

**JOSÉ LEÔNCIO DE ALMEIDA SILVA**

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA SALOBRA NA IRRIGAÇÃO DO  
MELOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Demetrius David da Silva

Coorientadores: Sergio Nascimento Duarte  
José Francismar de Medeiros

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2021**

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da  
Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

S586e  
2021 Silva, José Leôncio de Almeida, 1990-  
Estratégias de manejo de água salobra na irrigação do meloeiro /  
José Leôncio de Almeida Silva. - Viçosa, MG, 2021.  
1 tese eletrônica (98 f.): il. (algumas color.).

Inclui apêndice.

Orientador: Demetrius David da Silva.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.005>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Melão - Cultivo. 2. *Cucumis melo* L. 3. Condutividade elétrica.  
4. Irrigação. 5. Produtividade. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 635.61

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

**JOSÉ LEÔNCIO DE ALMEIDA SILVA**

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE ÁGUA SALOBRA NA IRRIGAÇÃO DO  
MELOEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 11 de junho de 2021.

Assentimento:



---

José Leônicio de Almeida Silva  
Autor



---

Demetrius David da Silva  
Orientador

*Aos meus pais, por nunca medirem esforços para que fosse possível a realização de todos os meus sonhos, em especial a minha mãe Maria Leoneide que pede todos os dias a Deus para iluminar minha vida e por todo exemplo de confiança, fé e amor.*

***Dedico este trabalho***

*As minhas irmãs, Lidiana e Lilia, pelo incentivo e carinho, que mesmo distante sempre me apoiaram nessa jornada, sendo muito importante no meu fortalecimento durante essa caminhada.*

***Ofereço***

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a **Deus**, pela iluminação, força e sabedoria para superar todos os obstáculos vividos em minha vida, por ser meu alicerce maior e minha fortaleza;

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícolas da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização deste curso;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo no Doutorado e no Doutorado Sanduiche;

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

Ao professor e orientador **Demetrius David da Silva** meu muito obrigado pela orientação, conhecimento compartilhado e principalmente pela confiança e a credibilidade depositada em minha pessoa para a realização desse estudo;

Aos Professores **José Francismar de Medeiros, Sergio Nascimento Duarte e Greg Leslie**, meu muito obrigado pelos seus incentivos, orientações e amizade;

Aos membros da Banca examinadora pelas sugestões e contribuição na melhoria da qualidade desse trabalho;

À minha amiga **Valeria Lima**, pela cumplicidade e carinho especial dedicado durante os momentos que convivemos na Austrália e ao **Luiz Eduardo, Prof. Francisco de Assis e Andrea Raquel**, pela sua disposição em ajudar na pesquisa desse trabalho, carinho e atenção;

Às amigadas que construí durante este caminho em especial aos da UFV e da UFERSA, por dividirmos e compartilharmos sonhos e conquistas; e

Por final, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse sonho.

*“ Reconhecimento é a melhor forma de dizer obrigado ”*

*A todos vocês, meu muito obrigado!*

## **BIOGRAFIA**

JOSÉ LEÔNCIO DE ALMEIDA SILVA, filho de José Edmilson da Silva e Maria Leoneide de Almeida Silva, nasceu em 03 de abril de 1990, na cidade de Natal - RN.

Em setembro 2009 iniciou o curso de Graduação em Agronomia na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró - RN, graduando-se em julho de 2014. No ano de 2013 foi o ganhador em 1º lugar no prêmio jovem cientista do CNPq na categoria de estudante do ensino superior, sendo titulado no palácio nacional pela Ex presidente Dilma Vana Rousseff.

Em agosto de 2014 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas Agrícola da Universidade de São Paulo na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (USP/ESALQ), em nível de Mestrado, submetendo-se à defesa de Dissertação em junho de 2016.

Em agosto de 2016 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa – UFV, em nível de Doutorado, no período de fevereiro a outubro de 2020 realizou Doutorado Sanduiche na Austrália, em Sydney, na University of New South Wales e, em junho de 2021, submeteu-se à defesa de Tese.

## RESUMO

SILVA, José Leôncio de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Estratégias de manejo de água salobra na irrigação do meloeiro.** Orientador: Demetrius David da Silva. Coorientadores: José Francismar de Medeiros e Sergio Nascimento Duarte.

O uso de água salobra na irrigação é muito comum em cultivos de melão, o que pode resultar na salinização do solo e na redução do rendimento produtivo, caso o manejo da irrigação não seja adequado para a cultura e as condições locais. Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar técnicas de manejo da irrigação com águas salobras e de adubação nitrogenada, bem como investigar a dinâmica do nitrato em solo cultivado com meloeiro. Como forma de atender ao objetivo geral dessa pesquisa foram realizados três estudos, estruturados em capítulos. No primeiro estudo foram realizados dois experimentos independentes, ambos no delineamento em blocos casualizados. Cada experimento correspondeu a uma forma de manejo da irrigação e reposição de água no solo, usando o esquema de parcelas subdivididas em faixas e seis estratégias de utilização de águas salobras. Com os resultados ao final do experimento identificou-se que a estratégia de uso de água salobra A2 de incremento da salinidade por fases foi a que apresentou maior rendimento comercial de frutos de melão, possibilitando economia de água de baixa salinidade. Os resultados também mostraram que os solos irrigados com água salobra utilizando a estratégia de aplicação com água salobra com concentração crescente (A1 e A2) foram as que menos acarretaram em salinização do solo ao final do ciclo da cultura do meloeiro. No segundo estudo também foram realizados dois experimentos, um ao lado do outro, no delineamento em blocos casualizados. Cada experimento correspondeu a uma forma de manejo da irrigação quanto à reposição de água no solo, usando o esquema de parcelas subdivididas em faixas 2x2x4, sendo duas formas de manejo da irrigação, duas formas de manejar a adubação nitrogenada e quatro estratégias de se utilizar as águas salobra e doce. Com os resultados obtidos ao final do experimento foi possível identificar que o manejo de irrigação M2, baseado no monitoramento da umidade do solo, conseguiu proporcionar uma produção de frutos satisfatória com uma menor quantidade de água para a irrigação e que a produtividade do melão não foi afetada pelo manejo da redução da adubação nitrogenada. No terceiro estudo buscou-se comparar os resultados simulados pelo modelo HYDRUS 2D com aqueles obtidos em condições experimentais. O desempenho do modelo HYDRUS 2D foi avaliado comparando-se os dados preditos pelo modelo com os respectivos dados observados. Com os

resultados das simulações de transporte do nitrato no solo com o HYDRUS-2D, identificou-se que as simulações sob diferentes estratégias de utilização de águas salobras na cultura do meloeiro foram melhores quando as concentrações de sais das estratégias de irrigação foram mantidas constantes durante todo o ciclo da cultura. O modelo também apresentou boa concordância entre as simulações numéricas do transporte de nitrato ao longo do perfil do solo, onde em maior profundidade foi possível observar melhor desempenho do modelo em relação aos dados obtidos experimentalmente. O modelo HYDRUS-2D, nas condições de realização da pesquisa, se mostrou adequado para a simulação do transporte sob diferentes concentrações de nitrato no solo, fornecendo resultados robustos com boa concordância com os dados obtidos durante o experimento.

Palavras-chave: Melão – cultivo. *Cucumis melo* L.. Condutividade elétrica. Irrigação. Produtividade.

## ABSTRACT

SILVA, José Leôncio de Almeida, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Brackish water management strategies in melon.** Advisor: Demetrius David da Silva. Co-advisors: José Francismar de Medeiros and Sergio Nascimento Duarte.

The use of saline water for irrigation is very common in melon crops, which can result in soil salinization and a reduction in productive yield, if irrigation management is not suitable for the culture and local conditions. In this sense, this work aimed to evaluate irrigation management techniques with saline water and nitrogen fertilization, as well as to investigate the nitrate dynamics in soil cultivated with melon. In order to meet the general objective of this research, three studies were carried out, structured in chapters. In the first study, two independent experiments were carried out, both in a randomized block design. Each experiment corresponded to a form of irrigation management and soil water replacement, using the split-plot scheme in strips and six strategies for using saline water. With the results at the end of the experiment, it was identified that the strategy of using A2 saline water to increase the salinity in stages was the one that presented the highest commercial yield of melon fruits, allowing saving of low salinity water. The results also showed that the irrigation strategies based on increasing the salinity of the irrigation water (A1 and A2) were the ones that caused the least salinization of the soil at the end of the melon crop cycle. In the second study, two experiments were also carried out, one next to the other, in a block design. Each experiment corresponded to a form of irrigation management regarding the replacement of water in the soil, using the split-plot scheme in a 2x2x4 band, with two forms of irrigation management, two ways of handling nitrogen fertilization and four strategies for using the saline and fresh waters. With the results obtained at the end of the experiment, it was possible to identify that the M2 irrigation management, based on the monitoring of soil moisture, managed to provide a satisfactory fruit production with a smaller amount of water for irrigation and that the yield of the melon was not affected by the management of nitrogen fertilization reduction. In the third study, we sought to compare the results simulated by the HYDRUS 2D model with those obtained under experimental conditions. The performance of the HYDRUS 2D model was evaluated by comparing the data predicted by the model with the respective observed data. With the results of the simulations of nitrate transport in the soil with the HYDRUS-2D, it was identified that the simulations under different strategies for the use of saline water in the melon crop were

better when the salt concentrations of the irrigation strategies were kept constant throughout the entire crop cycle. The model also showed good agreement between numerical simulations of nitrate transport along the soil profile, where in greater depth it was possible to observe better performance of the model in relation to the data obtained experimentally. The HYDRUS-2D model, under the conditions of the research, proved to be adequate for the simulation of transport under different concentrations of nitrate in the soil, providing robust results with good agreement between the data obtained during the experiment.

Keywords: Melon – cultivation. *Cucumis melo* L.. Electrical conductivity. Irrigation. Productivity.

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>14</b>
<b>Uso de águas salobras como alternativa para irrigação de melão no semiárido brasileiro.....</b>	<b>14</b>
1.1INTRODUÇÃO.....	15
1.2 MATERIAL DE MÉTODOS.....	16
1.2.1 Caracterização da área de estudo e do experimento.....	16
1.2.2 Implantação dos tratamentos .....	16
1.2.3 Caracterização física e química do solo em estudo .....	19
1.2.4 Montagem e condução do experimento .....	20
1.2.5 Manejo da irrigação .....	23
1.2.6 Tratos culturais .....	26
1.2.7 Características avaliadas .....	26
1.2.7.1 Evolução da salinidade no extrato da solução do solo.....	26
1.2.7.2 Desempenho produtivo da planta.....	27
1.2.7.3 Qualidade dos frutos.....	27
1.2.7.4 Avaliação Estatística.....	28
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
1.3.1 Evolução da salinidade no solo.....	29
1.3.2 Avaliação da produção.....	31
1.4CONCLUSÕES.....	35
1.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>39</b>
<b>Produção e qualidade do melão cultivado com água salobra e controle da adubação nitrogenada.....</b>	<b>39</b>
2.1INTRODUÇÃO.....	40
2.2 MATERIAL DE MÉTODOS.....	41
2.2.1 Caracterização da área de estudo e do experimento.....	41
2.2.2 Implantação dos tratamentos.....	41
2.2.3 Caracterização física e química do solo em estudo.....	44
2.2.4 Montagem e condução do experimento.....	46
2.2.5 Manejo da irrigação .....	49
2.2.6 Tratos culturais.....	51
2.2.7 Características avaliadas.....	51
2.2.7.1 Evolução da salinidade no solo.....	51
2.2.7.2 Monitoramento do nitrato (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) na solução do solo.....	53
2.2.7.3 Desempenho produtivo da planta.....	53
2.2.7.4 Qualidade dos frutos.....	54
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
2.3.1 Evolução da salinidade no solo.....	55
2.3.2 Evolução da concentração de nitrato no solo ao longo do ciclo da cultura.....	56

2.3.3 Avaliação da produção.....	59
2.4. CONCLUSÕES.....	66
2.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>71</b>
<b>Simulação do transporte de nitrato no solo com base no modelo Hydrus-2D.....</b>	<b>71</b>
3.1 INTRODUÇÃO.....	73
3.2 MATERIAL DE MÉTODOS.....	74
3.2.1 Etapa 1: Montagem do ensaio experimental.....	74
3.2.1.1 Localização da área experimental.....	74
3.2.1.2 Manejo dos Tratamentos.....	75
3.2.1.3 Sistema de irrigação do experimento no campo.....	77
3.2.1.4 Adubação do experimento no campo .....	78
3.2.1.5 Monitoramento das concentrações de N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> .....	79
3.2.2 Etapa 2: Modelo HYDRUS – 2D.....	79
3.2.2.1 Parâmetros da curva de retenção e características químicas e físicas do solo.....	80
3.2.2.2 Parâmetros de transporte do nitrato.....	81
3.2.2.3 Evapotranspiração da cultura e evaporação do solo descoberto.....	83
3.2.2.4 Determinação dos parâmetros de entrada para utilização do modelo.....	83
3.2.2.5 Avaliação da modelagem da dinâmica do nitrato.....	85
3.2.2.6 Avaliação do modelo HYDRUS-2D.....	85
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	86
3.3.1 Dinâmica de transporte do nitrato no solo.....	86
3.4 CONCLUSÕES.....	93
3.5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
CONCLUSÕES GERAIS.....	97
APÊNDICE.....	98

## INTRODUÇÃO GERAL

A utilização eficiente da água é cada vez mais importante em decorrência da escassez de recursos hídricos em muitas regiões do Brasil, destacadamente, o que torna necessário o uso de metodologias apropriadas ao seu manejo, fundamentadas em princípios e técnicas de convivência, com ênfase no uso racional e no aproveitamento de fontes hídricas alternativas.

No semiárido brasileiro, em especial onde as precipitações pluviométricas são insuficientes para atender as necessidades hídricas das culturas, a exploração agrícola sob condições irrigadas tem se tornado uma alternativa economicamente viável, havendo, porém, a necessidade de se buscar formas de manejo que minimizem os impactos ambientais decorrentes, visto que muitas vezes de irrigação apresenta elevada concentração de sais.

No Estado do Rio Grande do Norte, a agricultura irrigada tem se firmado como atividade econômica de grande importância, com elevados investimentos de empresas nacionais e internacionais, além da implantação de projetos públicos de irrigação. Devido ao período prolongado de secas, praticamente toda a água de irrigação utilizada atualmente de Mossoró tem origem subterrânea. Com o rebaixamento do aquífero calcário Jandaíra, estas águas estão ano a ano com maior concentração de sais, o que tem feito vários produtores abrirem poços mais profundos para retirar água do aquífero Arenito Açú, que tem água doce.

Apesar de sua importância estratégica, o aquífero Jandaíra apresenta águas com concentrações elevadas de sais, podendo a condutividade elétrica ser superior a  $3,0 \text{ dS m}^{-1}$ ; atualmente, muitos dos poços perfurados neste aquífero têm água com CE maior que  $5,0 \text{ dS m}^{-1}$ . Nesse caso, sua utilização na agricultura fica condicionada à tolerância da cultura e ao manejo racional da água e do solo. Dentro das culturas exploradas na região, o melão é classificado como moderadamente sensível à salinidade, mas necessita de uma melhor caracterização das águas do aquífero para se estabelecer o manejo adequado das plantas, do solo e do sistema de irrigação.

Além dos problemas de salinização do solo decorrentes da irrigação com água com elevada concentração salobra, com a consequente alteração no balanço iônico, as adubações nitrogenadas e a aplicação excessiva de água têm contribuído consideravelmente para o aumento da concentração de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no solo que, dependendo da profundidade do perfil e do lençol freático, pode atingir o aquífero, contaminando-o e causando um sério dano ambiental.

Devido a isso, recentemente tem-se estudado a movimentação da água e dos nutrientes utilizando-se modelos físico-matemáticos para a simulação dos processos de transferência da água e dos solutos entre a superfície do solo e o lençol freático.

Sendo assim, o objetivo geral do presente trabalho foi avaliar as técnicas de manejo da irrigação com águas salobras, adubação nitrogenada e dinâmica de nitrato em solo cultivado com a cultura do meloeiro.

O primeiro capítulo do presente trabalho, intitulado “Uso de águas salobras como alternativa para irrigação de melão no semiárido brasileiro”, objetivou avaliar a influência do manejo da irrigação na produção de melão baseado em estratégias de utilização de águas de poços com concentrações de sais elevadas.

No segundo capítulo, intitulado “Produção e qualidade de melão cultivado com água salobra e controle da adubação nitrogenada”, focou-se em demonstrar, além da estratégia da irrigação com água salobras, a influência do manejo da adubação nitrogenada na cultura do meloeiro.

Por fim, no terceiro capítulo, intitulado “Simulação do transporte de nitrato no solo pelo modelo Hydrus-2D”, buscou-se por meio de modelagem realizar uma comparação das concentrações do soluto nitrato, obtidas experimentalmente na solução do solo cultivado com melão, com aqueles simulados com o Hydrus-2D.

## CAPITULO I

### USO DE ÁGUAS SALOBRAS COMO ALTERNATIVA PARA IRRIGAÇÃO DE MELÃO NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

**RESUMO:** Na região Nordeste, a grande demanda por água de irrigação tem levado à utilização da maioria das fontes hídricas disponíveis e, dessa forma, os produtores utilizam águas de elevado salinidade em algum momento do ciclo das culturas com o objetivo da otimização dos recursos hídricos. Nesse sentido, são necessárias informações mais precisas sobre a irrigação com a utilização de água de elevada salinidade. O objetivo do presente estudo foi avaliar o uso de águas salobras como alternativa para a irrigação do melão no semiárido brasileiro. Foram realizados dois experimentos independentes, ambos no delineamento em blocos casualizados. Cada experimento correspondeu a uma forma de manejo da irrigação e reposição de água no solo, usando o esquema de parcelas subdivididas em faixas e cinco estratégias de se utilizar as águas salobra e doce na cultura do meloeiro mais uma estratégia adicional. Foram avaliados os resultados de produção pelo número de frutos comerciais e de frutos totais por planta, produção comercial e total e massa média de frutos comerciais e totais. Como forma de avaliar os problemas do uso da irrigação com água salobra no solo foi feito monitoramento da condutividade elétrica da solução do solo (CEes). Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que a estratégia de uso de água salobra A2 de incremento da salinidade por fases foi a que apresentou maior rendimento comercial de frutos de melão, possibilitando economia de água de baixa salinidade. Embora o uso de águas salobras como fonte de alternativa para a irrigação possa apresentar problemas, como a salinização do solo nas camadas superficiais, o manejo da irrigação combinado ao incremento da salinidade por fases da estratégia A1 foi o que resultou em maior eficiência em termos de redução do acúmulo de sais durante o cultivo e no final do ciclo. O manejo de irrigação M2, baseado pelo monitoramento da umidade do solo, conseguiu proporcionar uma produção de frutos satisfatória com uma menor quantidade de água para a irrigação.

**Palavras-Chave:** *Cucumis melo* L., Condutividade elétrica, Manejo da irrigação, Produtividade.

## 1.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos maiores produtores de frutas do mundo e, dentre as culturas de grande importância para o semiárido, o meloeiro (*Cucumis melo* L.) se destaca por gerar emprego e renda. A região Nordeste do Brasil se destaca por ser a maior produtora e exportadora dessa fruta em razão das condições edafoclimáticas favoráveis e o uso de alta tecnologia empregada pelo setor produtivo. Além disso, destaca-se por sua importância para o desenvolvimento socioeconômico da região (CAVALCANTE NETO et al., 2020). A comercialização do fruto vem aumentando gradativamente graças à exportação para o mercado internacional, abastecendo principalmente a Europa.

A produção em 2018 foi de 581.478 toneladas de melão, das quais 338.615 toneladas são originárias do Agropolo irrigado Mossoró-Assú (RN), responsável por 95,6% das exportações do fruto (IBGE, 2018). Essa expressividade se deve às boas condições edafoclimáticas existentes (altas temperaturas, baixa umidade relativa do ar e alta luminosidade), durante grande parte do ano (CAVALCANTI et al., 2015).

O problema torna ainda maior quando as baixas precipitações pluviométricas se associam com a salinidade dos solos, representando um grave problema para agricultura, especialmente sob condições de irrigação (ARAGÃO et al., 2009).

Uma alternativa para esta situação pode ser a mistura de águas de boa qualidade e de qualidade inferior, visando a potencializar a disponibilidade hídrica na região. Por esta razão, tornam-se imprescindíveis investigações sobre o manejo de irrigação das águas com maiores concentrações de sais, pois a sua utilização indiscriminada pode salinizar os solos (ARAGÃO et al. 2009, DIAS et al. 2011, PORTO FILHO et al. 2011, TERCEIRO NETO et al. 2014).

O excesso de sais no solo reduz a disponibilidade de água para as plantas (SOARES et al., 2007), além de provocar desequilíbrio nutricional e toxicidade de íons específicos (FERREIRA NETO et al., 2007), a ponto de comprometer os rendimentos e a qualidade da produção. Entretanto, mesmo que, potencialmente, a irrigação exerça efeito sobre a salinização dos solos, isso não implica na salinização do solo a ponto de torná-lo impróprio para a agricultura.

Existem diversas pesquisas em nível mundial nas quais se têm obtido sucesso com cultivos irrigados com água salobra, especialmente quando há monitoramento constante da salinidade do solo e a adoção de práticas de manejo da água salobra na cultura do meloeiro (BOTÍIA et al., 2005; EDELSTEIN et al., 2005; KUSVURAN et al., 2011; ZONG et al. 2011).

Em virtude disso, estudos são realizados a fim de verificar a viabilidade do emprego de técnicas que utilizem águas salobras, conquanto, mitigando os danos e efeitos negativos. Consequência da utilização de águas de qualidade inadequada, falta de sistema de drenagem e o manejo incorreto do sistema solo-planta-água, a salinidade ocasiona severos danos à produtividade das culturas (OLIVEIRA, 2012). No Nordeste Brasileiro, estima-se que cerca de nove milhões de hectares de solos são afetados por sais (RODRIGUES, 2019).

