas frente ao estresse hídrico e salino é o fechamento dos estômatos para diminuir a demanda por água (Taiz & Zeiger, 2009). O cálcio é um elemento pouco móvel na planta e se aproveita do fluxo transpiratório para se distribuir dentro dela (Martinez et al., 1997), a redução do fluxo transpiratório pode ter influenciado a distribuição desse nutriente para as folhas das plantas do tomate cereja.

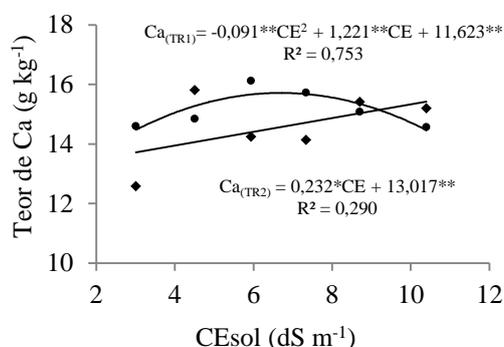


Figura 4. Análise de regressão no desdobramento do efeito da salinidade da solução nutritiva (CESol) dentro do tempo de exposição à salinidade (TES) sobre a concentração de cálcio (Ca) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

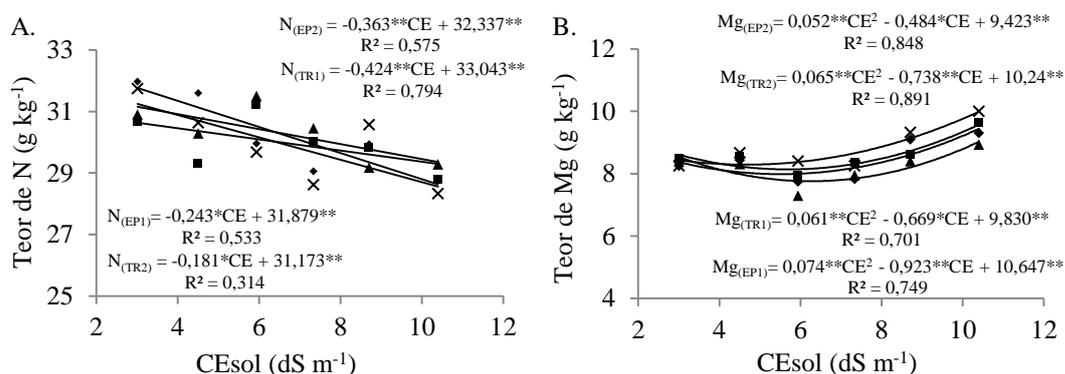


Figura 5. Análise de regressão no desdobramento do efeito da salinidade da solução nutritiva (CESol) dentro do tempo de exposição à salinidade (TES) e do turno de rega sobre as concentrações de nitrogênio (N) e magnésio (Mg) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

O efeito do turno de rega dentro dos níveis salinidade sobre a concentração do N nas folhas das plantas do tomate cereja, diferenciou-se apenas no nível 4,51 dS m⁻¹ e apresentou maior média quando as plantas foram irrigadas uma vez por dia (Tabela 6).

A concentração de Ca foi afetada pelo turno de rega dentro da maioria dos níveis de salinidade solução, exceto para os níveis 4,51 e 8,71 dS m⁻¹, e as maiores médias de concentração do Ca foram registradas para as plantas irrigadas uma vez por dia, exceto dentro do nível 10,40 dS m⁻¹ que obteve maior concentração desse nutriente quando a irrigação foi feita uma vez a cada dois dias.

Já a concentração de Mg, diferiu-se apenas dentro dos níveis de salinidade 7,34 e 8,71 dS m⁻¹, sendo que dentro do nível 7,34 dS m⁻¹ o maior acúmulo ocorreu nas plantas irrigadas uma vez a cada dois dias e no nível 8,71 dS m⁻¹ o maior acúmulo ocorreu quando as plantas foram irrigadas uma vez por dia (Tabela 6).