Em decorrência da importância econômica da cultura do meloeiro para o semiárido do Nordeste brasileiro, da necessidade da adequação de práticas de manejo da irrigação com águas salobras que minimizem os impactos ambientais decorrentes, este trabalho objetivou avaliar o uso de águas salobras como alternativa para irrigação do melão no semiárido brasileiro.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.2.1. Caracterização da área de estudo e do experimento**

Os experimentos foram realizados no período de dezembro de 2017 a fevereiro de 2018, na fazenda Nordeste Frutas Ltda – Norfruit, - associada à Cooperativa dos Fruticultores da Bacia Potiguar – COOPYFRUTAS, localizada na cidade de Mossoró, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Norte (latitude de 5° 02' 0,02'' S e longitude 37° 22' 33,6'' W Gr).

A fazenda utiliza poços tubulares com água de qualidade inferior para produção agrícola e, também, poços tubulares profundos que exploram água doce, adotando a prática da mistura das águas.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo BSw<sub>h</sub>, caracterizado por clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, com uma precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm, temperatura média de 27°C e umidade relativa do ar média de 68,9% (ALVARES et al., 2013).

### **1.2.2. Implantação dos tratamentos**

Foram realizados dois experimentos concomitantemente em uma mesma área, ambos seguindo o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições (Figura 1.1). Cada experimento correspondeu a uma forma de manejo da irrigação e reposição de água no solo

(M1- irrigação realizada com base na evapotranspiração da cultura -  $ET_c$ ; e M2 - irrigação realizada com base no monitoramento da umidade do solo por meio de tensiômetros instalados na área experimental), com cinco estratégias de se utilizar as águas salobras e doce na cultura do meloeiro mais uma estratégia adicional (A0 correspondente àquela utilizada na fazenda retratando a situação atualmente adotada na empresa – incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura, chegando ao final da fase III usando água salobra de até  $3,00 \text{ dS m}^{-1}$ ; A1- Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce; fases II e III: incremento semanal da proporção água salobra/doce nas salinidades de 1,5; 2,5; e  $3,5 \text{ dSm}^{-1}$ , chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de  $4,5 \text{ dS}^{-1}$ ; A2 - Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce; fases II e III: irrigação com água de salinidade de  $2,0 \text{ dS}^{-1}$ , chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de  $4,5 \text{ dS}^{-1}$ ; A3 - Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce; fases II e III: irrigação com água de salinidade de  $3,5 \text{ dS}^{-1}$ , chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de  $4,5 \text{ dS}^{-1}$ ; A4 – Irrigação com água salobra de  $4,5 \text{ dS}^{-1}$  a partir da quinta semana de cultivo em campo (depois de iniciada a floração) e aplicando-se a água doce apenas para adicionar a lâmina de lixiviação, que foi realizada semanalmente e A5 – irrigação com água de salinidade de  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  durante todo o ciclo da cultura).

As unidades experimentais de cada tratamento foram constituídas de 2 fileiras cultivadas com melão amarelo (*Cucumis melo* L.) com sete metros de comprimento, sendo aproveitada apenas uma fileira como útil para fins do experimento e as demais consideradas bordaduras. O espaçamento utilizado entre as fileiras e as linhas de cultivo foram de  $2,0 \times 0,3 \text{ m}$ . As fileiras foram divididas em 4 blocos de 4,8 metros de comprimento e 4 metros largura, sendo considerada uma área útil de  $19,2 \text{ m}^2$  (Figura 1.2) As distribuições das estratégias ocorreram por sorteio aleatório dentro de cada bloco, como pode ser verificado no esquema experimental apresentado na Figura 1.1.

Experimento I M1				Experimento II M2			
B1	B2	B3	B4	B4	B3	B2	B1
A0	A4	A1	A5	A1	A0	A1	A3
A2	A0	A0	A1	A5	A2	A3	A0
A5	A1	A2	A3	A4	A3	A0	A5
A3	A3	A3	A2	A3	A4	A2	A2
A4	A5	A5	A0	A2	A1	A4	A1
A1	A2	A4	A4	A0	A5	A5	A4

Legenda:

B = Blocos  
M = Manejos de irrigação  
A = Estratégias de utilização de água salina e doce  
A0 = Estratégia testemunha da Fazenda

Figura 1.1. Representação do croqui experimental.

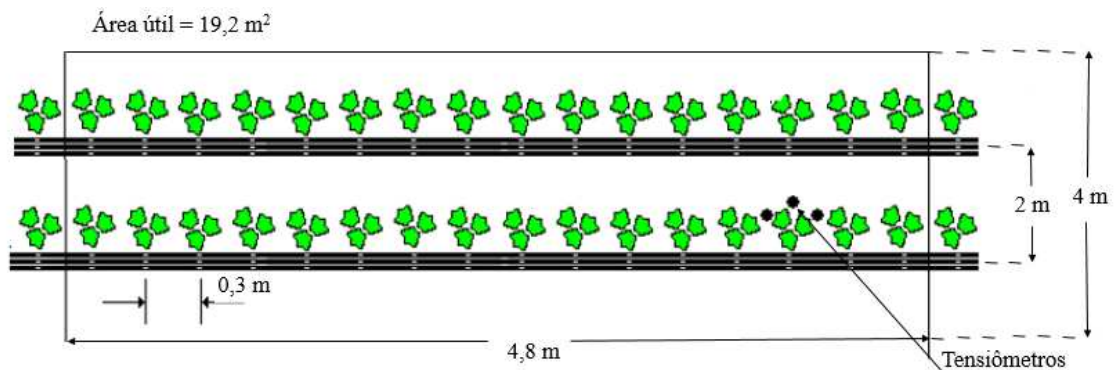


Figura 1.2. Detalhe da parcela experimental mostrando a área útil para avaliação e o posicionamento dos tensiômetros em relação à planta.

A água de menor condutividade elétrica ( $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi proveniente de poço artesiano profundo instalado no aquífero arenito Assú, enquanto a água de maior condutividade elétrica ( $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi obtida em poços tubulares que exploram o aquífero calcário Jandaíra (águas de elevada salinidade). A condutividade elétrica das águas utilizadas na pesquisa foram obtidas a partir da mistura dessas duas águas, sendo monitoradas diariamente por meio de condutivímetro digital portátil da marca AEV Imports, modelo TDS, com precisão de  $\pm 2\%$ .

Na Tabela 1.1 são apresentados os valores da condutividade elétrica das águas de irrigação aplicadas semanalmente na cultura do melão e na Tabela 1.2 a composição química das águas e suas fontes utilizadas para a irrigação.

Tabela 1.1. Condutividade elétrica da água de irrigação aplicada semanalmente em cada estratégia estudada

Estratégias	Dias após o plantio										
	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70	71-77
	Semanas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	CEa (dS m <sup>-1</sup> )										
A0	0,6	0,6	0,6	0,6	1,5	2,0	2,0	2,0	3,0	3,0	3,0
A1	0,6	0,6	0,6	0,6	1,5	2,5	3,5	4,5	4,5	4,5	4,5
A2	0,6	0,6	0,6	0,6	2,0	2,0	2,0	2,0	4,5	4,5	4,5
A3	0,6	0,6	0,6	0,6	3,5	3,5	3,5	3,5	4,5	4,5	4,5
A4	0,6	0,6	0,6	0,6	4,5*	4,5*	4,5*	4,5*	4,5	4,5	4,5
A5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

\*Lâmina de lixiviação aplicada equivalente a 20% da lâmina semanal para a estratégia A4

Tabela 1.2. Composição química das águas das duas fontes utilizadas para irrigação

Águas	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza	Cátions	ânions	RAS
		dS m <sup>-1</sup>	mmolc/L						-mg/L-	---	mmolc/L	---	
*	8,40	0,62	0,59	3,53	2,30	1,50	2,80	0,60	3,30	190	7,9	6,7	2,6
**	6,80	4,52	0,21	32,22	21,90	10,70	37,00	0,00	4,50	1630	65,0	65,0	8,0

\* Água proveniente do poço tubular profundo (Água doce) e \*\*Água proveniente do poço tubular raso (Água salobra)

### 1.2.3. Caracterização física e química do solo em estudo

Para se caracterizar o solo da área experimental foram retiradas amostras na camada de 0,0 – 0,20 m para análises química, e nas camadas 0 – 0,15; 0,15 – 0,30; 0,30 – 0,45; e 0,45 – 0,60 m para análise física (Tabela 1.3), as quais foram direcionadas ao laboratório de análises de solo da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFRSA e analisadas de acordo com a metodologia recomendadas pela Embrapa (2009). O solo da área experimental foi classificado, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), como argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico latossólico (Apêndice A), de acordo com levantamento realizado por um pedólogo da região: José Araújo Dantas – EMPARN.

Tabela 1.3. Características químicas e físicas do solo da área experimental

Camada	pH em Água	Características químicas					
		Ca	Mg	K	Na	Al	P
Prof. (cm)	7,6	----- (cmolc dm <sup>-3</sup> ) -----					
0 – 20		2,75	1,35	0,47	0,041	0,00	1,92
Características física (textura)							
Prof. (cm)	Argila	Silte	Areia	Classe textural			
	----- g kg <sup>-1</sup> -----						
0 – 15	99	88	813	Areia Franca			
15 – 30	114	88	798	Franco Arenoso			
30 – 45	229	119	652	Franco Argilo Arenoso			

Para a determinação da curva de retenção da água no solo foram coletadas amostras indeformadas em três trincheiras, nas profundidades 0,0 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. Uma vez coletadas as amostras, elas foram levadas para o laboratório de análise de solos da UFERSA, onde foi feita a toaleta das amostras, retirando todo excesso de solo, deixando apenas o correspondente ao volume do cilindro utilizado e prendido um tecido na parte inferior da amostra com um elástico para evitar a perda de solo durante a manipulação da amostra.

As curvas de retenção foram determinadas seguindo a metodologia da Embrapa (2009). Foram utilizadas a mesa de tensão para determinação dos pontos 0, 1, 3, 6, 10, e 30 kPa e a câmara de Richards para os pontos 50, 100, 300, 500, 1000, 1500 kPa. Os conteúdos de água correspondentes às tensões 30 e 1500 kPa foram considerados como os pontos de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PMP), o que corresponderam a de  $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e  $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  respectivamente.

Com base dos dados obtidos, foi possível calcular o conteúdo de água a base de massa da amostra  $U$  ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) ( $U = MU - MS/MS$ ) e com os dados de densidade do solo ( $D_s$ ) calculou-se o conteúdo de água a base de volume ( $\theta$ ) das amostras  $\theta$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) ( $\theta = U \cdot D_s / 1000$ ), correspondentes a cada tensão aplicada.

Com os dados de conteúdo de água para cada tensão, foi possível traçar a curva de retenção da água no solo, que foram ajustadas à equação utilizada por van Genuchten (1980).

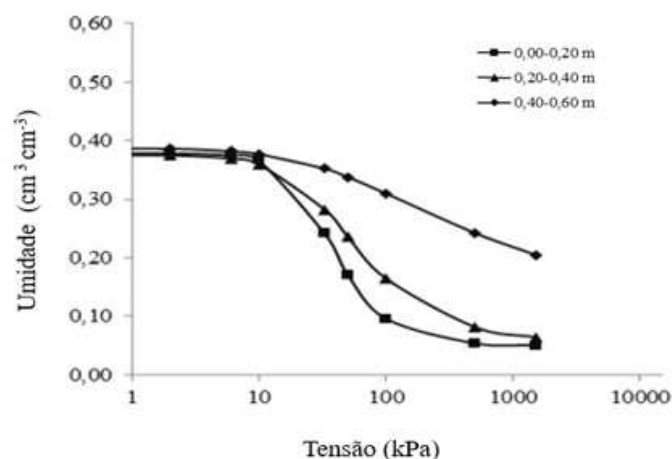


Figura 1.3. Curvas de retenção de água no solo utilizado no experimento.

#### 1.2.4. Montagem e condução do experimento

A cultura utilizada no experimento foi o melão amarelo (*Cucumis melo*), cultivar Goldex, com boa vida de prateleira (Figura 1.4).



Figura 1.4. Melão amarelo de cultivar Goldex utilizado no experimento.

O preparo do terreno constou da limpeza da área, seguida de aração e gradagem para destorroamento, abertura dos sulcos, adubação de fundação e construção de camalhões, com 0,6 m de largura e 0,15 m de altura, destinados ao plantio.

As adubações foram realizadas com base nas recomendações de Crisóstomo et al. (2002). Para a adubação de fundação utilizou-se 420 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 6-24-12; já a adubação de cobertura foi realizada via fertirrigação e aplicada a partir do quinto dia após a semeadura até a fase final de enchimento dos frutos. As quantidades de nutrientes aplicadas durante o ciclo da cultura estão apresentadas na Tabela 1.4. Foram utilizados como fontes de N, P e K os seguintes adubos: KNO<sub>3</sub>, Uréia, Ácido nítrico, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MAP e Ácido fosfórico, e como fontes de micronutrientes o Ácido bórico e o Quelatec AZ1.

Tabela 1.4. Quantidades acumuladas de nutrientes aplicados na adubação de fundação e na cobertura, por semana, durante o experimento

Período (DAT)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	B	Quelatec*
	----- Kg ha <sup>-1</sup> -----					
<b>Fundação</b>	<b>25</b>	<b>101</b>	<b>50</b>			
0 - 5	-	-	-	-	-	-
6 - 12	14	16	22	-	-	1,042
13 - 19	25	32	43	-	-	1,562
20 - 26	38	50	67	2,30	1,20	1,562

27 - 33	51	68	96	3,45	2,65	1,562
34 - 40	71	79	119	3,45	2,65	1,562
41 - 47	77	82	170	3,45	2,65	1,562
48 - 54	80	82	180	3,45	2,65	1,562
55 - 61	82	82	185	3,45	2,65	1,562
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>183</b>	<b>235</b>	<b>3,45</b>	<b>2,65</b>	<b>1,562</b>

\*composição: Fe (7.5%); Mn (3,5%); Zn (0,7%); Cu (0,28); B (0.65%); Mo (0.3%)

A linha de plantio (camalhão) foi coberta com um *mulching* (filme de polietileno preto-branco, sendo a face branca voltada para cima) com o objetivo de reduzir os problemas fitossanitários nos frutos, além de otimizar o uso da água, reduzindo a evaporação no solo e controlando as ervas daninhas. Até o início da floração, as plantas foram protegidas com manta (TNT), objetivando-se inibir o ataque da mosca minadora (*Liriomyza sativae*), considerada a principal praga do meloeiro na região (Figura 1.5).



Figura 1.5. Utilização da manta (TNT), até o início do florescimento do melão.

No início do experimento foram instaladas baterias de tensiômetros do tipo punção nas profundidades de 0,20; 0,40 e 0,60 m, providos de cápsulas cerâmicas porosas em sua extremidade inferior e borrachas de silicone na extremidade superior (Figura 1.6), confeccionados manualmente para monitorar a umidade do solo, os quais funcionaram também como extratores de solução do solo.



Figura 1.6. Detalhes dos tensiômetros de cápsula cerâmica, que foram instalados nos experimentos.

A evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) foi estimada com base nos dados climatológicos no período de cultivo dos experimentos, obtidos na estação meteorológica automática, pertencente à rede do INMET, localizada em Mossoró-RN, a 15 km da área do experimento, usando para tal a Equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 2006) (Tabela 1.5).

Tabela 1.5. Valores médios semanais de temperatura ( $T_{med}$ ), umidade relativa (UR), radiação global ( $R_g$ ), velocidade do vento a 10 m ( $V_{10}$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) no período de dezembro de 2017 a fevereiro de 2018

Períodos		$T_{med}$ (°C)	UR (%)	$R_g$ (MJ m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> )	$V_{10}$ (m s <sup>-1</sup> )	$ET_0$ (mm dia <sup>-1</sup> )
Data	DAT					
03-09/12/2017	0-7	28,64	58,72	25,3	3,89	7,26
10-17/9/2017	08-14	28,24	61,38	21,8	2,82	6,42
18-25/10/2017	15-21	28,63	58,27	22,4	2,87	6,66
26/12/2017-02/10/2018	22-28	29,07	57,25	23,6	3,04	6,50
03-09/01/2018	29-35	28,60	60,78	24,8	2,99	5,98
10-17/01/2018	36-42	27,99	62,32	23,8	2,75	6,92
18-25/01/2018	43-49	28,79	57,02	20,2	3,04	7,00
26/01-05/02/2018	50-56	27,77	65,96	21,5	2,09	7,00
06-13/02/2018	57-63	28,98	59,80	22,6	2,27	6,91
14-22/02/2018	64-70	26,27	62,34	23,4	2,88	6,80
<b>Média</b>		<b>28,54</b>	<b>60,38</b>	<b>22,94</b>	<b>2,83</b>	<b>6,75</b>

DAT- dias após o transplante;  $T_{med}$  - temperatura média diária; UR - umidade relativa;  $R_g$  - Radiação global;  $V_{10}$  - velocidade do vento medida à 10m de altura;  $ET_0$  - evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman-Monteith - FAO

### 1.2.5. Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi de gotejamento, constituído por linhas laterais de polietileno com gotejadores não autocompensantes, mantendo-se uma pressão de 10kPa no

cabeçal, para fornecer uma vazão média no final da linha lateral de  $1,7 \text{ L h}^{-1}$ . O espaçamento utilizado no sistema foi de 2,0 m entre linhas e de 0,30 m entre emissores.

A mistura das águas para compor os tratamentos das estratégias foi feita no momento do bombeamento no reservatório (Figura 1.7), controlando-se a vazão pela regulagem das válvulas de esfera que permitiam a passagem das águas de maior e menor salinidades que eram direcionadas para irrigação das parcelas. Esse controle foi feito com base nas leituras da condutividade elétrica da água, monitorada por um condutivímetro portátil de modelo K53-002 Dubesser, sendo que cada estratégia tinha sua condutividade elétrica conhecida.



Figura 1.7. Reservatórios utilizados para o armazenamento e mistura das águas utilizadas nas estratégias de aplicação de água salobra no sistema de irrigação do experimento.

No manejo da irrigação M1, a irrigações foi realizada com turno de rega de um dia, sendo suspensas quando ocorriam chuvas acima de 3 mm. As lâminas de irrigação foram estimadas a partir da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ) calculada pela equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 2006) e o coeficientes de cultura ( $K_c$ ) para o meloeiro (MAIA, 2008), aplicando-se a metodologia do  $K_c$  dual (ALLEN et al., 1998). Os dados climáticos foram obtidos na estação climatológica do INMET do município de Mossoró/RN.

A metodologia do  $K_c$  dual consiste na conjunção do coeficiente basal da cultura ( $K_{cb}$ ) e do coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ) (ALLEN, 2000). Os valores de  $K_{cb}$  ( $K_c$  basal da cultura) adotados foram de 0,15; 1,05; e 0,75 nas fases inicial, intermediária e no final do ciclo, respectivamente, recomendados pela FAO 56 (ALLEN et al., 1998). A partir destes dados estimou-se o  $K_c$  diário, representado esquematicamente na Figura 1.8.

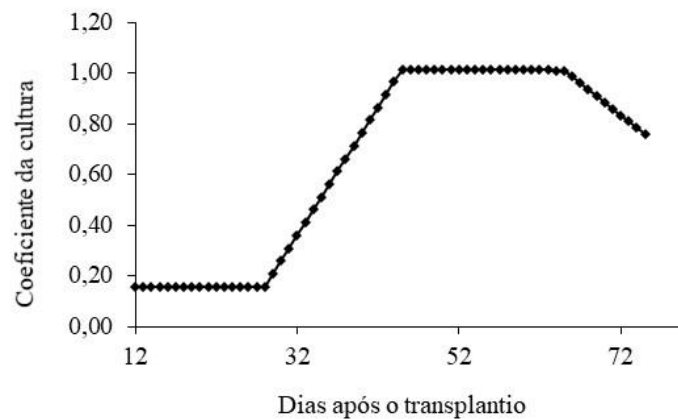


Figura 1.8. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do melão utilizado no experimento de acordo com a idade do melão, estimado pela metodologia proposta por FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

A lâmina bruta ( $L_b$ ) de irrigação aplicada foi calculada pela razão entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e o coeficiente de uniformidade (CU) de 95%, acrescida de uma lâmina de lixiviação de 5% do valor semanal de irrigação, conforme recomendado por U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

Para no manejo da irrigação com base no monitoramento da umidade do solo (M2) foram utilizados tensiômetros do tipo punção, sendo realizada a irrigação sempre que a tensão da água no solo a 0,15 m ficava entre 10 e 15 kPa (LIMA et al., 2016).

Na Figura 1.9 encontram-se os dados das lâminas de irrigação acumuladas durante o ciclo da cultura do meloeiro para os dois manejos. As lâminas totais aplicadas no período de cultivo do meloeiro foram de 223 e 166 mm, para os manejos com base na evapotranspiração da cultura (M1) e por monitoramento com tensiômetros (M2), respectivamente.

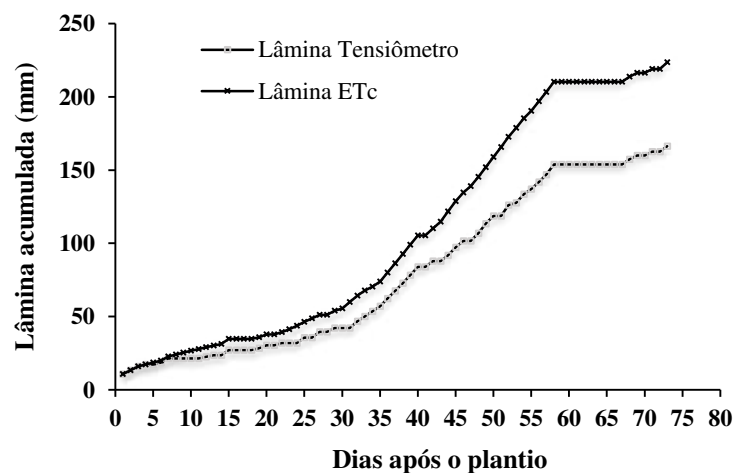


Figura 1.9. Lâminas de irrigação acumuladas durante o experimento para os manejos de irrigação com base na evapotranspiração da cultura (M1) e com tensiômetros (M2).

### **1.2.6. Tratos culturais**

A implantação da cultura foi realizada por meio de semeadura direta, colocando-se em cada cova três sementes de melão amarelo, procedendo-se posteriormente a aplicação de irrigação equivalente a 13 mm. Aos 12 dias após a semeadura foi procedido o desbaste das plântulas, deixando apenas a planta a mais vigorosa.

Mesmo com o solo coberto pelo mulch, foi necessário a utilização de capinas manuais nos furos do mulch destinados às plantas de melão, na região próxima ao colo da planta, e uma capina com enxadas nas entrelinhas, para evitar competição por água e nutrientes e proliferação de pragas.

Com o início da floração, foram colocadas duas colméias de abelhas próximas da área experimental para auxiliar a polinização.

Foram eliminadas da área do experimento plantas com sintomas iniciais de virose (Amarelão). O controle fitossanitário adotado foi o mesmo utilizado na Fazenda, que se baseia no monitoramento e na prevenção com produtos químicos para pragas e doenças, evitando que o problema chegue ao nível de dano econômico. As doses dos defensivos utilizados nas aplicações obedeceram às recomendações dos fabricantes. Os principais defensivos utilizados foram: Actara (tiametoxam); Vertimenc (abamectina); Óleo 44 mineral, Tiobel (cloridrato de cartape), Folpan (folpete), Enxofre, Trigard (ciromazina), Cercobim (tiofanato-metílico), Sulfato de Cobre, Score (difenoconazol) e Tamarom (metamidofós).

### **1.2.7. Características avaliadas**

#### **1.2.7.1. Acumulo de sais no solo - Evolução**

Foram realizadas avaliações periódicas da evolução da salinidade do solo, a partir de amostras de solo coletadas durante o desenvolvimento da cultura, avaliando-se a condutividade elétrica do extrato de saturação (CEes), seguindo a metodologias do manual de análises da Embrapa (2009).

Com base nos valores de CEes previamente determinados em laboratório, avaliou-se o comportamento da salinidade do solo ao longo e ao final do experimento para verificar a influência dos manejos de irrigação e das estratégias de água de elevada salinidade.

### 1.2.7.2. Desempenho produtivo da planta

Ao final de cada experimento os frutos de cada parcela foram pesados no campo em balança de precisão e classificados em frutos comerciáveis e refugo (frutos pequenos, rachados, manchados, mal formados, podres, queimados do sol e atacados por pragas e doenças) (Figura 1.10).



Figura 1.10. Classificação dos frutos no campo quanto a frutos comerciáveis e refugo.

Foram avaliadas as seguintes variáveis de produção: número de frutos comerciais (NFCPL) e de frutos totais (NFTPL) por planta, por meio da contagem simples dos frutos na área útil; produção comercial (PC) e total (PT), em  $\text{Mg ha}^{-1}$ ; e massa média de frutos comerciais (MMC) e totais (MMT), determinada por meio da relação entre a produção e o número de frutos, expressas em  $\text{kg fruto}^{-1}$ .

O rendimento total foi determinado pela soma da produção para os mercados externo e interno. Para o mercado externo foram considerados os frutos intactos, sadios, limpos, com aparência externa uniforme e sem deformações, rachaduras ou sinais de podridão, ataques de insetos, pragas e danos mecânicos. Já para o mercado interno levou-se em consideração os frutos com pequenos defeitos de formação ou manchas provocadas pelo sol.

Foram classificados como refugo e descartados do rendimento comercial os frutos que apresentaram defeitos que não se enquadravam na classificação dos frutos para os mercados interno e externo.

### 1.2.7.3. Qualidade dos frutos

Os frutos foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita da empresa Norfruit, onde foram selecionados previamente por meio de amostragem de dois frutos por parcela,

destinados ao mercado externo, para determinação de firmeza da polpa e sólidos solúveis totais.

A firmeza da polpa foi determinada por meio da utilização de um penetrômetro manual (McCormick modelo FT 327), com ponteira cilíndrica de 8 mm de diâmetro. Para tanto, o fruto foi partido longitudinalmente em duas partes, sendo que, em cada uma delas, foram feitas duas leituras (uma em cada lateral do centro da fatia). As leituras em libras (lb) foram convertidas para Newton (N), multiplicando-as pelo fator 4,4482.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi determinado com o auxílio de um refratômetro digital (modelo PR-100 Pallette da marca ATAGO), com correção automática de temperatura, e os resultados expressos °Brix. Em cada metade do fruto foi retirada uma fatia, no sentido longitudinal. Em seguida, foi realizada a homogeneização das duas fatias de cada fruto, em um liquidificador, sendo o suco obtido após o processamento coado com o auxílio de papel filtro, em bécker, retirando-se, logo após, gotas, para realizar quatro leituras e, assim, obter o valor médio de cada tratamento.

#### **1.2.7.4. Avaliação estatística**

Os dados de desempenho produtivo da planta e qualidade dos frutos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade. Adotou-se, ainda, um segundo teste de média, o teste de Dunnett em nível de 5% de probabilidade, para comparação das médias das estratégias de irrigação A1 a A5 com a estratégia de irrigação adicional A0, que é a estratégia de testemunha que retrata a situação atualmente adotada na empresa.

As análises de variância dos dois ensaios foram realizadas, em princípio, isoladamente, por experimentos, conforme Ramalho et al., (2000). Posteriormente, foi feita a análise conjunta dos dois experimentos, na Tabela 1.6 são apresentadas as fontes de variação da análise de variância para os dados de desempenho produtivo e qualidade dos frutos.

Tabela 1.8. ANOVA relativa aos dados de desempenho produtivo da planta e dados de qualidade do fruto, em função do manejo do manejo da irrigação (M) e das estratégias de utilização da água salobra (A)

Fontes de variação	Grau de Liberdade
Bloco/Manejo	6
Manejo (M)	1
A0 x Estratégia (A)	1
A	4
M x (A0 x A)	1
M x A	4
Erro	30
Total	47

A0: Estratégias de irrigação utilizada na fazenda como testemunha

Para a execução das análises foi utilizado o Sistema para Análises Estatísticas SISVAR® (Ferreira, 2014).

### 1.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 1.3.1. Evolução da salinidade do solo

A evolução da salinidade do solo durante o cultivo do meloeiro foi avaliada por meio de análise descritiva, levando-se em conta a salinidade da água de irrigação aplicada nas diferentes estratégias e aos manejos de irrigação (M1 - baseado na evapotranspiração da cultura e M2 - pelo monitoramento de umidade do solo por tensiômetros). Na Figura 1.11 são apresentados os valores médios da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo na profundidade de 0-45 cm, durante o cultivo do meloeiro, submetido aos manejos de irrigação M1 e M2 em comparação com a condutividade elétrica da água de irrigação de cada uma das estratégias adotadas (A0 e A1 a A5).

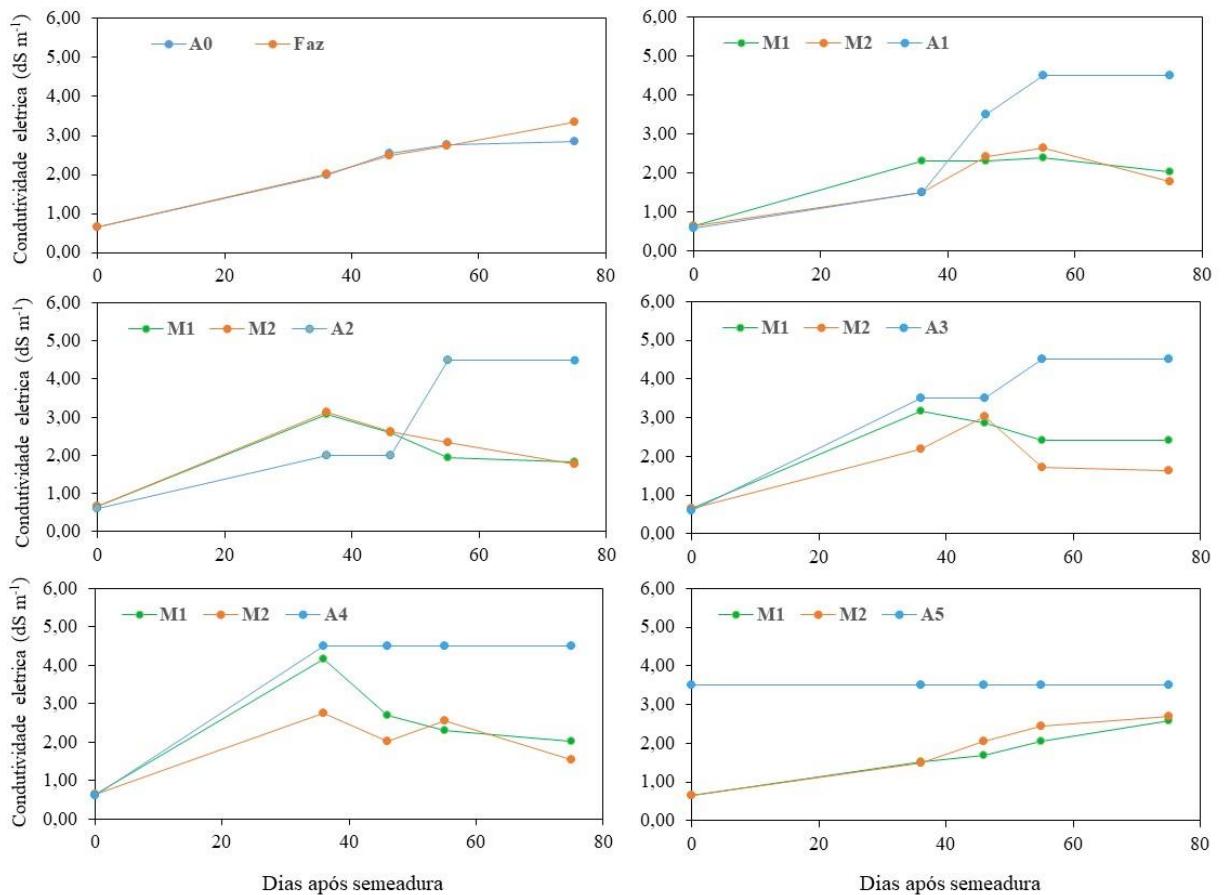
Observa-se que o manejo controle adotado pela fazenda (A0) foi o que resultou em maior proximidade entre os valores da salinidade da água de irrigação e da salinidade do solo durante o cultivo do meloeiro, indicando que nessa estratégia utilizada pela fazenda não se faz uso de um manejo eficiente para redução dos sais do solo durante o cultivo da cultura, chegando inclusive ao final do ciclo a apresentar valores de salinidade do solo superior aos da água de irrigação, o que ambientalmente não seria indicado.

Já em relação à evolução da concentração de sais no solo para as outras estratégias, comparativamente aos manejos de irrigação, pode-se observar que, de modo geral, para a

maioria das estratégias (de A1 a A4) o manejo M2, que é baseado no monitoramento da umidade do solo, resultou em menores valores de sais no solo durante o cultivo do meloeiro em relação ao manejo M1, que é baseado na evapotranspiração da cultura. Isso pode ser explicado pelo fato de o manejo M2 ter resultado em menores valores de lâmina de irrigação aplicada durante o cultivo do meloeiro (Figura 1.9), o que proporcionou um menor acúmulo de sais no solo (Figura 1.10).

Para Rhoades (1992), a remoção por evapotranspiração da maior parte da água aplicada é um dos fatores que favorecem o aumento da concentração de sais solúveis no solo. Ayers e Westcot (1991) ressaltam, ainda, que nas irrigações com maior frequência, 60% de toda a água absorvida pela planta provêm do quarto superior da zona radicular e, neste caso, os sais tendem a acumular-se em maior quantidade na camada superficial do solo.

Em relação aos valores da salinidade do solo, em comparação aos valores da salinidade da água de irrigação para cada estratégia, observa-se que todas as estratégias utilizadas (de A1 a A5) foram eficientes em termos de minimização do acúmulo de sais no solo, apresentando valores de salinidade do solo ao final do experimento inferiores aos valores de salinidade da água. Dentre as estratégias utilizadas, a que apresentou maiores valores de salinidade no solo foi a A5 por ser aquela que utilizou uma concentração constante de sais com valor  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  durante todo o ciclo da cultura, o que provavelmente ocasionou um maior acúmulo de sais no solo durante e ao final do experimento.



Faz: Manejo de irrigação adotado pela fazenda

Figura 1.11. Evolução da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CEEs) ao longo do ciclo da cultura do meloeiro em comparação com a condutividade elétrica da água de irrigação (CE) para as estratégias de utilização águas salobras (A0 e A1 a A5) e os manejos de irrigação M1 – baseado na evapotranspiração da cultura e M2 – monitoramento de umidade do solo por tensiômetros.

### 1.3.3. Avaliação da produção

Na Tabela 1.11 encontra-se um resumo da ANOVA para as variáveis número de frutos por planta (total – NFT e comercial - NFC), massa média de frutos (total – MMT e comercial - NMMC), produtividade (total – PRT e comercial – PRC) percentagem de frutos refugo (%REF), teor sólidos solúveis (SS) e firmeza de polpa (FIRM), em função das estratégias de utilização da água de irrigação e dos manejos da irrigação.

Observa-se na Tabela 1.11 que as variáveis massa média dos frutos (MMT), produtividade total (PRT) e percentagem de frutos refugo (%REF) foram influenciados

significativamente pelas estratégias do uso das águas salobras e pelos manejos da irrigação do meloeiro de forma interativa, sendo as variáveis MMT e REF em nível de 1% de probabilidade e a RRT em 5% de probabilidade. Observa-se ainda efeito isolado das estratégias ao uso de água salobras somente para o teor de sólidos solúveis em 5% de probabilidade. Esses resultados evidenciam que os parâmetros de produção da cultura do meloeiro podem ser influenciados tanto pelas estratégias ao uso de águas salobras quanto pela combinação do manejo de irrigação com as estratégias. Como houve interação significativa para MMT, PRT e REF, foi realizado o desdobramento dos tratamentos dentro de cada variável analisada em comparação aos manejos de irrigação com as estratégias do uso das águas salobras.

Tabela 1.11. ANOVA para número de frutos por planta (NFT) e comercial (NFC), massa média de frutos do meloeiro (MMT), e comercial (MMC), produtividade por planta (PRP) e total (PRT), percentagem de frutos refugo (REF), sólidos solúveis (SS) e firmeza do fruto do meloeiro (FIRM), em função das estratégias da água de irrigação (A) e de manejos da irrigação (M)

FV	GL	Variáveis								
		NFT	NFC	MMT	MMC	PRP	PRT	%REF	SS	FIRM
Estatística F										
BL/Manejo	6	0.20 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	0.58 <sup>ns</sup>	0.32 <sup>ns</sup>	3.85 <sup>**</sup>	0.95 <sup>ns</sup>
Manejo (M)	1	1.22 <sup>ns</sup>	1.16 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	1.97 <sup>ns</sup>	1.84 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	2.28 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>
A0 x Água (A)	1	0.01 <sup>ns</sup>	0.19 <sup>ns</sup>	4.37 <sup>*</sup>	4.64 <sup>*</sup>	1.39 <sup>ns</sup>	1.17 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>	0.66 <sup>ns</sup>
A	4	1.11 <sup>ns</sup>	0.83 <sup>ns</sup>	3.53 <sup>*</sup>	2.11 <sup>ns</sup>	1.41 <sup>ns</sup>	2.92 <sup>*</sup>	2.75 <sup>*</sup>	2.93 <sup>*</sup>	1.38 <sup>ns</sup>
M x (A0 x A)	1	1.12 <sup>ns</sup>	0.88 <sup>ns</sup>	0.07 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	1.42 <sup>ns</sup>	1.10 <sup>ns</sup>	0.06 <sup>ns</sup>	1.52 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>
M x A	4	1.98 <sup>ns</sup>	1.50 <sup>ns</sup>	4.52 <sup>**</sup>	2.13 <sup>ns</sup>	0.97 <sup>ns</sup>	3.69 <sup>*</sup>	4.33 <sup>**</sup>	0.65 <sup>ns</sup>	0.28 <sup>ns</sup>
Erro	30	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Média		1,88	1,49	1,426	1,534	33,34	28,40	14,72	12,75	17,93
CV(%)		11,91	11,86	6,112	6,911	9,57	9,73	38,39	8,43	22,81

ns: não significativo; \*\*: Significativo em 1% de probabilidade; \*: Significativo em 5% de probabilidade; A0: Estratégias de irrigação utilizada na fazenda como testemunha

Avaliando o desdobramento do efeito da interação do manejo da irrigação com as estratégias ao uso de água salobra na cultura do meloeiro para a variável massa média de frutos do meloeiro, observamos que a MMT foi afetada pelo manejo de irrigação nas estratégias A3 e A4, sendo o manejo M1 superior em 15,15% para a A3, enquanto o manejo M2 foi superior em 13,43% para a A4 (Tabela 1.12).

Para as estratégias dentro de cada manejo de irrigação, pode-se observar na Tabela 1.12 que para o M1, a estratégia A3 foi superior às estratégias A1 e A4, não diferindo estatisticamente das estratégias A2 e A5. Os menores valores ocorreram em A1, apesar de não diferir estatisticamente da A2 e A4. Para o manejo M2 não houve diferença significativa entre as estratégias de irrigação (Tabela 1.12). Essa uniformidade nos valores do manejo monitorado por tensiometria pode estar relacionada ao controle da salinidade ao solo, tendo em vista uma menor quantidade de água salobra aplicada na irrigação.

Para Medeiros et al. (2016), a cultura do melão é considerada moderadamente sensível à salinidade e não pode ser irrigada sem que haja prejuízo com água de  $CE \geq 3,5 \text{ dS m}^{-1}$ . Assim, as utilizações de águas de salinidade mais elevada devem ser condicionadas à tolerância das culturas à salinidade e ao manejo da irrigação, com vistas a minimizar impactos ambientais, danos às culturas e à sociedade.

Comparando-se isoladamente os manejos das irrigações com a estratégia testemunha da fazenda (A0), observa-se na Tabela 1.12 que somente diferiram-se no M1 as estratégias A2, A3 e A5, sendo essa última superior à estratégia testemunha A0; enquanto para o M2 foram as estratégias A2 e A4 que diferiram da testemunha.

O uso de estratégia de irrigação baseada no aumento da salinidade da água ao longo do ciclo da cultura mostrou ser eficiente, não apresentando perdas significativas em relação aos valores médios comerciais de frutos, corroborando com Porto Filho et al. (2006), os quais verificaram que o uso da água doce nos primeiros estágios de desenvolvimento do meloeiro e o incremento da salinidade ao longo do cultivo até o ciclo final constitui-se em uma boa estratégia para que a água salobra não reduza o número de frutos e, conseqüentemente, o rendimento da cultura, mostrando assim uma alternativa viável para a irrigação do meloeiro em relação a estratégia de irrigação com a água salobra.

Tabela 1.12. Valores médio de massa média dos frutos total – Kg (MMT), em função das estratégias da água de irrigação e os manejos da irrigação

Manejo	A1	A2	A3	A4	A5	A0
M1	1.32Ac	1.49Aabc*	1.52Aa*	1.34Bbc	1.51Aab*	1,37
M2	1.38Aa	1.51Aa*	1.35Ba	1.52Aa*	1.45Aa	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%); \* Apresenta diferença significativa em relação a Testemunha (A0) pelo teste Dunnett (5%)

Na Tabela 1.13 são apresentados os valores médios para a variável produtividade comercial (PRT) em função das estratégias ao uso de águas salobras e dos manejos de irrigação.

Observa-se que a produtividade do meloeiro foi afetada pelo manejo de irrigação somente na estratégia A3, sendo o manejo M1 superior ao M2 em 28,20%, possivelmente por esse manejo iniciar a irrigação com a água de concentração  $3,5 \text{ dS m}^{-1}$  a partir dos 29 DAP associado a menor quantidade na lâmina de irrigação do manejo M2 o efeito da salinidade na água de irrigação acabou influenciando negativamente nos valores médios na produtividade do meloeiro.

Analisando o efeito das estratégias de irrigação em cada manejo, pode-se observar que para o M1 os maiores valores foram obtidos nas estratégias A2, A3, A4 e A5, apesar das

estratégias A4 e A5 não diferirem da A1. Além disso, verifica-se que não houve diferença significativa entre as estratégias de irrigação para no manejo M2 (Tabela 1.13). Esse efeito encontrado nas estratégias para a PCT no manejo de irrigação M2, que é o baseado no monitoramento de umidade do solo, pode-se estar relacionado com a quantidade reduzida de sais no solo ocasionada pela menor lâmina de irrigação, realizando uma uniformidade no balanço de sais no solo, não encontrando significância em resposta para esse manejo dentro das estratégias estudadas.

Comparando-se os manejos dentro das estratégias de irrigação com a testemunha (A0), observa-se que somente no manejo M1 a estratégia A3 apresentou diferença significativa em relação à estratégia utilizada na fazenda (A0).

Tabela 1.13. Valores médios de produtividade (PCT) em função das estratégias e manejos da irrigação

Manejo	A1	A2	A3	A4	A5	A0
M1	24.81Ab	31.72Aa	32.64Aa*	29.18Aab	28.27Aab	27,44
M2	26.66Aa	28.28Aa	25.52Ba	29.76Aa	29.11Aa	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%); \* Apresenta diferença significativa em relação a Testemunha (A0) pelo teste Dunnett (5%)

A percentagem de frutos refugo foi afetada pelo manejo de irrigação na estratégia A3, sendo o manejo M2 superior ao M1 em 104,17% (Tabela 1.14). Esses valores elevados na percentagem de frutos refugo para a estratégia A3 no manejo de irrigação M2 pode estar relacionado diretamente com quantidade de água de irrigação e as concentrações de sais existentes nesse manejo, realizando assim o efeito de estresse salino ocasionando assim um maior número de frutos de classificação por refugo.

Em comparação às estratégias de irrigação dentro de cada manejo, pode-se observar que para o M1 os maiores valores foram obtidos nas estratégias A1, A2 e A4, enquanto as estratégias A3 e A5 proporcionaram menor percentagem de refugos, apesar de não diferirem significativamente das estratégias A2 e A4. Para o manejo M2 verifica-se que apenas as estratégias A3 e A4 diferirem entre si (Tabela 1.14).

Embora nos manejos M1 e M2 o número expressivo de frutos que apresentaram classificação como refugo tenha sido expressivo, tal resultado pode ser explicado pela condições edafoclimáticas, principalmente temperatura, umidade relativa do ar e do solo, propiciadas pelas chuvas ocorridas no período de condução do experimento (Tabela 1.5), uma vez que se observou significativa incidência de doenças bacterianas, fúngicas e viróticas, afetando a fisiologia da planta e favorecendo a formação de frutos de má qualidade. Costa

(2002) também verificou elevado número de frutos refugos de melão amarelo “Gold Mine” no período chuvoso.