Tabela 6. Comparação de médias para o desdobramento do efeito do turno de rega (TR) dentro da salinidade da solução nutritiva (CEsol) para as concentrações de nitrogênio (N) e Cálcio (Ca) e magnésio (Mg) no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”

CEsol (dS m ⁻¹)	TR	N	Ca	Mg
		----- (g kg ⁻¹) -----		
3,01	TR1	31,97a	14,59a	8,25a
	TR2	30,66a	12,58b	8,48a
DMS		2,29		0,47
4,51	TR1	31,59a	14,84a	8,43a
	TR2	29,32b	15,80a	8,54a
DMS		2,13	1,41	0,32
5,94	TR1	29,95a	16,12a	7,75a
	TR2	31,22a	14,24b	7,95a
DMS		1,80	1,08	0,94
7,34	TR1	29,05a	15,72a	7,83b
	TR2	30,02a	14,13b	8,38a
DMS		1,96	0,63	
8,71	TR1	29,94a	15,07a	9,10a
	TR2	29,81a	15,40a	8,63b
DMS		1,87	1,15	
10,40	TR1	28,82a	14,56b	9,30a
	TR2	28,79a	15,19a	9,63a
DMS		1,56	0,59	1,09

Médias acompanhadas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

4. CONCLUSÕES

Os efeitos da salinidade da solução nutritiva sobre a concentração de nitrogênio e potássio no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita” ocorreram principalmente em função das interações antagônicas provocadas pela elevada concentração de sódio e cloro do meio de cultivo, provenientes da utilização de águas salobras.

A salinidade da solução nutritiva provocada pelo uso de água com elevada concentração de sais não afetou a concentração de fósforo no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”.

A salinidade da solução nutritiva provocada pelo uso de água com elevada concentração de sais afetou a concentração de cálcio no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”, que por sua vez afetou a concentração de magnésio por interação antagônica.

O menor tempo de exposição à salinidade da solução nutritiva promoveu melhor condição para a absorção e acúmulo dos nutrientes nitrogênio e potássio e diminuiu os acúmulos de cloro e sódio nas folhas do tomate cereja cv. “Rita”.

A adoção de um turno de rega com uma irrigação a cada dois dias não afetou a concentração de fósforo, potássio, enxofre, cloro e sódio nas folhas do tomate cereja cv. “Rita” comparado ao turno de rega com uma irrigação por dia, mas afetou as concentrações de nitrogênio, cálcio e magnésio.

REFERÊNCIAS

- AMOR, F. M.; MARTINEZ, V.; CERDÁ, A. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. **HortScience**, v. 36, n. 7, p. 1260-1263, 2001.
- BEZERRA NETO, E.; BARRETO, L. P. **Análises Químicas e Bioquímicas em Plantas**. Recife: UFRPE, 2011. 267p.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. Doses de N e K no tomateiro sob estresse salino: III. Produção e qualidade de frutos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 122-127, 2008.
- BOSCO, A. R. O.; OLIVEIRA, A. B.; HERNANDEZ, F. F. F.; LACERDA, C. F. Influência do estresse salino na composição mineral da berinjela. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p.157-164, 2009.
- COSME, C. R.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; OLIVEIRA, E. M. M.; SOUSA NETO, O. N. Produção de tomate hidropônico utilizando rejeito da dessalinização na solução nutritiva aplicados em diferentes épocas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 5, p. 499-504, 2011.
- COSTA, A. M. B.; MELO, J. G.; SILVA, F. M. Aspectos da salinização das águas do aquífero cristalino no Estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 20, n. 1, p. 67-82, 2006.
- DASGAN, H. Y.; AKTAS, H.; ABAK, K.; CAKMAK, I. Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. **Plant Science**, v. 163, p. 695-703, 2002.
- FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, n. 8, p. 1269-1290, 2001.
- FAN, M.; BIE, Z.; KRUMBEIN, A.; SCHWARZ, D. Salinity stress in tomatoes can be alleviated by grafting and potassium depending on the rootstock and K-concentration employed. **Scientia Horticulturae**, v. 130, p. 615-623, 2011.

FREIRE, A. L. O.; SARAIVA, V. P.; MIRANDA, J. R. P.; BRUNO, G. B. Crescimento, acúmulo de íons e produção de tomateiro irrigado com água salina. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, supl. 1, p. 1133-1144, 2010.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. 1.ed. Campinas: IAC, 1999. 52p. (Boletim técnico 180).

GOMES, J. W. S.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, A. M.; BLANCO, F. F.; SOUSA NETO, O. N. Crescimento e produção de tomate cereja em sistema hidropônico com rejeito de dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 850-856, 2011.

HAIAGHAEI-KAMRANI, M.; HOSSEINNIYA, H. Effect of salinity on nutrient uptake in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in hydroponic system. **International Journal of Agronomy and Plant Production**, v. 4, n. 10, p. 2729-2733, 2013.

KAHLAOU, B.; HACHICHA, M.; REJEB, M. N.; HANCHI, B.; MISLE, E. Effects of saline water on tomato under subsurface drip irrigation: nutritional and foliar aspects. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 11, n. 1, p. 69-86, 2011.