Comparando-se as estratégias de irrigação (A1 a A5) com a testemunha (A0), observa-se que somente no manejo M1 as estratégias A1 e A4 e no manejo M2 as estratégias A1, A2 e A5 apresentaram diferença da estratégia utilizada na fazenda (A0).

Tabela 1.14. Valores médios de percentagem de frutos refugo em função das estratégias da água de irrigação e de manejos da irrigação

Manejo	A1	A2	A3	A4	A5	A0
M1	23.19Aa*	12.44Aab	10.32Bb	19.19Aab*	10.25Ab	14,60
M2	16.34Aab	14.54Aab	21.07Aa*	8.70Bb*	11.41Aab	

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%); \* Apresenta diferença significativa em relação a Testemunha (A0) pelo teste Dunnett (5%)

## 1.4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

- A estratégia ao uso de água salobra A2 de incremento da salinidade por fases foi a que apresentou maior rendimento comercial de frutos de melão, possibilitando economia de água de baixa salinidade.

- Embora o uso de águas salobras como fonte de alternativa para a irrigação possa apresentar problemas, como a salinização do solo nas camadas superficiais, o manejo da irrigação combinado ao incremento da salinidade por fases da estratégia A1 resultou em maior eficiência em termos de redução do acúmulo de sais durante o cultivo e no final do ciclo.

- O manejo de irrigação M2, baseado pelo monitoramento da umidade do solo, conseguiu proporcionar uma produção de frutos satisfatória com uma menor quantidade de água para a irrigação.

## 1.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; et al. SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56). 2006.

- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p. 711-728, 2013.
- ARAGÃO, C. A. et al. Avaliação de cultivares de melão sob condições de estresse salino. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, n. 2, p. 161-169, 2009.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **A qualidade da água na agricultura**. Campo Grande. UFPB, 218p. (FAO. Estudos de irrigação e Drenagem, 29). 1991.
- BOTÍIA, P. et al. Yield and fruit quality of two melon cultivars irrigated with saline water at different stages of development. **European Journal of Agronomy**, Taastrup, v. 23, n. 3, p. 243-253, 2005.
- CAMPELO, A. R. et al. Manejo da cultura do melão submetida a frequências de irrigação e fertirrigação com nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 138-144, 2014.
- COSTA, F. de A. **Coberturas do solo e lâminas de irrigação no rendimento e qualidade do melão “Gold Mine” cultivado no período chuvoso**. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), Mossoró-RN. 2002.
- DIAS, N. S. et al. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 915-921, 2011.
- DIAS, N. S. et al. Evolução da salinidade de um Argissolo sob cultivo de melão irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, p.240-246, 2004.
- EDELSTEIN, M. et al. Boron and salinity effects on grafted and non-grafted melon plants. **Plant and Soil**, Crawley, v. 269, n. 1-2, p. 273-284, 2005.
- FERREIRA NETO, M. et al. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1675-1681, 2007.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e estatística**. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?=&t=resultados> Acesso em 16 de outubro de 2018.
- KUSVURAN, S. et al. Determination of genotypical differences of melons to salt tolerance. **Acta Horticulturae**, Lisbon, v. 918, n. 2, p. 777-783, 2011.

- LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.89-100. 2004.
- MEDEIROS, J. F. et al. Efeito da lâmina de irrigação na conservação pós-colheita de melão Pele de Sapo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 514-519, 2012.
- MEDEIROS, J. F. et al. Manejo do solo-água-plantas em áreas afetadas por sais. In: Gheyi, H. R.; Dias, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. Ed. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. Fortaleza: INCTSal, p.319 – 352. 2016.
- MELÃO: Crise hídrica esse assunto é coisa do passado, **Hortifruti Brasil**, ano 14, n. 154, p. 26-26. 2016.
- PAIVA, A. S. et al. Salinidade e reação do solo numa área cultivada com melão sob mulch e irrigado com águas de diferentes níveis de sais. **Revista Caatinga**, v.17, p.57-63, 2004.
- POTAFOS. Instituto de Potassa & Fosfato. **Manual internacional de fertilidade do solo**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 177p. 1998.
- PORTO FILHO, F. Q. et al. Evolução da salinidade e do pH de um solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1130-1137, 2011.
- PORTO FILHO, F. Q. et al. Viabilidade da irrigação do meloeiro com águas salinas em diferentes fases fenológicas. **Ciência Rural**, v. 36, p. 453-459, 2006.
- RHOADES, J. D.; KAM DIAN, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline water for crop production**. Rome: FAO, 1992. 133p. (FAO Irrigation and Drenagem, Paper. 48).
- SILVA, E. F. F. et al. Extratores de cápsulas porosas e o monitoramento da condutividade elétrica e do teor de potássio na solução de um solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.4, p.785-789, 2000.
- SCALCO, M. S. et al. Rendimento e maturação de frutos do cafeeiro sob diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio safra 2003/2004. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 4. Londrina. **Anais**. Brasília: Embrapa Café, 2005. 1 CD-ROM. 2005.
- SOARES, T. M. et al. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 235-248, 2007.
- TERCEIRO NETO, C. P. C. et al. Crescimento e composição mineral do tecido vegetal do melão ‘pele de sapo’ sob manejos de água salina. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 255-266, 2014.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 892-898, 1980.

ZONG, L. et al. Effect of different irrigation water salinities on some yield and quality components of two field-grown cucurbit species. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, Ankara, v. 35, n. 2, p. 297-307, 2011.

## CAPITULO II

### PRODUÇÃO E QUALIDADE DO MELÃO CULTIVADO COM ÁGUA SALOBRA E MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

**RESUMO:** As regiões semiáridas são consideradas áreas potenciais para exploração da agricultura irrigada. Entretanto, suas fontes hídricas possuem normalmente elevados teores de sais, de modo que o manejo inadequado do solo e da água resulta, em médio ou longo prazos, em problemas de salinidade do solo. O objetivo do presente estudo foi avaliar a produção e a qualidade do melão cultivado com água salobra e com controle da adubação nitrogenada. Foram realizados dois experimentos, um ao lado do outro, no delineamento em blocos casualizados, cada um correspondendo a uma forma de manejo da irrigação quanto à reposição de água no solo, usando o esquema de parcelas subdivididas em faixas 2x2x4, sendo duas formas de manejo da irrigação, duas formas de manejar a adubação nitrogenada e quatro estratégias de se utilizar as águas salobra e doce disponíveis. Ao final do experimento foram avaliados os resultados de produção, evolução da salinidade no solo e o comportamento do nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) na solução do solo ao longo do experimento quanto à influência dos manejos de adubação nitrogenada em relação às estratégias de irrigação de água de elevada salinidade. Com base nos resultados obtidos no presente trabalho conclui-se que os solos irrigados com água salobra utilizando a estratégia de aplicação com água salobra com concentração crescente (A1 e A2) foram as que menos acarretaram em salinização do solo ao final do ciclo da cultura do meloeiro. A produtividade do melão não foi afetada pelo manejo da redução da adubação nitrogenada. A produção comercial e total não foi influenciada pelo uso de água com baixa e alta concentrações salobras, aplicadas sob diferentes formas de manejo, sendo que somente para a estratégia A4 os valores de produtividade foram inferiores em relação as outras estratégias de utilização de água salobra. De modo geral, o manejo de irrigação baseado no monitoramento da umidade do solo foi o que apresentou maiores influências nas estratégias de uso de água salobras e do manejo de adubação.

**Palavras-Chave:** Salinidade do solo, Nitrogênio, Impactos ambientais, Meloeiro.

## 2.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países que mais produz frutas e hortaliças no mundo, e dentre as hortaliças apreciadas e produzidas na região do semiárido nordestino, o melão (*Cucumis melo* L.) tem grande destaque. Esse cultivo se consolidou na região Nordeste, em especial nos estados do Rio Grande do Norte e Ceará, graças a sua boa adaptação às condições climáticas (CAMPELO et al., 2014), resultando na safra de 2018 (de agosto a novembro) melões de alta qualidade, com produtividade 26% maior em relação ao ano de 2017 (MELÃO, 2018).

O sucesso desta produção consiste na adoção de estratégias na irrigação, que dependem da quantidade e da qualidade da água. A utilização eficiente da água está se tornando cada vez mais importante devido à escassez de recursos hídricos na região (MEDEIROS et al., 2012). Por causa das baixas precipitações pluviométricas, o uso de água com qualidade inferior, como a salobra, vem se intensificando devido à alta disponibilidade encontrada nessa região, fácil acesso (água de poços tubulares rasos), custo reduzido e potencial de uso para irrigação, embora tenha alto nível de salinidade ( $CE > 2,2 \text{ dS m}^{-1}$ ), podendo limitar o rendimento do cultivo e ocasionar a salinização dos solos (PORTO FILHO et al., 2011; DIAS et al., 2011; FREITAS et al., 2014).

Assim, a gestão da água e a eficiência do uso são essenciais para um desenvolvimento sustentável do cultivo, já que a irrigação consome um grande volume de água superficial de boa qualidade. Além disso, as águas subterrâneas usadas para irrigação na região semiárida são frequentemente salobras e seu uso tem efeitos adversos no solo, na água e nas plantas, causando severas restrições às atividades fisiológicas e à capacidade produtiva das culturas (PLAUT et al., 2013).

A fertilização das culturas é uma das práticas mais importantes em qualquer sistema de produção agrícola, pois plantas bem nutridas não só produzem mais, como desenvolvem maior resistência a ataques de pragas e doenças. Sendo o meloeiro uma cultura exigente em nutrientes, conhecer as exigências nutricionais com o intuito de otimizar a adubação para aumentar a produtividade dos plantios é fundamental.

Dentre os nutrientes mais requeridos pela cultura do meloeiro destaca-se o nitrogênio; a adequada adubação nitrogenada beneficia o crescimento de partes vegetativas das plantas, como folhas e caules, além de exercer efeito no aumento da capacidade fotossintética da planta e de sua capacidade produtiva dos frutos (BUEREN; STRUIK, 2017).

A falta de racionalização no uso dos fertilizantes pela maioria dos produtores, além de aumentar o custo de produção, diminui o rendimento e a qualidade dos frutos, podendo promover a contaminação do meio ambiente (SILVA, 2012). Assim, quando se utiliza a fertirrigação é importante acompanhar a dinâmica e a distribuição dos nutrientes no perfil do solo, pois isso permite estabelecer ou ajustar a aplicação dos fertilizantes, além de prevenir danos ambientais como a salinização dos solos e a contaminação das águas (BARROS et al., 2010).

Considerando a importância do manejo da adubação nitrogenada e a necessidade de práticas de manejo da água salobra para a cultura do melão, objetivou-se com o presente estudo avaliar a produção e a qualidade do melão cultivado com água salobra e com controle da adubação nitrogenada.

## **2.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1. Caracterização da área de estudo e do experimento**

Os experimentos foram realizados no período de setembro a dezembro de 2018, na fazenda Nordeste Frutas Ltda – Norfruit, - associada à Cooperativa dos Fruticultores da Bacia Potiguar – COOPYFRUTAS, localizada na cidade de Mossoró, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Norte (latitude de 5° 02' 0,02'' S e longitude 37° 22' 33,6'' W Gr).

A fazenda utiliza poços tubulares com água de qualidade inferior para produção agrícola e, também, poços tubulares profundos que exploram água doce, adotando a prática da mistura das águas para diminuir os efeitos deletérios da salinidade sobre as plantas.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo BSw, caracterizado por clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, com uma precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm, temperatura média de 27°C e umidade relativa do ar média de 68,9% (ALVARES et al., 2013).

### **2.2.2. Implantação dos tratamentos**

Foram realizados dois experimentos, ambos seguindo o delineamento em blocos casualizados com quatro repetições (Figura 2.1). Cada experimento correspondeu a uma forma de manejar a irrigação e de reposição de água no solo (M1- irrigação realizada com base na

evapotranspiração da cultura –  $ET_c$ ; e M2 - irrigação realizada com base no monitoramento da umidade do solo por meio de tensiômetros instalados na área experimental). O esquema utilizado em cada experimento foi o de parcelas subdivididas, com os tratamentos constituídos das combinações de duas formas de se manejar a adubação nitrogenada (CN – Com a adubação nitrogenada durante todo o ciclo da cultura e SN – Sem a adubação nitrogenada, sendo suspensas as fontes de N a partir da frutificação, considerando que água do aquífero Jandaíra tem teores elevados de  $N-NO_3$  (10 a 15  $mg L^{-1}$ ), segundo Melo et al. (2013)) e quatro estratégias de se utilizar as águas salobra e doce na cultura do meloeiro (A1- Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce, fases II e III: incremento por semana da proporção água salobra/doce nas salinidade de 1,5; 2,5; e 3,5  $dSm^{-1}$ , chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de 4,5  $dS^{-1}$ ; A2 - Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce, fases II e III irrigação com água de salinidade de 2,5  $dS^{-1}$ , chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de 4,5  $dS^{-1}$ ; A3 – Irrigação com água salobra de 4,5  $dS^{-1}$  a partir da quinta semana de cultivo em campo (depois de iniciada a floração) e aplicando-se a água doce apenas para adicionar a lâmina de lixiviação, que foi realizada semanalmente e A4 – irrigação com água salobra (3,5  $dS m^{-1}$ ) durante todo o ciclo da cultura.

As unidades experimentais de cada tratamento foram constituídas de 2 fileiras de sete metros de comprimentos, sendo utilizadas 4,8 m de comprimento de cada fileira para avaliação da produção. As fileiras foram divididas em 4 blocos de 4,8 metros de comprimento e 6 metros largura, sendo considerada uma área útil de 28,8  $m^2$  (Figura 2.2). As distribuições das estratégias ocorreram por meio de sorteio aleatório dentro de cada bloco, como também o manejo da adubação nitrogenada.

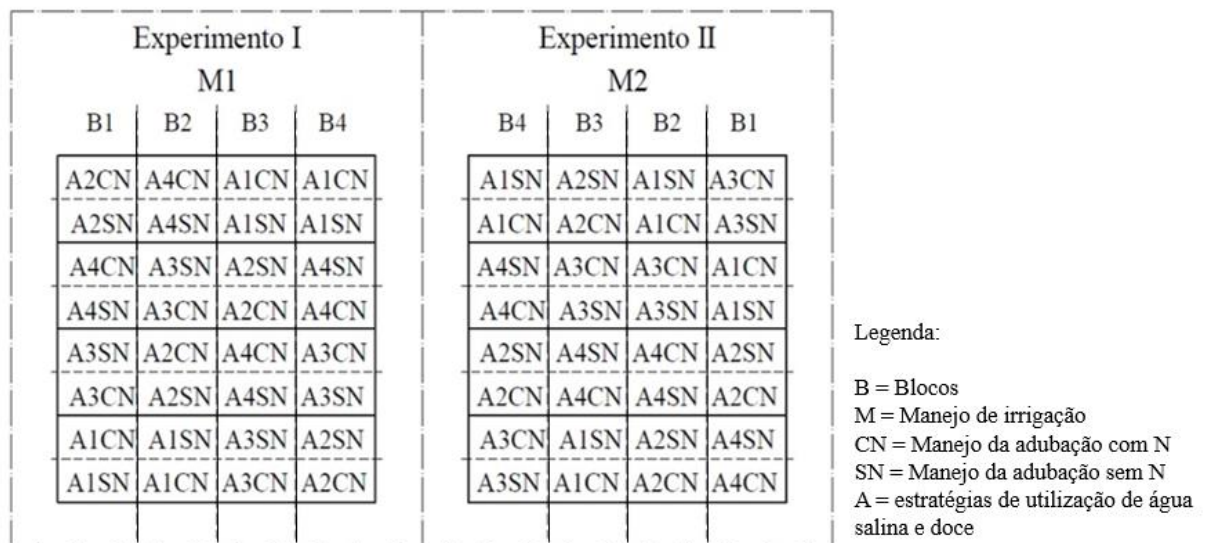


Figura 2.1. Representação do croqui experimental.

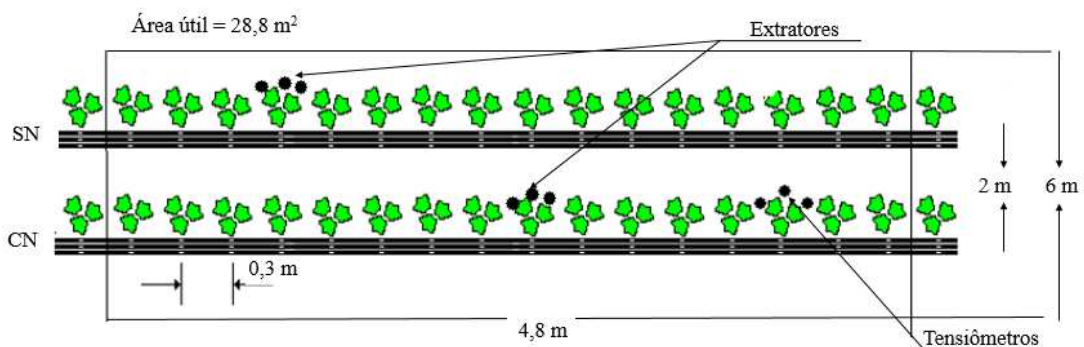


Figura 2.2. Detalhe da parcela experimental, mostrando a área útil para avaliação e o posicionamento dos tensiômetros e extratores da solução em relação a planta.

A água de menor condutividade elétrica ( $0,6 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi proveniente do poço artesiano profundo extraído do aquífero arenito Assú, enquanto a água de maior condutividade elétrica ( $4,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi obtida em poços tubulares rasos que exploram o aquífero calcário Jandaíra (águas de elevada salinidade). As condutividades elétricas das águas utilizadas na pesquisa foram obtidas a partir da mistura dessas duas águas, sendo monitoradas diariamente por meio de condutivímetro digital portátil de marca AEV Imports e modelo TDS com alta precisão de  $\pm 2\%$ .

Na Tabela 2.1 são apresentados os valores de condutividade elétrica das águas de irrigação aplicadas semanalmente e na Tabela 2.2 a composição química das águas e suas fontes utilizadas para a irrigação.

Tabela 2.1. Condutividade elétrica da água de irrigação aplicada semanalmente em cada tratamento estudado

Estratégias	Dias após o transplântio									
	1-7	8-14	15-21	22-28	29-35	36-42	43-49	50-56	57-63	64-70
	Semanas									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	CEa (dS m <sup>-1</sup> )									
<b>A1</b>	0,6	0,6	0,6	1,5	1,5	2,5	3,5	4,5	4,5	4,5
<b>A2</b>	0,6	0,6	0,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	4,5	4,5
<b>A3</b>	0,6	0,6	0,6	4,5*	4,5*	4,5*	4,5*	4,5*	4,5	4,5
<b>A4</b>	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

\*Lâmina de lixiviação aplicada equivalente a 20% da lâmina semanal

Tabela 2.2. Composição química das águas e suas fontes utilizadas na pesquisa

Águas	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza	Cátions	ânions	RAS
		dS m <sup>-1</sup>	mmol/L					-mg/L -		--- mmol/L ---			
*	8,40	0,62	0,59	3,53	2,30	1,50	2,80	0,60	3,30	190	7,9	6,7	2,6
**	6,80	4,52	0,21	32,22	21,90	10,70	37,00	0,00	4,50	1630	65,0	65,0	8,0

\* Água proveniente do poço profundo (Água doce) e \*\*Água proveniente do poço raso (Água salobra)

### 2.2.3. Caracterização física e química do solo em estudo

Para se caracterizar o solo da área experimental, antes da realização dos experimentos, foram retiradas amostras de solo na profundidade de 0-20 cm na mesma área do experimento anterior (Capítulo I), em cada parcela, para determinar a fertilidade residual do solo (Tabela 2.3).

Tabela 2.3. Análise do solo da área experimental

	N	pH	CE1:2,5	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	T	CTC	V	PST	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg		dS m <sup>-1</sup>	mg/d	mg/d	mg/d	mg/d	mg/d	mg/d	mg/d	mg/d	mg/d	%	%	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>
<b>S1</b>	1,82	7,70	0,07	39,0	77,9	48,7	3,00	0,80	0,00	4,21	4,21	4,21	100	5	0,99	2,79	36,85	3,33
<b>S2</b>	0,63	7,70	0,15	49,6	82,9	67,7	3,00	0,60	0,00	4,11	4,11	4,11	100	7	1,30	2,29	37,75	4,04
<b>S3</b>	0,63	7,40	0,29	12,4	75,8	97,6	3,20	0,80	0,00	4,95	4,95	4,95	100	9	0,68	1,92	45,55	3,08
<b>S4</b>	0,70	8,10	0,09	30,8	68,9	51,7	3,20	0,90	0,00	4,50	4,50	4,50	100	5	0,84	2,14	41,90	3,31
<b>S5</b>	0,49	8,20	0,14	74,4	99,8	65,7	2,80	1,20	0,00	4,54	4,54	4,54	100	6	0,77	3,10	53,70	3,62
<b>S6</b>	0,56	7,80	0,23	42,1	58,0	79,7	2,80	0,90	0,00	4,19	4,19	4,19	100	8	1,07	4,51	39,85	1,86
<b>S7</b>	0,63	8,10	0,17	19,6	60,0	68,7	3,00	1,70	0,00	5,15	5,15	5,15	100	6	0,52	1,92	16,65	2,20
<b>S8</b>	0,49	7,70	0,21	24,7	45,0	85,6	2,80	0,90	0,00	4,19	4,19	4,19	100	9	0,39	2,02	11,60	1,94
<b>S9</b>	0,77	7,70	0,18	29,8	66,9	77,7	3,10	0,90	0,00	4,51	4,51	4,51	100	7	0,50	2,04	19,75	3,04
<b>S10</b>	0,42	8,10	0,15	49,6	43,0	53,7	2,60	1,30	0,00	4,24	4,24	4,24	100	6	0,68	2,48	16,90	2,41

S1=A0M0; S2=T1M1; S3=T4M1; S4=T5M1; S5=T3M1; S6=T2M1; S7=T5M2; S8=T4M2; S9=T2M2; S10=T3M2

O solo da área experimental foi classificado, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), como argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico Latossólico

(Apêndice A). A classificação do solo foi realizada por um pedólogo da região: José Araújo Dantas – EMPARN.