MAGGIO, A.; RAIMONDI, G.; MARTINO, A.; DE PASCALE, S. Salt stress response in tomato beyond the salinity tolerance threshold. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 276–282, 2007.

MARTINEZ, H. E. P.; BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L. Cultivo hidropônico do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Revista UNIMAR**, v. 19, n. 3, p. 721-740, 1997.

MATHIAS, M. NFT in Brazil. **Practical Hydroponics & Greenhouses**, p. 33-40, 2008.

OLIVEIRA, F. A.; CAMPOS, M. S.; OLIVEIRA, F. R. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; MEDEIROS, J. F.; MELO, T. K. Desenvolvimento e concentração de nitrogênio, fósforo e potássio no tecido foliar da berinjela em função da salinidade. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 6, n. 1, p. 37-45, 2011.

OLIVEIRA, C. N.; CAMPOS, V. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Avaliação e identificação de parâmetros importantes para a qualidade de corpos d'água no semiárido baiano.

Estudo de caso: bacia hidrográfica do rio salitre. **Química Nova**, v. 33, n. 5, p. 1059-1066, 2010.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

RAJA, S.; SHOKAT, S.; AZHAR, F. M.; AZHAR, M. T.; KHAN, A. A. Screening of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) genotypes at different salinity levels. **Journal of Plant Breeding and Crop Science**, v. 4, n. 6, p. 94-100, 2012.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. 1. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762p.

SHABANI-SANGTARASHANI, E.; TABATABAEI, S. J.; BOLANDNAZAR, S. Yield, Photosynthetic efficiency and Quality parameters of Cherry tomato as affected by Ca^{2+} and K^{+} under NaCl salinity. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 5, n. 12, p. 1280-1288, 2013.

SANTOS, A. N.; SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; SILVA, D. J. R.; MONTENEGRO, A. A. A. Cultivo hidropônico de alface com água salobra subterrânea e rejeito da dessalinização em Ibimirim, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 961–969, 2010.

SANTOS, A. N.; SILVA, E. F. F.; SOARES, T. M.; DANTAS, R. M. L.; SILVA, M. M. Produção de alface em NFT e Floating aproveitando água salobra e o rejeito da dessalinização. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 319-326, 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TUNA, A. L.; KAYA, C.; ASHRAF, M.; ALTUNLU, H.; YOKAS, I.; YAGMUR, B. The effects of calcium sulphate on growth, membrane stability and nutrient uptake of tomato plants grown under salt stress. **Environmental and Experimental Botany**, v. 59, p. 173-178, 2007.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A salinidade da solução nutritiva provocada pelo uso de água salobra afetou o rendimento de frutos do tomate cereja cv. “Rita” cultivado em hidroponia com substrato, sendo os efeitos mais acentuados quando as plantas foram submetidas a um maior tempo de exposição à salinidade.

A alta concentração de sais das águas utilizada no preparo da solução nutritiva afetaram as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cloro e sódio no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita”, principalmente em função de sua composição que promoveram processos antagônicos entre íons, sendo a elevada concentração de Na e Cl do meio de cultivo, a principal responsável por essas interações.

A aplicação de solução nutritiva salinizada a partir de 60 dias após o transplantio promoveu melhores condições no desenvolvimento das plantas antes do início da produção, promovendo as menores perdas produtivas da cultura do tomate cereja cv. “Rita”.

Nutricionalmente o menor tempo de exposição à salinidade promoveu melhor condição para absorção e acúmulo de nitrogênio e potássio e menor absorção e acúmulo de cloro e sódio nas folhas do tomate cereja cv. “Rita”.

A adoção de um turno de rega com uma irrigação a cada dois dias não afetou a produção de frutos e nem as concentrações dos nutrientes no tecido foliar do tomate cereja cv. “Rita” cultivado em hidroponia, quando comparado ao turno de rega com uma irrigação por dia.

Os resultados encontrados neste trabalho deixam novas possibilidades de estudos como, por exemplo, a utilização de um sistema hidropônico no qual a irrigação com solução salinizada fosse associada a lâminas de lixiviação, promovendo um maior equilíbrio entre a salinidade da solução e o meio que envolve o sistema radicular.

Outra possibilidade de estudos seria a comparação entre técnicas hidropônicas de cultivo, comparado a técnica com substrato e a técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT), ou ainda a aplicação alternada da solução nutritiva padrão com a solução nutritiva salinizada ao longo do ciclo de cultivo.