Para a determinação da curva de retenção da água no solo foram coletadas amostras indeformadas em três trincheiras, nas profundidades 0,0 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m. Uma vez coletadas as amostras, elas foram levadas para o laboratório de análise de solos da UFERSA, onde foi feita a toailete das amostras, retirando todo excesso de solo, deixando apenas o correspondente ao volume do cilindro utilizado e prendido um tecido na parte inferior da amostra com um elástico para evitar a perda de solo durante a manipulação da amostra.

As curvas de retenção foram determinadas seguindo a metodologia da EMBRAPA (2009). Foram utilizadas a mesa de tensão para determinação dos pontos 0, 1, 3, 6, 10, e 30 kPa e a câmara de Richards para os pontos 50, 100, 300, 500, 1000, 1500 kPa. Os conteúdos de água correspondentes às tensões 30 e 1500 kPa foram considerados como os pontos de Capacidade de Campo (CC) e Ponto de Murcha Permanente (PMP), o que corresponderam a de  $0,18 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  e  $0,08 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$  respectivamente.

Com base dos dados obtidos, foi possível calcular o conteúdo de água a base de massa da amostra  $U$  ( $\text{kg kg}^{-1}$ ) ( $U = MU - MS/MS$ ) e com os dados de densidade do solo ( $D_s$ ) calculou-se o conteúdo de água a base de volume ( $\theta$ ) das amostras  $\theta$  ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) ( $\theta = U \cdot D_s / 1000$ ), correspondentes a cada tensão aplicada.

Com os dados de conteúdo de água para cada tensão, foi possível traçar a curva de retenção da água no solo, que foram ajustadas à equação utilizada por van Genuchten (1980).

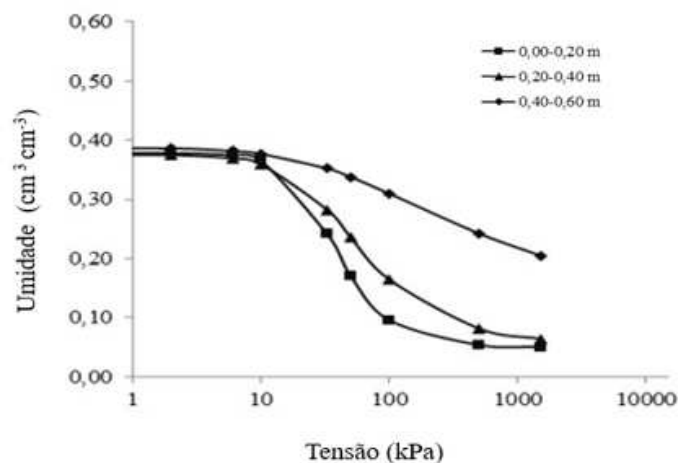


Figura 2.3. Curva de retenção de água no solo utilizado no experimento.

#### 2.2.4. Montagem e condução do experimento

A cultura utilizada no experimento foi o melão amarelo (*Cucumis melo*), cultivar Goldex, a qual apresenta casca amarela, com boa vida de prateleira (Figura 2.4).



Figura 2.4. Melão amarelo, cultivar Goldex, utilizado no experimento.

O preparo do terreno constou da limpeza da área, seguida de aração e gradagem para destorroamento, abertura dos sulcos, adubação de fundação e construção dos camalhões, com 0,6 m de largura e 0,15 m de altura, destinados ao plantio.

As adubações foram realizadas com base nas recomendações de Crisóstomo et al. (2002). Para a adubação de fundação utilizou-se 420 kg ha<sup>-1</sup> da formulação 6-24-12,; já a adubação de cobertura foi realizada via fertirrigação e aplicada a partir do quinto dia após a semeadura até a fase final de enchimento dos frutos; as quantidades de nutrientes aplicados durante o ciclo da cultura estão apresentadas na Tabela 1.4; foram utilizados, como fontes de N, P e K, os seguintes adubos: KNO<sub>3</sub>, Ureia, Ácido nítrico, KCl, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MAP, Ácido fosfórico e, como fontes de micronutrientes, o Ácido bórico e o Quelatec AZ<sup>1</sup>.

Os tratamentos referentes ao manejo de adubação sem nitrogênio (SN) tiveram suas fontes de N suspensas a partir da frutificação da cultura, ou seja, no início da quinta e sexta semanas de cultivo.

Tabela 1.4. Quantidades acumuladas de nutrientes aplicados na fundação e na cobertura, por semanas, durante o experimento

Período (DAT)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	B	Quelatec*
	----- Kg há <sup>-1</sup> -----					
Fundação	25	101	50			
0 - 5	-	-	-	-	-	-
6 - 12	14	16	22	-	-	1,042
13 - 19	25	32	43	-	-	1,562
20 - 26	38	50	67	2,30	1,20	1,562
27 - 33	51	68	96	3,45	2,65	1,562
34 - 40	71	79	119	3,45	2,65	1,562
41 - 47	77	82	170	3,45	2,65	1,562
48 - 54	80	82	180	3,45	2,65	1,562
55 - 61	82	82	185	3,45	2,65	1,562
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>183</b>	<b>235</b>	<b>3,45</b>	<b>2,65</b>	<b>1,562</b>

\*composição: Fe (7,5%); Mn (3,5%); Zn (0,7%); Cu (0,28); B (0,65%); Mo (0,3%)

A linha de plantio (camalhão) foi coberta com um *mulching* (filme de polietileno preto-branco, sendo a face branca voltada para cima) com o objetivo de reduzir os problemas fitossanitários nos frutos, além de otimizar o uso da água, reduzindo a evaporação no solo e controlando as ervas daninhas. Até o início da floração as plantas foram protegidas com manta (TNT), objetivando-se inibir o ataque da mosca minadora (*Liriomyza sativae*), considerada a principal praga do meloeiro na região (Figura 2.5).



Figura 2.5. Utilização da manta (TNT) até o início do florescimento do melão.

No início do experimento foram instaladas baterias de tensiômetros do tipo punção providos de cápsulas cerâmicas porosas em sua extremidade inferior e borrachas de silicone na extremidade superior (Figura 2.6), confeccionados manualmente, nas profundidades de 0,20;

0,40 e 0,60 m, para monitorar a umidade do solo. Os tensiômetros também funcionaram como extratores de solução do solo.



Figura 2.6. Detalhes dos tensiômetros de cápsula cerâmica que foram instalados nos experimentos.

A evapotranspiração de referencia ( $ET_0$ ) foi estimada com base nos dados climatológicos no período de cultivo dos experimentos, obtidos em estação meteorológica automática pertencente à rede do INMET, localizada em Mossoró-RN, a 15 km da área do experimento, usando para tal a Equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (Allen et al., 2006) (Tabela 2.5).

Tabela 2.5. Valores médios semanais de temperatura ( $T_{med}$ ), umidade relativa (UR), Radiação global ( $R_g$ ), velocidade do vento a 10 m ( $V_{10}$ ) e evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) registrados no período de setembro a dezembro de 2018

Períodos		$T_{med}$ (°C)	UR (%)	$R_g$ (Mj m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> )	$V_{10}$ (m s <sup>-1</sup> )	$ET_0$ (mm dia <sup>-1</sup> )
Data	DAT					
<b>22-28/9/2018</b>	0-7	29,08	52,78	20,2	3,12	7,01
<b>29/09-05/10/2018</b>	08-14	28,57	56,00	21,5	3,06	6,28
<b>6-12/10/2018</b>	15-21	28,22	59,53	22,6	2,52	5,95
<b>13-19/10/2018</b>	22-28	28,36	59,31	23,4	2,09	7,01
<b>20-26/10/2018</b>	29-35	28,70	57,77	22,6	2,15	5,42
<b>27/10-2/11/2018</b>	36-42	28,73	57,37	21,8	3,11	5,67
<b>03-09/11/2018</b>	43-49	29,28	53,23	24,2	2,23	6,14
<b>10-16/11/2018</b>	50-56	29,41	55,23	22,1	2,74	6,34
<b>17-23/11/2018</b>	57-63	29,76	55,86	21,8	3,02	5,90
<b>24/11-01/12/2018</b>	64-70	29,41	58,34	22,7	3,00	6,80
<b>Média</b>		<b>28,95</b>	<b>56,93</b>	<b>22,29</b>	<b>2,70</b>	<b>6,20</b>

DAT- dias após o transplante;  $T_{med}$  - temperatura média; UR - umidade relativa;  $V_{10}$  - velocidade do vento medida a 10m de altura;  $ET_0$  - evapotranspiração de referência calculada pela equação de Penman-Monteith - FAO

### 2.2.5. Manejo da irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com linhas laterais de polietileno, com gotejadores não autocompensantes, mantendo-se uma pressão de 10 kPa no cabeçal de controle, para permanecer uma vazão média no final da linha de 1,7 L h<sup>-1</sup>. O espaçamento utilizado no sistema foi 2,0 m entre linhas e de 0,30 m entre emissores.

A mistura das águas para compor os tratamentos das estratégias foi feita no momento do bombeamento no reservatório, controlando-se a vazão por intermédio da regulagem de válvulas de esfera, que controlavam a quantidade de água de maior e menor salinidade que passava para irrigação das parcelas. Esse controle foi feito baseado nas leituras da condutividade elétrica da água realizada por um condutivímetro portátil de modelo K53-002 Dubesser, sendo que cada estratégia tinha sua condutividade elétrica conhecida.

No manejo da irrigação M1, a irrigações foi realizada com turno de rega de um dia, sendo suspensas quando ocorriam chuvas acima de 3 mm. As lâminas de irrigação foram estimadas a partir da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) calculada pela equação de Penman-Monteith parametrizada pela FAO (ALLEN et al., 2006) e o coeficientes de cultura (K<sub>c</sub>) para o meloeiro (MAIA, 2008), aplicando-se a metodologia do K<sub>c</sub> dual (Allen et al., 1998). Os dados climáticos foram obtidos na estação climatológica do INMET do município de Mossoró/RN.

A metodologia do K<sub>c</sub> dual consiste na conjunção do coeficiente basal da cultura (K<sub>cb</sub>) e do coeficiente de evaporação do solo (K<sub>e</sub>) (ALLEN, 2000). Os valores de K<sub>cb</sub> (K<sub>c</sub> basal da cultura) adotados foram de 0,15; 1,05; e 0,75 nas fases inicial, intermediária e no final do ciclo, respectivamente, recomendados pela FAO 56 (Allen et al., 1998). A partir destes dados estimou-se o K<sub>c</sub> diário, representado esquematicamente na Figura 2.7.

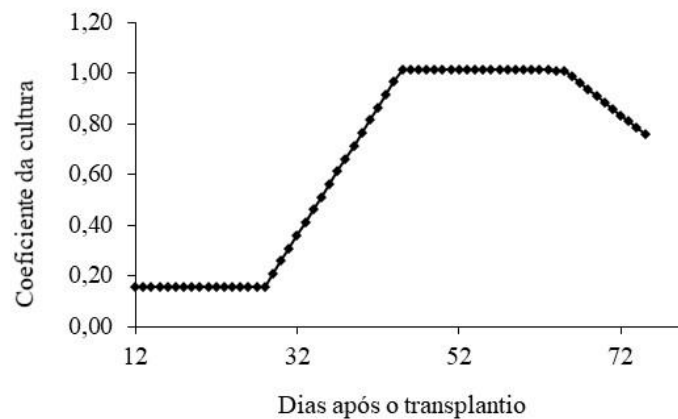


Figura 2.7. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) do melão utilizado no experimento de acordo com a idade da planta, estimado com base em FAO 56 (ALLEN et al., 1998).

A lâmina bruta ( $L_b$ ) de irrigação aplicada foi calculada pela razão entre a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) e o coeficiente de uniformidade (CU) de 95%, acrescida da lâmina de lixiviação de 5% do valor semanal de irrigação, conforme recomendado por U.S. Salinity Laboratory Staff (1954).

Para no manejo da irrigação com base no monitoramento da umidade do solo (M2) foram utilizados tensiômetros do tipo punção, sendo realizada a irrigação por esse manejo sempre que a tensão da água no solo a 0,15 m ficava entre 10 e 15 kPa (LIMA et al., 2016).

Na Figura 2.8 encontram-se os dados das lâminas de irrigação acumuladas durante o ciclo da cultura do meloeiro para os dois manejos de irrigação (M1 e M2).

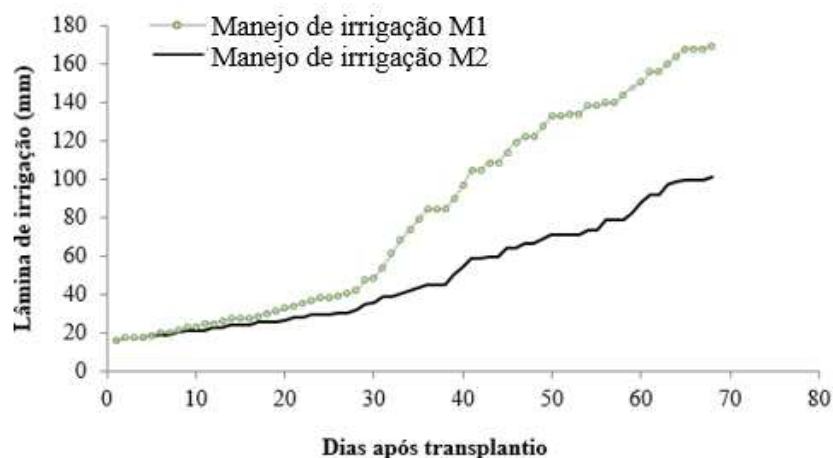


Figura 2.8. Lâmina de irrigação acumulada ao longo do ciclo da cultura do melão utilizando os manejos de irrigação baseado na evapotranspiração da cultura (M1) e pelo monitoramento de umidade do solo por tensiometria (M2).

### **2.2.6. Tratos culturais**

A implantação da cultura foi realizada por meio de transplântio, sendo utilizadas mudas de melão amarelo, cultivar Goldex, produzidas pela própria empresa e levadas ao campo aos 12 dias, procedendo-se posteriormente à irrigação por três horas. Doze dias após a semeadura foi realizado o desbaste das plântulas, deixando apenas a planta mais vigorosa.

Durante o ciclo da cultura, as linhas de plantio foram cobertas com um filme plástico com faces preto-branco, com a finalidade de diminuir os problemas fitossanitários nos frutos além de otimizar o uso da água, evitando evaporação e controlando parcialmente as ervas daninhas. Mesmo com o solo coberto, foi necessário a utilização de capinas manuais nos furos do mulch destinados às plantas de melão, na região próxima ao colo da planta, e uma capina com enxadas nas entrelinhas, para evitar competição por água e nutrientes e proliferação de pragas.

Até o início da floração, as plantas foram protegidas com manta agrotêxtil (TNT), evitando a entrada de insetos que atacam o meloeiro. Com o início da floração foram colocadas duas colméias de abelhas próximas à área experimental para auxiliar na polinização.

Foram eliminadas da área do experimento plantas com sintomas iniciais de virose (Amarelão). O controle fitossanitário adotado foi o mesmo utilizado na fazenda, que se baseia no monitoramento e na prevenção com produtos químicos, para pragas e doenças, evitando que o problema chegue ao nível de dano econômico. As doses dos defensivos utilizados nas aplicações obedeceram às recomendações dos fabricantes. Os principais defensivos utilizados foram: Actara (tiametoxam); Vertimenc (abamectina); Óleo 44 mineral, Tiobel (cloridrato de cartape), Folpan (folpete), Enxofre, Trigard (ciromazina), Cercobim (tiofanato-metílico), Sulfato de Cobre, Score (difenoconazol), Tamarom (metamidofós).

### **2.2.7. Características avaliadas**

#### **2.2.7.1. Evolução da salinidade no solo**

Foram realizadas avaliações periódicas da evolução da salinidade do solo, a partir de amostras de solo coletadas durante o desenvolvimento da cultura, avaliando a condutividade elétrica do extrato de saturação ( $CE_{es}$ ), seguindo a metodologia do manual de análises da EMBRAPA (2009).

Com base nos valores de CEes previamente determinados em laboratório, avaliou-se o comportamento da salinidade do solo ao longo e ao final do experimento para verificar a influência dos manejos de irrigação e das estratégias de água de elevada salinidade.

As metodologias utilizadas nas análises foram as recomendadas pela Embrapa (2009).

#### **2.2.7.2 Monitoramento do nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) na solução do solo**

O monitoramento dos teores de nitrato ( $\text{N-NO}_3^-$ ) na solução do solo foi realizado pela coleta de solução do solo com auxílio de extratores providos de cápsulas porosas, instalados nas linhas das parcelas do experimento nas profundidades de 0,20 m, 0,40 m e 0,60 m. As coletas da solução do solo foram realizadas sempre no dia seguinte das irrigações e momentos antes da irrigação diária (Figura 2.9).



Figura 2.9. Coleta da solução do solo com auxílio dos extratores providos de cápsulas porosas.

Após a coleta das soluções as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos com volume de 60 mL e, em seguida, transportadas para o Laboratório de Análise de Solo, Planta e Água (LASAP) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Para a determinação das concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  no extrato de saturação do solo, a metodologia de análise baseou-se na recomendação de Embrapa (2009), utilizando o método de Kjedal.

Com base nas concentrações médias das três profundidades previamente determinadas em laboratório foram avaliados o comportamento das concentrações de nitrato no solo ao longo do experimento. Ao final do experimento foram avaliadas as concentrações quanto a influência

para os dois manejos de adubação nitrogenada em relação às estratégias de irrigação de água de elevada salinidade.

### 2.2.7.3. Desempenho produtivo da planta

Ao final do experimento, os frutos de cada parcela foram pesados no campo em balança de precisão e classificados em frutos para a comercialização e refugo (frutos pequenos, rachados, manchados, mal formados, podres, queimados do sol e atacados por pragas e doenças) (Figura 2.10).



Figura 2.10. Classificação dos frutos quanto à comercialização e refugo.

Foram avaliadas as seguintes características produtivas: número de frutos comerciais (NFCPL) e de frutos totais (NFTPL) por planta, por meio da contagem simples dos frutos em cada planta, produtividade por planta total (PRT) e comercial (PRC), e massa média de frutos comerciais (MMC) e totais (MMT), determinada por meio da relação entre a produção e o número de frutos, expressas em  $\text{kg fruto}^{-1}$ .

A produção comercial foi constituída dos frutos tipo exportação e dos destinados para o mercado interno, que são frutos grandes e com pequenos defeitos. Os frutos rachados, muito pequenos ( $< 800 \text{ g}$ ), mal formados e brocados, foram considerados refugos, os quais foram somaram aos comerciais para compor a produção total, que corresponde a uma produção biológica da planta.

Foram classificados como refugo e descartados do rendimento comercial os frutos que apresentaram defeitos que não se enquadravam na classificação dos frutos para o mercado

interno e externo.

#### **2.2.7.4. Qualidade dos frutos**

Após a colheita, os frutos foram transportados para o Laboratório de Pós-Colheita da empresa Norfruit, onde foram selecionados previamente por meio de amostragem de dois frutos por parcela, destinados ao mercado externo, para determinação de firmeza da polpa e sólidos solúveis totais.

A firmeza da polpa foi determinada por meio da utilização de um penetrômetro manual (McCormick modelo FT 327), com ponteira cilíndrica de 8 mm de diâmetro. Para tanto, o fruto foi partido, longitudinalmente, em duas partes, sendo que, em cada uma delas, foram feitas duas leituras (uma em cada lateral do centro da fatia). As leituras em libras (lb) foram convertidas para Newton (N), multiplicando-as pelo fator 4,4482.

O teor de sólidos solúveis totais (SST) foi determinado com o auxílio de um refratômetro digital (modelo PR-100 Pallette da marca ATAGO), com correção automática de temperatura, e os resultados expressos °Brix. Em cada metade do fruto foi retirada uma fatia, no sentido longitudinal. Em seguida, foi realizada a homogeneização das duas fatias de cada fruto, em um liquidificador, sendo o suco obtido após o processamento coado com o auxílio de papel filtro, em bécker, retirando-se, logo após, gotas, para realizar quatro leituras e, assim, obter o valor médio de cada tratamento.

A análise estatística utilizada foi a análise conjunta dos dois experimentos, sendo submetido à análises de variância (ANOVA), sendo que as médias foram comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade.

A Tabela 2.7 apresenta as fontes de variação da análise de variância associada ao delineamento experimental usado na pesquisa.

Tabela 2.7. ANOVA relativa aos os dados de desempenho produtivo da planta e dados de qualidade do fruto, em função do manejo do manejo da irrigação (M), manejo da adubação nitrogenada (N) e das estratégias de utilização da água salobra (A)

Fontes de variação	Grau de Liberdade
Bloco/Manejo	6
Manejo (M)	1
Estratégias (A)	3
M x A	3
Erro 1	18
Adubação (N)	1
N x M	1
N x A	3
N x A x M	3
Erro 2	24
Total	63

Para a execução das análises foi utilizado o Sistema para Análises Estatísticas SISVAR® (FERREIRA, 2014).

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1. Evolução da salinidade no solo

Na Figura 2.11 é apresentada a evolução da salinidade ao longo do ciclo da cultura do melão com base nos valores da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo no perfil médio de 0 – 45 cm para as diferentes estratégias de uso de águas salobras (de A1 a A4) nos manejos de irrigação M1 – baseado pela evapotranspiração da cultura (ETc) e M2 – monitoramento de umidade do solo com uso de tensiômetros. Verifica-se que a salinidade do solo nos dois manejos de irrigação (M1 e M2) foram resultantes das concentrações de sais existentes nas estratégias ao uso da água salobra, apresentando comportamento variável ao longo do ciclo da cultura. Esse comportamento pode ser explicado pelas mudanças das concentrações de sais (níveis de salinidade na água de irrigação) ao longo do ciclo da cultura. Durante o cultivo do meloeiro, pode-se observar que as concentrações de sais no solo mantiveram-se maiores no manejo baseado na evapotranspiração da cultura (M1), o que pode ser explicado pela quantidade maior de água aplicada nesse manejo de irrigação, fazendo com que os sais contidos na água provocassem em maior acúmulo no solo.

Comparando a concentração de sais aplicados na água de irrigação com o acúmulo de sais do solo ao longo do ciclo da cultura do melão, observa-se que nas estratégias A3 e A4 para

o manejo M1 as concentrações de sais ao final do experimento apresentaram valores superiores às concentrações de sais existente na água de irrigação, o que pode ser explicado pelo fato dessas duas estratégias utilizarem concentrações de sais na água de irrigação mais elevadas desde o início da condução da cultura, além da sua combinação com o manejo de irrigação M1, proporcionando um acúmulo maior para essas estratégias (Figura 2.11).

Para Ayers e Westcot (1991), a salinidade média dos solos irrigados varia tanto no tempo quanto no espaço, sendo que além da qualidade da água utilizada depende de fatores como evapotranspiração da cultura, padrão de distribuição do sistema radicular, fração de lixiviação (FL), método de irrigação, vazão do emissor e frequência de irrigação. Após várias irrigações sucessivas a concentração de sais acumulados se aproxima da concentração de equilíbrio, cujo valor depende da FL e da condutividade elétrica da água de irrigação.

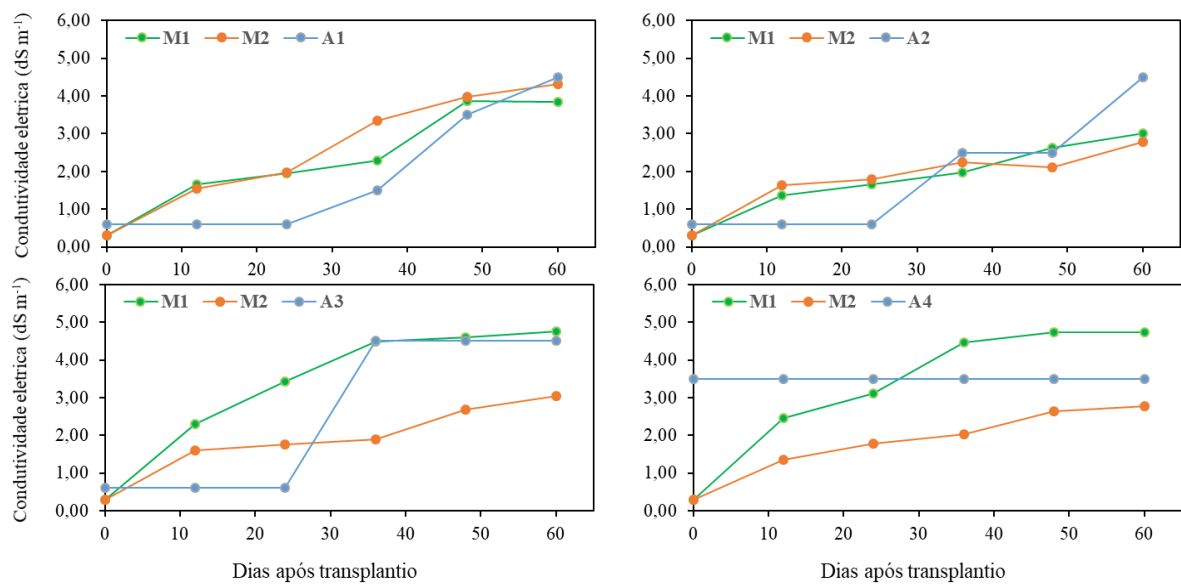


Figura 2.11. Evolução da salinidade do solo ao longo do ciclo da cultura do melão por meio da condutividade elétrica do extrato de saturação no perfil médio de 0 – 45 cm para as estratégias de uso de água salobras (de A1 a A4) nos manejos de irrigação M1 – baseado na evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) e M2 – monitoramento de umidade do solo com uso de tensiômetros.

### 2.3.2. Evolução da concentração de nitrato no solo ao longo do ciclo da cultura

Na Figura 2.12 é apresentada a evolução da concentração de nitrato no solo ao longo do ciclo da cultura do melão no perfil médio de 0 – 45 cm nas diferentes estratégias de uso de

águas salobras (de A1 a A4) e manejos de adubação nitrogenada (CN e SN), para os manejos de irrigação M1 – baseado na evapotranspiração da cultura (ETc) e M2 – monitoramento de umidade do solo com uso de tensiômetros. Observa-se que os valores de  $\text{NO}_3^-$  ao longo do ciclo da cultura apresentam comportamento decrescente conforme o crescimento da cultura, tanto para as duas situações de manejo da adubação nitrogenada quanto para os manejos de irrigação. A explicação para esse comportamento da redução das concentrações de  $\text{NO}_3^-$  no solo, pode estar relacionada ao crescimento da planta e uma maior adsorção desse íon no solo, bem como ao manejo de irrigação adotado para a cultura do meloeiro, que próximo à época de colheita teve a irrigação reduzida de forma gradativa para proporcionar uma melhor qualidade nos frutos.

A taxa e a quantidade de nitrogênio assimilado pelas plantas durante o seu ciclo dependem da atividade das enzimas envolvidas no ciclo do nitrogênio e da disponibilidade de energia necessária para os processos de assimilação (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000). Segundo Andrade et al (2001), a concentração de nitrato e de amônio na solução do solo varia dentro de períodos relativamente curtos e o requerimento vegetal também varia dependendo da espécie, da idade e do estágio fisiológico.

Em relação aos manejos de irrigação, observa-se que, no manejo M1, que é o baseado na evapotranspiração da cultura, os valores das concentrações de nitrato no solo apresentaram comportamento variados conforme a condução da cultura nas estratégias e nos manejos da adubação. De modo geral, pode-se observar que a A4 a concentração final de  $\text{NO}_3^-$  no solo foi maior no manejo SN, sendo que na A4 é a que tem concentração constante de  $3,5 \text{ dS}^{-1}$  na água de irrigação. A explicação para esse acúmulo de nitrato no solo nessa estratégia, mesmo no manejo sem o controle de N, pode estar relacionada às concentrações de nitrato já existentes na água de irrigação (Figura 2.11). Já em relação ao manejo M2, que é realizado pelo monitoramento da umidade do solo com o auxílio de tensiômetros, as concentrações de modo geral permaneceram maiores durante o cultivo do meloeiro para o manejo nitrogenado CN. Para esse manejo, comportamento semelhante foi obtido nas estratégias A3 e A4, que apresentaram valores próximos em relação aos manejos CN e SN, o que pode ser explicado pelo fato da água da irrigação nessas estratégias ocasionar o acúmulo desse nutriente no solo (Figura 2.12).

As variações dos valores de nitrato observados sob as condições avaliadas no presente estudo ficaram abaixo das faixas de valores encontradas por Kelling et al. (1977), que observaram teores de nitrato entre  $78,0$  e  $225,0 \text{ mg L}^{-1}$  em diferentes concentrações de nitrato de amônio aplicados ao solo.

Andrade Neto (2012), em estudo de validação de modelos de estimativa de nitrato, obtiveram níveis de  $\text{NO}_3^-$  na solução do solo entre 50 e 200,0  $\text{mg L}^{-1}$  e ficaram dentro das faixas obtidas por Cometti et al. (2008), que obtiveram teores de nitrato na solução do solo entre 21,8 a 174  $\text{mg L}^{-1}$ .

De modo geral, as concentrações encontradas na solução do solo nos períodos iniciais, podem estar relacionados ao acúmulo dos fertilizantes da água de fertirrigação, o que ocasionou um aumento da concentração no íon nitrato na solução do solo.

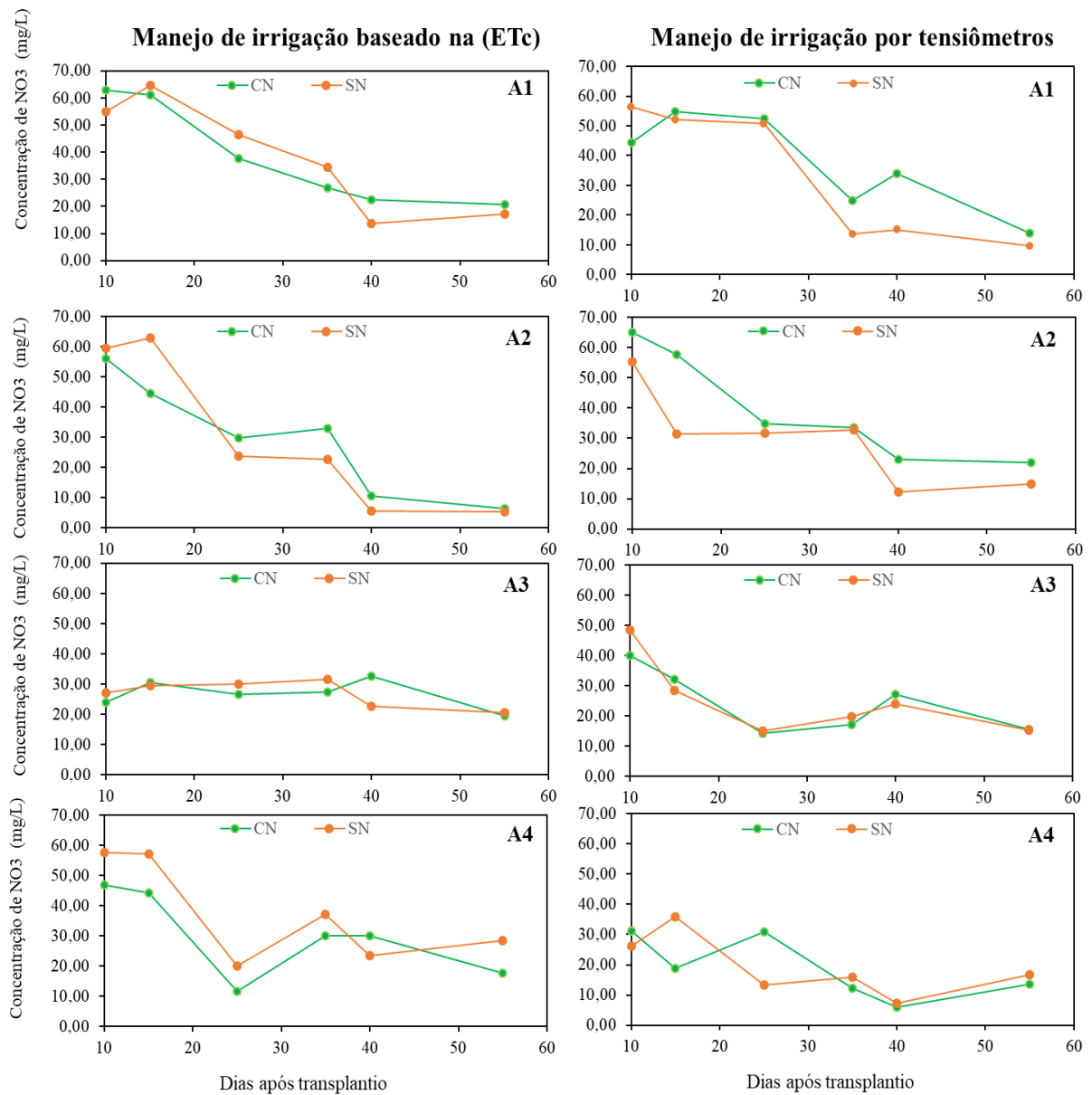


Figura 2.12. Evolução da concentração de nitrato ao longo do ciclo da cultura do melão no perfil médio de 0 – 45 cm, nas estratégias do uso de água salobras de A1 a A4 e manejos de adubação nitrogenada (CN e SN), para os manejos de irrigação M1 – baseado na

evapotranspiração da cultura (ETc) e M2 – monitoramento de umidade do solo com uso de tensiômetros.

### 2.3.5. Avaliação da produção

Na Tabela 2.13, é apresentada a análise estatística dos dados de produção; verifica-se que houve efeito significativo da interação tripla entre os fatores manejo da irrigação (M), estratégias de uso de água salobra (A) e manejo da adubação nitrogenada (N) para as variáveis: número de frutos comerciais (NFCPL), produtividade por planta (PRP) e firmeza do fruto (FIRM), em nível de 5% de probabilidade. Já para a interação manejo da adubação nitrogenada (N) com o manejo da irrigação (M), as variáveis afetadas foram: número de frutos por planta (NFTPL), em nível de 5%, e produtividade total (PRT) em nível de 1% de probabilidade. Em relação aos fatores manejo da irrigação (M) e estratégias de uso águas salobras (A), as variáveis afetadas foram: número de frutos por planta (NFTPL), produtividade por planta total (PRT), massa média de frutos do meloeiro (MMT), massa média de frutos comercial (MMC) e sólidos solúveis (SS) em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2.13. ANOVA para número de frutos por planta (NFTPL) e comercial (NFCPL), produtividade por planta (PRP) e total (PRT), massa média de frutos do meloeiro (MMT), e comercial (MMC), sólidos solúveis (SS) e firmeza do fruto do meloeiro (FIRM), em função do manejo da irrigação (M), das estratégias de uso de água salobra (A) e do manejo da adubação nitrogenada (N)

F.V	GL	Variáveis							
		NFTPL	NFCPL	PRP	PRT	MMT	MMC	SS	FIRM
		Estatística F							
Bloco/M	6	0,08 <sup>ns</sup>	0,14 <sup>**</sup>	57,95 <sup>**</sup>	39,53 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>**</sup>	0,01 <sup>*</sup>	0,27 <sup>ns</sup>	0,35 <sup>ns</sup>
Manejo (M)	1	1,26 <sup>**</sup>	1,07 <sup>**</sup>	235,67 <sup>**</sup>	267,34 <sup>**</sup>	0,01 <sup>*</sup>	0,05 <sup>**</sup>	2,45 <sup>*</sup>	12,83 <sup>**</sup>
Estratégias (A)	3	0,08 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>**</sup>	128,54 <sup>**</sup>	92,99 <sup>**</sup>	0,06 <sup>**</sup>	0,05 <sup>**</sup>	0,35 <sup>ns</sup>	3,20 <sup>*</sup>
M x A	3	0,45 <sup>**</sup>	0,48 <sup>**</sup>	162,56 <sup>**</sup>	143,52 <sup>**</sup>	0,02 <sup>**</sup>	0,02 <sup>**</sup>	2,76 <sup>**</sup>	8,19 <sup>**</sup>
Erro 1	18	---	---	---	---	---	---	---	---
Adubação (N)	1	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	5,53 <sup>ns</sup>	2,18 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,02 <sup>ns</sup>
N x M	1	0,40 <sup>*</sup>	0,41 <sup>**</sup>	151,99 <sup>**</sup>	148,60 <sup>**</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
N x A	3	0,04 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,39 <sup>ns</sup>	8,94 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>	0,36 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>
N x A x M	3	0,17 <sup>ns</sup>	0,31 <sup>**</sup>	84,25 <sup>**</sup>	47,31 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,64 <sup>ns</sup>	5,84 <sup>**</sup>
Erro 2	24	---	---	---	---	---	---	---	---
CV1(%)		17,48	17,64	18,58	17,37	4,40	4,10	5,17	8,49
CV2(%)		17,99	20,41	22,17	17,17	8,52	5,80	4,79	9,70

\*\*significativo em 1% de probabilidade, \*significativo em 5% de probabilidade e <sup>ns</sup> não significativo

Para o número de frutos por planta – NFTPL (Tabela 2.14), foi verificado efeito da interação do manejo da irrigação com as estratégias da água salobra, sendo que as estratégias A2 e A4 foram as que apresentaram diferença significativa entre os manejos de irrigação, sendo o manejo M2 superior ao manejo M1 em 28,69% para a A2 em 37,61% para a A4. Comparando os manejos de irrigação dentro de cada estratégia de água salobra, observa-se que no M1

prevaleceu o mesmo comportamento das estratégias, sendo que A2 e A4 foram inferiores às demais estratégias. Já no M2, não foram observadas diferenças entre as estratégias de uso de água salobra.

A explicação para o manejo M2 apresentar superioridade nas estratégias A2 e A4 pode estar relacionada as maiores lâminas de irrigação do manejo M1, sendo que nesse caso a estratégia A2, embora tivesse os valores de salinidade crescente conforme o ciclo da cultura, não foi realizado o controle da lâmina de lixiviação semanal. Já em relação a estratégia A4, que foi a estratégia com concentração constante de  $3,5 \text{ dSm}^{-1}$  do início ao fim do cultivo, o efeito da concentração de sais no solo provavelmente ocasionou uma concentração maior de sais refletindo em um estresse salino planta e ocasionando uma redução no número de frutos para essas estratégias no manejo de irrigação M1.

Segundo produtores rurais da região, um fruto por planta com peso médio de 3 kg é o desejável pelos produtores da região de Mossoró; nesse caso em todos os tratamentos avaliados os valores ficaram acima da média esperada.

Tabela 2.14. Valores médios de número dos frutos por planta (NFTPL), em função do manejo da irrigação e das estratégias da água salobra na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Estratégia de irrigação com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
M1	1,29 Aa	1,22 Bb	1,42 Aa	1,09 Bb
M2	1,60 Aa	1,57 Aa	1,48 Aa	1,50 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Já em relação à interação do manejo da irrigação (M) com o manejo da adubação nitrogenada (N) no NFTPL (Tabela 2.15), observa-se que, para as duas condições de manejo da adubação nitrogenada, o manejo da irrigação M2 foi superior, sendo 18,80% para a condição com adubação (CN) e 26,27% na condição sem controle da adubação nitrogenada (SN); isso porque na condição de manejo M2 a quantidade de água utilizada para a irrigação foi inferior em relação ao M1, o que provavelmente ocasionou uma maior concentração de N no solo, levando em consideração que as águas salobras dos poços apresentam uma concentração existente de nitrato, refletindo uma superioridade nos valores dos números de frutos, tanto para a condição de controle quanto para a sem controle de N.

Analisando o manejo da irrigação em cada condição de adubação nitrogenada, observa-se que somente no manejo de irrigação M1 há diferença significativa em relação às condições de adubação, sendo o manejo com adubação (CN) 12,71% superior ao manejo sem adubação (SN) (Tabela 2.15).

Tabela 2.15. Valores médios de número do frutos por planta (NFTPL) em função do manejo da irrigação e do manejo da adubação nitrogenada na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Manejo da adubação nitrogenada	
	CN	SN
M1	1,33 Ba	1,18 Bb
M2	1,58 Aa	1,49 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Com relação ao número de frutos comerciais por planta- NFCPL (Tabela 2.16), o efeito verificado foi de interação tripla entre os fatores: manejo da irrigação (M), manejo da adubação nitrogenada (N) e estratégias de água salobra (A). Avaliando os manejos da irrigação dentro de cada manejo da adubação, observa-se que no M1, sob condição de CN, a estratégia que apresentou diferença significativa foi a A3, sendo essa 16,04% superior em relação às demais. Provavelmente o efeito da lixiviação da estratégia em relação ao uso de água salobra tenha ocasionado uma redução dos sais no solo, deixando a planta menos estressada e ocasionando um maior número de frutos para esse manejo. Medeiros et al. (2011) consideram como a principal causa de redução da produtividade comercial a diminuição do número de frutos comerciais por planta, quando os níveis de sais na água ficam elevados.

Já para a condição de manejo SN, somente a estratégia A4 mostrou-se inferior às outras estratégias. Em relação ao manejo de irrigação M2, foram observadas diferenças significativas somente para a condição de manejo SN, sendo que a estratégia A4 foi 16,51% superior em comparação com as outras estratégias.

Já comparando o manejo da adubação nitrogenada dentro de cada estratégia e nos manejos de irrigação, observa-se que somente as estratégias A2 e A4 foram as que apresentaram diferenças significativas, com valores superiores para o manejo de irrigação M2 em ambas as condições de adubação nitrogenada. Em relação ao manejo de adubação nitrogenada, dentro de cada estratégia e cada manejo de irrigação, observa-se que somente foi verificado efeito significativo na estratégia A3 para o manejo M2, sendo a condição de CN 35,42% superior em relação ao manejo SN (Tabela 2.16).

Tabela 2.16. Valores médios de número de frutos comerciais por planta (NFCPL) em função do manejo da irrigação, das estratégias de uso de água salobra na irrigação e do manejo da adubação nitrogenada

Manejo da adubação	Estratégia com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
	Manejo da irrigação (M1)			

CN	1,06 ABaA	0,92 BbA	1,23 AaA	0,82 BbA
SN	0,96 AaA	0,84 AbA	1,01 AaA	0,54 BbA
Manejo da irrigação (M2)				
CN	1,18 AaA	1,24 AaA	1,30 AaA	1,43 AaA
SN	0,98 BaA	1,09 ABaA	0,96 BaB	1,27 AaA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas linhas (referente ao manejo da adubação nitrogenada dentro das estratégias, DMS: 0,27); Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas (referente ao manejo da irrigação dentro das estratégias, DMS: 0,21); Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas e negrito nas colunas (referente ao manejo da adubação dentro de cada estratégia e cada manejo da irrigação, DMS: 0,31) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

Realizando o desdobramento da interação tripla para os valores médios de produtividade por planta (PRT) e avaliando os manejos da irrigação dentro de cada manejo da adubação (Tabela 2.17), observa-se que somente no manejo M1, sob condição de CN, as estratégias A1 e A3 apresentaram diferenças significativas, sendo essas superiores às estratégias A2 e A4; já para a condição de manejo SN, somente a estratégia A4 mostrou-se inferior às outras estratégias, o que provavelmente ocasionou pelo efeito maior dos sais na água de irrigação dessa estratégia, ocasionando uma redução na produtividade por planta para essa condição de controle da adubação.

Quando comparado o manejo da adubação nitrogenada dentro de cada estratégia, nos manejos de irrigação, observa-se que as estratégias A2 e A4 foram as que apresentaram diferenças significativas, com valores superiores para o manejo de irrigação M2 em ambas as condições de adubação nitrogenada. Em relação ao manejo de adubação nitrogenada dentro de cada estratégia e cada manejo de irrigação, observa-se que somente foi verificado efeito significativo na estratégia de água A3 para o manejo M2, sendo CN 47,74% superior ao manejo SN (Tabela 2.17).

Tabela 2.17. Valores médios de produtividade (PRP), em t/ha, em função do manejo da irrigação, das estratégias de uso de água salobra e do manejo da adubação nitrogenada

Manejo da adubação	Estratégia com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
Manejo da irrigação (M1)				
CN	21,30 AaA	19,80 ABaA	23,97 AaA	14,54 BbA
SN	17,93 AaA	16,46 AbA	20,16 AaA	9,76 BbA
Manejo da irrigação (M2)				
CN	21,48 AaA	23,06 AaA	24,88 AaA	26,35 AaA
SN	18,82 AaA	21,28 AaA	16,84 AaB	21,31 AaA

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas linhas (referente ao manejo da adubação nitrogenada dentro das estratégias, DMS: 5,58); Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas (referente ao manejo da irrigação dentro das estratégias, DMS: 4,21); Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas e negrito nas colunas (referente ao manejo da adubação dentro de cada estratégia e cada manejo da irrigação, DMS: 6,42) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Com relação à produtividade total – PRT (Tabela 2.18), foi verificado efeito significativo da interação entre manejo da irrigação e estratégias de uso de água salobra; avaliando o manejo de irrigação dentro de cada estratégia, observa-se que somente no manejo M1 foram obtidas diferenças significativas, sendo a estratégia A4 inferior às demais estratégias, sendo esse efeito já esperado por se tratar de uma estratégia que usa uma concentração de sais elevada de  $3,5 \text{ dSm}^{-1}$  durante todo desenvolvimento sem uma lâmina de lixiviação e com uma quantidade maior de lâmina de irrigação em comparação ao M2 que baseia-se na umidade do solo. Já avaliando cada estratégia de água salobra em comparação aos manejos de irrigação, o manejo M2 apresentou superioridade em relação ao manejo M1 nas estratégias A2 e A4.

Figueirêdo et al. (2017), na região de Mossoró, obtiveram produtividade total de  $40,8 \text{ t ha}^{-1}$ ; por sua vez, este experimento apresentou médias bem menores, devido ao ataque de mosca branca.

Tabela 2.18. Valores médios de produtividade total (PRT), em t/ha, em função do manejo da irrigação e das estratégias de uso da água salobra na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Estratégia de irrigação com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
M1	22,33 Aa	21,35 Ba	24,93 Aa	16,62 Bb
M2	26,24 Aa	27,38 Aa	24,61 Aa	22,98 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Em relação à interação manejos da adubação nitrogenada e manejos da irrigação, foram observados, tanto para o manejo M1 quanto para o M2, que a condição sem o controle de N apresentou superioridade. Já avaliando os manejos das adubações em comparação aos manejos de irrigação, pode-se observar que somente sob a condição CN foi encontrado efeito significativo, sendo o manejo de irrigação M2 13,08% superior em relação ao manejo de irrigação M1 (Tabela 2.19). Essa superioridade do manejo M2 sob a condição de CN pode estar relacionado ao efeito da concentração de sais no solo, relacionada ao fato de que o M1, combinado ao manejo tradicional da adubação, pode ter contribuído para uma redução nos valores médios de produtividade total.

Tabela 2.19. Valores médios de produtividade total (PRT), em t/ha, em função do manejo da irrigação e do manejo da adubação nitrogenada na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Manejo da adubação nitrogenada	
	CN	SN
M1	19,84 Bb	20,34 Aa
M2	20,50 Ab	23,00 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Para massa média total dos frutos do meloeiro – MMT (Tabela 2.20), foi verificado efeito da interação do manejo da irrigação (M) com as estratégias da água salobra (A), sendo que em ambos os manejos de irrigação somente foi verificado efeito significativo na estratégia de água salobra A4. No entanto, quando se compara as estratégias dentro dos manejos de irrigação, observa-se que o manejo M1 mostrou-se superior na estratégia A3.

Cabe destacar ainda que o efeito negativo da salinidade sobre a massa média total do fruto na estratégia A4 foi ocasionado, provavelmente, não só pela dificuldade de absorção de água pelas plantas como também pela competição entre íons, ocasionando a redução da absorção de água pelas plantas, o que conseqüentemente afetou o aumento da massa do fruto. Segundo Pacheco et al. (2012), a salinidade reduz o potencial osmótico do meio e prolonga o tempo necessário para a absorção de água pelas plantas.

Silva et al. (2014) afirmam que a produção de abóbora sob diferentes níveis de águas salobras resultou em maior massa média dos frutos totais na condutividade de 1,5 dS.m<sup>-1</sup>, seguido de um decréscimo com o contínuo aumento da condutividade elétrica da água de irrigação.

Tabela 2.20. Valores médios de massa média de frutos do meloeiro (MMT), em kg, em função do manejo da irrigação e das estratégias de uso da água salobra na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Estratégia de irrigação com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
M1	1,07 Aa	1,08 Aa	1,07 Aa	0,93 Ab
M2	1,07 Aa	1,07 Aa	1,03 Ba	0,94 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Para massa média dos frutos comerciais – MMC (Tabela 2.21) foi verificado efeito da interação de manejo da irrigação (M) com as estratégias da água salobra (A). Avaliando o manejo de irrigação M1 dentro de cada estratégia, observa-se que somente A2 apresentou significância superior às demais estratégias; já em relação ao M2 a estratégia que apresentou significância inferior às outras estratégias foi a A4, isso pelo fato da estratégia A4 ocasionar um maior acúmulo de sais no solo e seu reflexo ter sido observado na menor massa média dos frutos comerciais. Em relação à comparação dos manejos de irrigação dentro de cada estratégia, observa-se que somente na estratégia A2 apresentou significância no M1, apresentando superioridade de 7,97% em relação ao manejo M2.

Segundo Araújo (2000), o peso médio dos frutos é uma característica inerente a cultivar; entretanto, pode sofrer influência com a redução da área foliar e dos tratos culturais, assim como do manejo de água no solo e adubação.

Tabela 2.21. Valores médios de massa média de frutos comerciais (MMC), em kg, em função do manejo da irrigação e das estratégias de uso da água salobra na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Estratégia de irrigação com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
M1	1,16 Aa	1,22 Ab	1,17 Aa	1,07 Aa
M2	1,10 Aa	1,13 Ba	1,16 Aa	1,02 Ab

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Para os valores médios de sólidos solúveis do meloeiro – SS (Tabela 2.22), a mesma interação do efeito de manejo da irrigação (M) com as estratégias da água salobra (A) foi observada, sendo que no manejo M1 a estratégia que apresentou inferioridade em relação às demais foi a A3 e no manejo M2 foi a A2; no entanto, quando se compara as estratégias dentro dos manejos de irrigação observa-se que o manejo M1 mostrou-se superior nas estratégias A1 e A3. O menor valor desejável para o teor de SS no mercado exportador é de 10° Brix. Os valores encontrados nas estratégias de utilização de água salobra estão dentro dos padrões exigidos pelas normas para melões da “United Nation Economic Commission for Europe” (UNECE, 2018). O alto teor de sólidos solúveis no melão é considerado um dos fatores mais importantes para a aceitação pelo consumidor (SAFTNER; LESTER, 2009).

Tabela 2.22. Valores médios de sólidos solúveis (SS) em função do manejo da irrigação e das estratégias de uso da água salobra na cultura do meloeiro

Manejos da irrigação	Estratégia de irrigação com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
M1	12,54 Aa	12,46 Aa	12,08 Ba	12,36Aa
M2	11,88 Ab	11,81 Bb	11,88 Aa	12,31 Aa

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas colunas e minúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%)

Para a os dados de firmeza (Tabela 2.23), o efeito avaliado foi da interação tripla, na qual no manejo de irrigação M1, sob a condição de adubação CN, não foi verificado efeito significativo nas estratégias de uso de água salobra; no entanto, sob a condição de adubação SN foram observados efeitos significativos nas estratégias de água salobras, sendo que a estratégia A3 foi a que apresentou superioridade sobre as demais estratégias.

Já comparando o manejo da adubação nitrogenada dentro de cada estratégia de uso de água salobra, nos dois manejos de irrigação, observa-se que as estratégias A1, A2 e A4 no

manejo M1 foram as que apresentaram diferenças significativas, com valores inferiores ao manejo de irrigação M2, sendo a estratégia A1 na condição CN, a A2 para SN e A4 em ambas as condições de adubação nitrogenada. Em relação ao manejo de adubação nitrogenada dentro de cada estratégia e cada manejo de irrigação, observa-se que somente foi verificado efeito significativo na estratégia A3 para o manejo M1, sendo a condição de SN superior em 15,82% em relação ao manejo CN (Tabela 2.23).

Entretanto, o valor médio de firmeza de polpa obtido nesse estudo é inferior ao valor recomendado por Figueira et al. (2000), que é de 32 N, atribuindo-se este resultado ao grau de maturação intenso que se encontravam os frutos por ocasião da colheita, em virtude da prorrogação em três dias da data prevista com o objetivo de colher o maior número de frutos.

Tabela 2.23. Valores médios de firmeza do fruto do meloeiro (FIRM), em função do manejo da irrigação, das estratégias de uso da água salobra e do manejo da adubação nitrogenada na cultura do meloeiro

Manejo da adubação	Estratégia com água salobra			
	A1	A2	A3	A4
	Manejo da irrigação (M1)			
CN	9,88 Ab <b>A</b>	9,66 Aa <b>A</b>	9,61 Aa <b>B</b>	8,81 Ab <b>A</b>
SN	9,88 Ba <b>A</b>	9,17 Bb <b>A</b>	11,13 Aa <b>A</b>	7,57 Cb <b>A</b>
	Manejo da irrigação (M2)			
CN	10,81 Aa <b>A</b>	10,41 Aa <b>A</b>	10,10 Aa <b>A</b>	10,15 Aa <b>A</b>
SN	10,01 Aa <b>A</b>	10,59 Aa <b>A</b>	10,24 Aa <b>A</b>	10,55 Aa <b>A</b>

\*Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula nas linhas (referente ao manejo da adubação nitrogenada dentro das estratégias, DMS: 0,27); Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas (referente ao manejo da irrigação dentro das estratégias, DMS: 0,21); Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas e negrito nas colunas (referente ao manejo da adubação dentro de cada estratégia e cada manejo da irrigação, DMS: 0,31) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (5%).

## 2.4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

- Os solos irrigados com água salobra utilizando a estratégia de aplicação com água salobra com concentração crescente (A1 e A2) foram os que apresentaram menor salinização ao final do ciclo da cultura do meloeiro.
- A produtividade do melão não foi afetada pelo manejo da redução da adubação nitrogenada.
- A produção comercial e total não foi influenciada pelo uso de água com baixa e alta concentrações salobras, aplicadas sob diferentes formas de manejo; somente para a estratégia

A4 os valores de produtividade foram inferiores em relação as outras estratégias de utilização de água salobra.

- De modo geral, o manejo de irrigação baseado no monitoramento da umidade do solo foi o que apresentou maiores influências nas estratégias de uso de água salobras e do manejo de adubação.

## 2.5. REFERENCIAS

- ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v.22, p. 711-728, 2013.
- ALVES, M. S. et al. Crescimento e produtividade da bananeira cv. Grande Naine sob diferentes combinações de nitrato de cálcio e úreia. **Revista Ceres**, v.57, p.125-131, 2010.
- AMARO FILHO J.; DIMESTEIN L.; PIRES S.G.; GRISPON J. **Estimativa do consumo de água na cultura do melão**. Mossoró: Profrutas/ FUNAPE/CNPq. 2000.
- ANDRADE NETO, T. M. **Monitoramento de íons na solução do solo e no extrato de saturação em fertigação**. Cruz das Almas: UFRB, 2012. 78p. Tese Doutorado.
- ANDRADE NETO, T. M. **Monitoramento de íons na solução e no extrato de saturação do solo sob aplicação de diferentes concentrações de sais fertilizantes na água de irrigação em bananeira da terra**. Cruz das Almas: UFRB, 2009. 78p. Dissertação Mestrado.
- ANDRADE, P. C. S. G. et al. Produção de melão Cantaloupe cultivado com diferentes coberturas do solo e lâminas de irrigação. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA**, 44. Anais eletrônicos. Campo Grande. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/Biblioteca/Default>. Acessado em 23 de junho de 2020.
- ANDRADE, S.R.M.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P.R.; CAMBRAIA, J. Assimilação de nitrogênio pelas plantas de *Panicum maximum*, cv. Vencedor, submetidas a diferentes proporções de  $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ . **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, Embrapa Cerrados, Planaltina, n. 13, p. 1-20, 2001.
- ARAUJO, J.P. **Cultura do melão**. Petrolina: EMBRAPA, CPATSA, 2000. 40p.

- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A. **A quantidade da água na agricultura**. Campo Grande. UFPA, 218p. (FAO. Estudos de irrigação e Drenagem, 29. 1991
- BARROS, A. C. et al. Distribuição da solução no solo aplicada por gotejamento enterrado e superficial. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 361-372, 2010.
- BARROS, A. D.; MEDEIROS, J. F.; SOUSA, A. P. Comportamento produtivo do meloeiro submetido à salinidade e frequência de irrigação. **Irriga**, v.8, p.44-50, 2003.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, p. 365-372, 2000.
- BRUCE, T. J. A. et al. Stressful "memories" of plants: evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v. 173, n. 6, p.603-608, 2007.
- BUEREN, E. T. L. VAN; STRUIK, P. C. Diverse concepts of breeding for nitrogen use efficiency. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, Netherlands, v. 37, n. 5, p. 37-50, 2017.
- BURGER, Y. et al. The contribution of sucrose to total sugar content in melons. **Acta Horticulturae** 510: 479-485. 2000.
- CÂMARA, G. M. S. et al. **Técnica cultural. Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial**. Piracicaba: FEALQ, 1983. p.1-38. (Série Extensão Agrícola, 3).
- CAMPELO, A. R. et al. Manejo da cultura do melão submetida a frequências de irrigação e fertirrigação com nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 2, p. 138-144, 2014.
- COELHO, E. F. et al. Concentração de nitrato no perfil do solo fertigado com diferentes concentrações de fontes nitrogenadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.18, n.3, p.263–269, 2014.
- COMETTI, N. N. et al. Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT. **Horticultura Brasileira**, v.26, p.262-267, 2008.
- DIAS, N. S. et al. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 915-921, 2011.
- FIGUEIRÊDO, V. B.; PEREIRA, V. C.; CAMPOS, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1235–1242, 2017.

- FREITAS, L. D. A. et al. Crescimento e produção do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade e nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, p. S20-S26, 2014.
- GARCIA, G. O. et al. Alterações químicas de dois solos irrigados com água salina. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.39, n.1, p.7-18, 2008.
- GORGATTI NETO A. et al. Melão para exportação: procedimentos de colheita e de pós colheita. Brasília : EMBRAPA - SPI/FRUPEX, 37p. (Publicações Técnicas, 6). 1994.
- KELLING, K. A. et al. A field study of the agricultural use of sewage sludge: II. Effect on soil N and P. **Journal of Environmental Quality**, v.6, p.345-352, 1977.
- KIM, H. et al. Effects of irrigation with saline water on crop growth and yield in greenhouse cultivation. **Water**, v.6, p.2-9, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8040127>
- MEDEIROS, D. C.; MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, F. A. L.; SOUZA, R. O.; SOUZA, P. A. Produção e qualidade de melão Cantaloupe cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, p. 92-98, 2011.
- MEDEIROS, J. F. et al. Efeito da lâmina de irrigação na conservação pós-colheita de melão Pele de Sapo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 3, p. 514-519, 2012.
- MEDEIROS, J. F. et al. Tolerância do pimentão à salinidade sob cultivo protegido. **Engenharia Agrícola**, v.22, p.200-210, 2002.
- MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; BARROS, A. Manejo da irrigação e tolerância do meloeiro à salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**, v. 3, n. 3, p. 242-247, 2008.
- MELÃO: Anuário 2018-2019. Dezembro/2018. **Hortifruti Brasil**, ano 17, n. 185, p. 45-46.
- MELO, J. G., de MORAIS, S. D. O., DA SILVA, R. A., & de VASCONCELOS, M. AVALIAÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS DO AQUÍFERO BARREIRAS NA BACIA DO RIO MAXARANGUAPE-RN. **Águas Subterrâneas**, 27(1). (2013).
- PACHECO, M. V. et al. Germinação e vigor de sementes de *Capparis flexuosa* L. submetidas ao estresse salino. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.7, n.2, p. 301-305, 2012.
- PAIVA, W. O. et al. Melão tupã: produtividade, qualidade do fruto e resistência a viroses. **Horticultura Brasileira** 21: 530-544, 2003.
- PLAUT, Z.; EDELSTEIN, M.; BEN-HUR, M. Overcoming salinity barriers to crop production using traditional methods. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.32, p.250-291, 2013. <https://doi.org/10.1080/07352689.2012.752236>

- PORTO FILHO, F. Q. et al. Evolução da salinidade e do pH de um solo sob cultivo de melão irrigado com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1130-1137, 2011.
- PURQUEIRO, L. F. V.; CECÍLIO FILHO, A. B. Concentração de nitrogênio na solução nutritiva e número de frutos sobre a qualidade de frutos de melão. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.831-836, 2005.
- PURQUEIRO, L. F. V.; CECÍLIO FILHO, A. B.; BARBOSA, J. C. Efeito da concentração de nitrogênio na solução nutritiva e do número de frutos por planta sobre a produção do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 185-190, abril/junho 2003.
- QUEIROGA, R. C. F. et al. Influência de doses de nitrogênio na produtividade e qualidade do melão *Cantalupensis* sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.25, p.550- 556, 2007.
- SAFTNER, R. A.; LESTER, G. E. Sensory and analytical characteristics of a novel hybrid muskmelon fruit intended for the fresh-cut industry. **Postharvest biology and technology**, Amsterdam, v. 51, n. 3, p. 327-333, 2009.
- SILVA, M. C. **Melão rendilhado em ambiente protegido submetido a doses de nitrogênio e potássio em Rondonópolis-MT**. 103f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Mato Grosso, Rondonópolis - MT, 2012.
- SILVA, M. V. T. et al. Produção de abóbora sob diferentes níveis de água salina e doses de nitrogênio. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.9, n.1, p.287-294, 2014.
- TAN, K. H. Principles of soil chemistry. New York: **Marcel Dekker**, 1982, 267p.
- TEIXEIRA, L. A. J. et al. Nitrogênio e potássio em bananeira via fertigação e adubação convencional - atributos químicos do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.29, p.143-152, 2007.
- UNECE, United Nation Economic Commission for Europe. Standard FFV-23 **Concerning Marketing and Commercial Quality Control of MELONS**, New York and Geneva, 2017 edition. 2018.
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p. 892-898, 1980.

### CAPITULO III

#### SIMULAÇÃO DO TRANSPORTE DE NITRATO NO SOLO COM BASE NO MODELO HYDRUS-2D

**RESUMO:** Nos cultivos agrícolas em regiões semiáridas e áridas, além dos problemas que podem vir a ser causados pelo uso de águas com condutividade elétrica elevada, há também a associação com excessivas adubações nitrogenadas feitas via fertirrigação. Esses problemas têm contribuído para a salinização de solos, com consequente alteração no balanço iônico, como também aumento da presença de íons de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no perfil do solo, que dependendo da profundidade em que estejam, podem levar à contaminação do lençol freático. Nesse sentido, são necessárias informações mais precisas sobre a dinâmica de solutos no solo em condições de utilização de irrigação com águas salobras. Assim sendo, o principal objetivo dessa pesquisa foi simular, com o uso do modelo HYDRUS-2D, o transporte de nitrato no solo cultivado por meloeiro em função de diferentes estratégias de irrigação com uso de águas salobras, buscando-se comparar os resultados simulados com aqueles obtidos em condições experimentais. As estratégias de irrigação avaliadas consistiram do uso de água salobra associada à aplicação da água doce (A1 e A2 - Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura; A3 – Irrigação com água salobra a partir da quarta semana de cultivo em campo, aplicando-se a água doce apenas para adicionar a lâmina de lixiviação e A4 – irrigação com água de salinidade intermediária durante todo o ciclo da cultura). Foram realizadas simulações com o HYDRUS-2D nos diferentes tratamentos em função da profundidade do solo. O desempenho do modelo foi avaliado comparando-se os dados preditos com os respectivos dados observados, por meio dos índices estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio quadrático (MSE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E) e o índice de concordância de Willmott (d). A partir dos resultados dos parâmetros estatísticos verificou-se que as simulações de transporte do nitrato no solo, sob diferentes estratégias de irrigação de águas salobras na cultura do meloeiro, apresentaram melhor potencial quando as concentrações de sais das estratégias de irrigação mantiveram-se constantes durante todo o ciclo da cultura. O modelo apresentou boa concordância entre as simulações numéricas do transporte de nitrato ao longo do perfil do solo comparativamente aos dados obtidos experimentalmente, apresentando potencial para a simulação do transporte de nitrato em regiões áridas e semiáridas.

**Palavras-Chave:** Modelagem numérica, Nitrato, Manejo da irrigação, Melão.

### 3.1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de frutas tropicais do mundo (FAO, 2015). No semiárido brasileiro, a utilização da irrigação é fundamental para o sucesso da atividade agrícola em decorrência dos baixos índices pluviométricos, que são insuficientes para atender às exigências hídricas dos cultivos.

A utilização eficiente dos recursos hídricos na agricultura irrigada na região é vista como necessária e fundamental, tendo em vista a escassez deste recurso. Além disso, há a necessidade de um manejo adequado da água para minimizar os impactos ambientais, decorrentes da atividade, pois a irrigação pode causar o uso excessivo de águas com elevada presença de sais nos sucessivos cultivos em condições irrigadas em regiões semiáridas e áridas.

Além dos problemas causados pelo uso de águas salobras na agricultura, outro fator que tem chamado a atenção é o uso excessivo de adubações nitrogenadas, que também pode contribuir para a salinização do solo.

O comportamento dinâmico do nitrato nos solos tem sido estudado devido à alta mobilidade desse íon no perfil do solo, acarretando em perdas de nutrientes e contaminação das águas subterrâneas (RESENDE, 2002). Por esse aspecto, torna-se importante monitorar de forma contínua a distribuição de água e íons em campos agrícolas para facilitar o manejo da fertirrigação nos solos cultivados.

Uma alternativa viável para o estudo do comportamento de um íon no solo é o uso de modelos matemáticos e analíticos, por meio de softwares computacionais que simulam processos de transferência da água e solutos entre a superfície do solo e o lençol freático.

Segundo Qiao (2014), existem diversos modelos para simular o movimento de água e o transporte de solutos no solo, tais como: RZWQM2, CHEMFLO-2000, APEX, LEACHM, HYDRUS 1D e HYDRUS 2D.

Dentre os modelos computacionais disponíveis na literatura, o modelo HYDRUS, desenvolvido por Simunek et al. (1994), vem se destacando pela precisão dos resultados obtidos na modelagem (MIRANDA, 2014; RAMOS et al. 2013). O modelo tem sido utilizado para compreender a dinâmica da água e o transporte de solutos na zona vadosa do solo e para prever a qualidade das águas subterrâneas, implementar melhores práticas de rega e de fertilização e quantificar os riscos de salinização e sodificação dos solos (SIMUNEK et al., 2008).

O HYDRUS foi desenvolvido para resolver numericamente a equação de Richards, para fluxo de água em solo saturado e não saturado, e as equações do tipo convecção-dispersão, para transporte de calor e soluto, em uma, duas ou três dimensões (SIMUNEK et al., 1999a).

Portanto, pode ser usado para simular processos como precipitação, irrigação, infiltração, evaporação, absorção de água radicular (transpiração), armazenamento de água no solo, ascensão capilar, drenagem profunda, recarga de água subterrânea e fluxo lateral (SIMUNEK et al., 2006; 2012).

Destacam-se os trabalhos de Gonçalves et al. (2006) e Ramos et al. (2011) com o HYDRUS, que analisaram com sucesso os fluxos e teores de água no solo, a condutividade elétrica da solução do solo (CEs), o transporte dos cátions de troca ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Na}^+$ ) e das formas azotadas ( $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$ ), a razão de adsorção de sódio (RAS) e a percentagem de sódio trocável (PST) ao longo de vários anos em condições de laboratório e em experimentos de campo.

Desse modo, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a simulação do transporte de nitrato no solo pelo HYDRUS-2D, visando a modelagem do comportamento dinâmico do nitrato no solo, com vistas à geração de informações mais detalhadas e precisas para fins de manejo das adubações nitrogenadas.

## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

A pesquisa foi conduzida junto ao Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) e na fazenda agrícola Nordeste Frutas Ltda – Norfruit, pertencente à Cooperativa dos Fruticultores da Bacia Potiguar – COOPYFRUTAS. Foi dividida em duas etapas: Etapa 1 - Montagem do ensaio experimental para fins de monitoramento das concentrações de  $\text{N-NO}_3$  sob diferentes formas de manejo do uso de água salobra na irrigação da cultura do meloeiro; e Etapa 2 - Aplicação do modelo HYDRUS 2D na simulação numérica da distribuição das concentrações de nitrato no perfil do solo ao longo do ciclo do meloeiro.

### **3.2.1 Etapa 1: Montagem do ensaio experimental**

#### **3.2.1.1 Localização da área experimental**

O experimento foi realizado no período de setembro a dezembro de 2018, na fazenda Nordeste Frutas Ltda – Norfruit, localizada no município de Mossoró, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, que usa poços tubulares com água de qualidade inferior para

produção agrícola e tem poços profundos que exploram água doce, visando diminuir os efeitos maléficos decorrentes do uso das águas salobras.

O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo BSwH, sendo um clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono, com uma precipitação pluviométrica bastante irregular, com média anual de 673,9 mm, temperatura média de 27 °C e umidade relativa do ar média de 68,9 % (ALVARES et al., 2013).

### 3.2.1.2 Manejo dos tratamentos

Os tratamentos consistiram de quatro estratégias de irrigação decorrentes do uso de água salobra associada à aplicação da água doce (A1- Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce, fases II e III: incremento por semana da proporção água salobra/doce nas salinidade de 1,5; 2,5; e 3,5 dSm<sup>-1</sup>, chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de 4,5 dS<sup>-1</sup>; A2 - Incremento da salinidade da água de irrigação por fase da cultura – fase I: água doce, fases II e III irrigação com água de salinidade de 2,5 dS<sup>-1</sup>, chegando ao final da fase III usando apenas água salobra de 4,5 dS<sup>-1</sup>; A3 – Irrigação com água salobra de 4,5 dS<sup>-1</sup> a partir da quinta semana de cultivo em campo, depois de iniciada a floração, e aplicando-se a água doce apenas para fins de lâmina de lixiviação, que foi realizada semanalmente; A4 – irrigação com água salinidade de 3,5 dS m<sup>-1</sup> durante todo o ciclo da cultura).

Na Tabela 3.1 são apresentadas as condutividades elétricas das águas de irrigação aplicadas semanalmente em cada uma das quatro estratégias adotadas durante o cultivo do melão.

Tabela 3.1. Condutividade elétrica da água de irrigação aplicada semanalmente em cada tratamento estudado

Estratégias	Semanas							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	CEa (dS m <sup>-1</sup> )							
A1	0,6	0,6	0,6	1,5	1,5	2,5	3,5	4,5
A2	0,6	0,6	0,6	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
A3	0,6	0,6	0,6	4,5*	4,5*	4,5*	4,5*	4,5*
A4	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5

\* Aplicação da lâmina de lixiviação semanalmente

Em relação às estratégias de utilização de água salobra e doce, a água de menor condutividade elétrica foi proveniente do poço artesiano profundo do aquífero arenito Assú e a água de maior condutividade elétrica de poços tubulares que exploram o aquífero calcário

Jandaíra. Na Tabela 3.2 são apresentados os valores das análises das águas e suas fontes utilizadas no experimento. Os outros valores da condutividade elétrica da água foram obtidos da mistura dessas duas águas, sendo monitorados diariamente por meio de condutivímetro digital portátil, marca AEV Imports, modelo TDS, com precisão de  $\pm 2\%$ .

Tabela 3.2. Composição química das águas e suas fontes utilizadas na pesquisa

Águas	pH	CE	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Dureza	Cátions anions		RAS
											--- mmol/L ---	--- mmol/L ---	
		dS m <sup>-1</sup>	----- mmol/L -----							-mg/L -			
<b>Doce*</b>	8,40	0,62	0,59	3,53	2,30	1,50	2,80	0,60	3,30	190	7,9	6,7	2,6
<b>Salobra**</b>	6,80	4,52	0,21	32,22	21,90	10,70	37,00	0,00	4,50	1630	65,0	65,0	8,0

\*Água proveniente do poço tubulares profundo (Aquífero arenito Assú); \*\*Água proveniente do poço tubulares raso (Aquífero Jandaíra)

As unidades experimentais de cada tratamento foram constituídas de 4 fileiras cultivadas com melão (*Cucumis melo* L.) com sete metros de comprimento, sendo aproveitadas apenas as 2 fileiras centrais como úteis para fins do experimento e as demais consideradas como bordaduras. As fileiras foram divididas em 4 blocos de 4,8 metros de comprimento e 4 metros largura, sendo considerada uma área útil de 19,2 m<sup>2</sup>. As distribuições das estratégias ao uso de água salobra ocorreram por meio de sorteio aleatório dentro de cada bloco, como pode ser verificado no esquema experimental da Figura 3.1.

B1	B2	B3	B4
A2N0	A4N0	A1N1	A1N0
A2N1	A4N1	A1N0	A1N1
A4N1	A3N1	A2N0	A4N0
A4N0	A3N0	A2N1	A4N1
A3N1	A2N1	A4N1	A3N1
A3N0	A2N0	A4N0	A3N0
A1N1	A1N0	A3N0	A2N1
A1N0	A1N1	A3N1	A2N1

LEGENDA:

B = Blocos

A = Estratégias de utilização de água salinas e doce

N = Manejos das adubações nitrogenadas

N0 = Sem adubação de N

N1 = Com adubação de N

Figura 3.1. Representação do croqui experimental.

### 3.2.1.3 Sistema de irrigação do experimento no campo

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com linhas laterais de polietileno, com gotejadores não autocompensantes, mantendo-se uma pressão de 100 kPa no cabeçal de concreto, para permanecer uma pressão média no final da linha lateral de 80 KPa. O espaçamento utilizado no sistema foi 2,0 m entre linhas e de 0,30 m entre emissores.

A mistura das águas para compor os tratamentos das estratégias foi feita no momento do bombeamento no reservatório, controlando-se a vazão por intermédio da regulagem de válvulas de esfera, que controlavam a quantidade de água de maior e menor salinidade, que passava para irrigação das parcelas. Esse controle foi feito baseado nas leituras da condutividade elétrica da água, monitorada por um condutímetro portátil de modelo K53-002 Dubesser, sendo que cada estratégia tinha sua condutividade elétrica conhecida.

A irrigação foi realizada com base no monitoramento da umidade do solo utilizando tensiômetros do tipo punção artesanal, instalados nas profundidades 0,15 e 0,30 m, providos de cápsulas cerâmicas porosas em sua extremidade inferior e borrachas de silicone na extremidade superior. A partir das leituras de tensão dos tensiômetros, e por meio da curva de retenção de

água no solo (Figura 3.2), foi determinado a umidade do solo real, expressa em centímetros cúbicos de água por centímetro cúbico de solo ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ). Esses dados foram utilizados para o cálculo da lâmina e do tempo de irrigação, sendo realizada a irrigação sempre quando a tensão da água no solo a 0,15 m ficava entre 10 e 15 kPa (LIMA et al., 2016), sendo considerada a lâmina reposta para a tensão média no bulbo 6kPa, considerando para isto também os valores de tensão para a profundidade de 0,40 m.

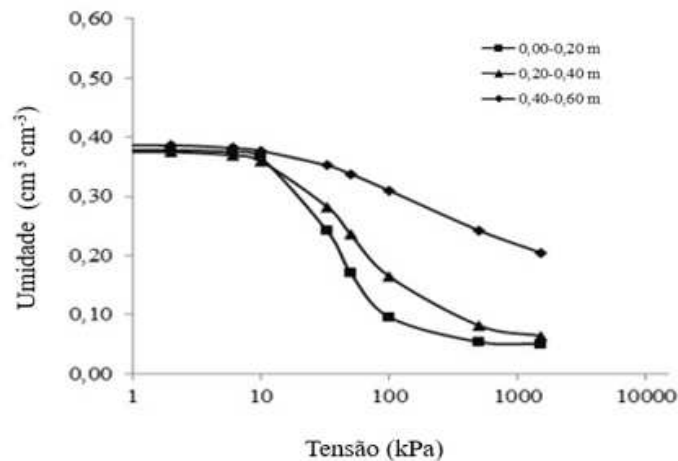


Figura 3.2. Curvas de retenção de água no solo utilizado no experimento.

#### 3.2.1.4 Adubação do experimento no campo

As adubações foram realizadas com base nas recomendações de Crisóstomo et al. (2002). Para a adubação de fundação utilizou-se  $420 \text{ kg ha}^{-1}$  da formulação 6-24-12; já a adubação de cobertura foi realizada via fertirrigação e aplicada a partir do quinto dia após a semeadura até a fase final de enchimento dos frutos. As quantidades de nutrientes aplicadas durante o ciclo da cultura estão apresentadas na Tabela 3.3. Foram utilizados como fontes de N, P e K os seguintes adubos:  $\text{KNO}_3$ , Uréia, Ácido nítrico,  $\text{KC1}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , MAP e Ácido fosfórico, e como fontes de micronutrientes, o Ácido bórico e o Quelatec AZ<sup>1</sup>.

Tabela 3.3 Quantidades acumuladas de nutrientes aplicadas na adubação de fundação e na de cobertura, por semana, durante o experimento

Período (DAT)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	S	B	Quelatec*
----- Kg há <sup>-1</sup> -----						
Fundação	25	101	50			
0 - 5	-	-	-	-	-	-
6 - 12	14	16	22	-	-	1,042
13 - 19	25	32	43	-	-	1,562
20 - 26	38	50	67	2,30	1,20	1,562
27 - 33	51	68	96	3,45	2,65	1,562
34 - 40	71	79	119	3,45	2,65	1,562
41 - 47	77	82	170	3,45	2,65	1,562
48 - 54	80	82	180	3,45	2,65	1,562
55 - 61	82	82	185	3,45	2,65	1,562
<b>Total</b>	<b>107</b>	<b>183</b>	<b>235</b>	<b>3,45</b>	<b>2,65</b>	<b>1,562</b>

\*composição: Fe (7,5%); Mn (3,5%); Zn (0,7%); Cu (0,28); B (0,65%); Mo (0,3%)

### 3.2.1.5 Monitoramento das concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

O monitoramento das concentrações de nitrato (N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) na solução do solo foi realizado pela coleta de solução do solo com auxílio de extratores providos de cápsulas porosas, instalados nas linhas das parcelas do experimento nas profundidades de 0,20 m, 0,40 m e 0,60 m, com três repetições para cada profundidade avaliada. Os extratores foram distribuídos nas parcelas experimentais nas três profundidades e as coletas da solução eram realizadas sempre no dia seguintes das irrigações e momentos antes de uma nova irrigação.

Após a coleta das soluções as amostras foram armazenadas em recipientes plásticos com volume de 20 mL e, em seguida, transportadas para o Laboratório de Análise de Solo, Planta e Água (LASAP) da UFRS. Para a determinação das concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no extrato de saturação do solo foi adotada a metodologia de análises sugerida pela Embrapa (2009).

Durante a condução do experimento de meloeiro foram realizadas seis coletas de solução do solo, aos 10, 15, 25, 35, 40 e 65 dias após o transplante (DAT).

### 3.2.2 Etapa 2: Modelagem com o HYDRUS-2D

Concluída a etapa anterior do monitoramento das concentrações de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo em relação às diferentes estratégias de irrigação com uso de água salobra, deu-se início às simulações numéricas pelo modelo HYDRUS-2D. Para tal, foi necessário obter os seguintes

dados de entrada para o modelo: parâmetros da curva de retenção da água no solo; parâmetros de transporte do nitrato; evapotranspiração da cultura do meloeiro e evaporação do solo descoberto. Tais valores foram utilizados para a realização das simulações a partir das mesmas condições dos ensaios experimentais.

### 3.2.2.1 Parâmetros da curva de retenção e características químicas e físicas do solo

Para se caracterizar o solo da área experimental foram retiradas amostras na camada de 0,0 – 0,20 m para análises química, e das camadas 0 – 0,15; 0,15 – 0,30; 0,30 – 0,45; e 0,45 – 0,60 m para análise física (Tabela 3.4). Para a elaboração da curva de retenção de água no solo (Figura 3.1) foram coletadas amostras indeformadas em 3 trincheiras, nas profundidades de 0,0 – 0,15; 0,15 – 0,30 e 0,30 – 0,45 m. O solo da área experimental foi classificado como argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico latossólico (Apêndice).

Posteriormente, foram ajustados os parâmetros da curva de retenção de água no solo ( $\theta_r$ ,  $\theta_s$ ,  $\alpha$  e  $n$ ) com base no modelo de van Genuchten-Mualem (VAN GENUCHTEN, 1980), utilizando o programa RETC (VAN GENUCHTEN et al., 1991).

Na Tabela 3.4 constam os dados referentes aos atributos químicos e físicos, bem como a massa específica do solo, a massa específica de partículas e a classificação textural do solo. Na Tabela 3.5 são apresentados os parâmetros de ajuste da curva de retenção de água no solo, segundo o modelo de van Genuchten-Mualem.

Tabela 3.4. Características químicas e físicas do solo da área experimental

Camada	pH em Água	Características químicas					
Prof. (m)		Ca	Mg	K	Na	Al	P
		-----( $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ )-----					( $\text{mg dm}^{-3}$ )
0 – 0,20	7,6	2,75	1,35	0,47	0,041	0,00	1,92
Características física (textura)							
Prof. (m)	Argila	Silte	Areia	Massa do solo	Massa de partículas	Classe textural	
	-----g $\text{kg}^{-1}$ -----			$\text{kg/m}^3$			
0 – 0,20	99	88	813			Areia Franca	
0,20 – 0,40	114	88	798	0,145	2518	Franco Arenoso	

Tabela 3.5. Parâmetros do ajuste da curva de retenção de água no solo, para o argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico latossólico obtidos segundo o modelo de van Genuchten-Mualem

Solo	$\theta_r$	$\theta_s$	$\alpha$	$n$	$m$
	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	$\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$	$\text{cm}^{-1}$	-	-
Argissolo	0,0499	0,3791	0,034	2,5549	0,6086

$\theta_r$  – umidade residual;  $\theta_s$  – umidade de saturação;  $\alpha$  – parâmetro empírico referente ao inverso do ponto de entrada de ar; e  $n$  e  $m$  – constantes empíricas que afetam a forma da curva

### 3.2.2.2 Parâmetros de transporte do nitrato

Os parâmetros de transporte do nitrato (número de Peclet - $P$ , coeficiente de dispersão- $D$ ), número de Peclet em função da Dispersividade -  $\lambda - P(\lambda)$ , número de Peclet em função da velocidade da solução no poro -  $v - P(v)$  e fator de retardamento - ( $R$ ) foram obtidos mediante o ajuste numérico das curvas de distribuição de efluentes (*Breakthrough curve - BTC*).

Para a determinação do número de Peclet, coeficiente de dispersão e fator de retardamento foram utilizadas as metodologias sugeridas por Arruda (2018).

Para a obtenção dos parâmetros do transporte do nitrato foram utilizadas colunas de PVC preenchidas com o mesmo solo já antes caracterizado, em camadas homogêneas equivalentes às profundidades em estudo. Um frasco de Mariotte foi utilizado para manter a carga hidráulica de 1 cm (Figura 3.3).

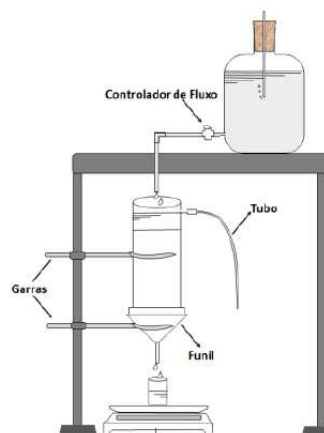


Figura 3.3. Ilustração do esquema para elaboração das curvas de distribuição do efluente para nitrato, visando a obtenção dos seus parâmetros de transporte.

As colunas foram pesadas antes do ensaio, de forma a manter a mesma densidade do solo em campo. Após isso, foram saturadas com água de maneira lenta e ascendente, por capilaridade. Para a saturação, as colunas foram colocadas em um recipiente, em uma estrutura suspensa, e o volume de água foi preenchido até que o nível atingisse  $2/3$  da altura da coluna de solo, visando que a saturação ocorresse de baixo para cima e, com isso, houvesse expulsão de todo o ar aprisionado no solo. Em seguida, as colunas foram deixadas em repouso por um período de 24 horas.

Após a saturação, foi iniciado o processo de lavagem lenta dos íons com água deionizada por um período de 24 horas e, após esse procedimento, foi montado o permeâmetro de carga

hidráulica constante para fins de determinação da condutividade hidráulica do solo saturado ( $K_0$ ) pela Equação (3.1).

$$K_0 = \frac{V_a \cdot L}{At \cdot (h + L)} \quad (3.1)$$

em que:

$K_0$  - condutividade hidráulica do solo saturado,  $\text{cm min}^{-1}$ ;

$V_a$  - volume coletado do efluente, mL;

$L$  - altura da coluna de solo, cm;

$A$  - área da coluna de solo,  $\text{cm}^2$ ;

$t$  - tempo médio correspondente a coleta do volume de efluente, min; e

$h$  - carga hidráulica sobre a coluna de solo, cm.

Em seguida, foram aplicadas soluções de concentrações conhecidas de nitrato (50, 100 e 200 ppm) utilizando a metodologia do Standard Methods (APHA, 1995).

Feito isso, foram coletadas amostras em frascos acrílicos para análise em laboratório. Cada frasco foi uma representação da fração do volume total de poros do solo na coluna (VP). Os volumes de poros foram calculados em função do volume da coluna preenchida por solo e da porosidade do solo, conforme Equação (3.2).

$$VP = \alpha \cdot V \quad (3.2)$$

em que:

VP - volume de poros,  $\text{cm}^3$ ;

$\alpha$  - porosidade do solo, decimal; e

$V$  - volume da coluna preenchida por solo,  $\text{cm}^3$ .

Para ajuste dos parâmetros de transporte do nitrato foi utilizado o programa STANMOD (SIMUNEK et al. 1999), o qual possui o código CFITIM (VAN GENUCHTEN, 1981). Esse código analisa os efluentes observados nas colunas de solo (BTC) usando soluções analíticas das equações de transporte convectivo-dispersivo para o equilíbrio e não equilíbrio unidimensional, incluindo soluções analíticas para colunas semi-finitas. O código permite uso

fácil, eficiente e meios precisos para determinar vários parâmetros de transporte diante da otimização dos dados de efluente das colunas de BTC.

### **3.2.2.3 Evapotranspiração da cultura e evaporação do solo descoberto**

O cálculo da evapotranspiração para a cultura do melão foi realizado com base no modelo de Penman-Monteith, recomendado pela FAO (Food and Agriculture Organization) no boletim de Irrigação e Drenagem nº 56 (FAO-56) como padrão para determinação da evapotranspiração de referência (ALLEN et al., 2006); tendo sido usado dados da estação meteorológica do INMET de Mossoró - RN.

Para o cálculo de evaporação do solo descoberto, para fins de simulação do volume de solo molhado, foi usado o mesmo procedimento da evapotranspiração da cultura; todavia, no cálculo foram desconsiderados os valores referentes à cultura, levando-se em consideração somente os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e o coeficiente de evaporação ( $K_e$ ), conforme proposto pela metodologia FAO (ALLEN et al., 2006).

### **3.2.2.4 Determinação dos parâmetros de entrada para utilização do modelo**

Para a simulação da dinâmica de transporte do soluto no solo foram elaboradas curvas de distribuição de efluentes (BTC's) do íon nitrato ( $N-NO_3^-$ ) com as concentrações de 50; 100 e 200 ppm para o solo em estudo, ajustadas pelo programa STANMOD (SIMUNEK et al. 1999b). As curvas das BTC's estão apresentadas na Figura 3.4. Somente para a primeira concentração de 50 ppm não foi possível atingir concentração relativa máxima (igual a 1 ou 100%), mesmo chegando a 3,0 volumes de poros (VP), expressando que nessa concentração o íon mostrou-se sensível à interação do solo. Já para as concentrações de nitrato de 100 e 200 ppm foi possível atingir a concentração relativa máxima igual a 1. Isso mostra que o nitrato nas concentrações mais elevadas interagiu pouco com o solo em estudo, fazendo com que o soluto fosse lixiviado com maior facilidade para as camadas mais profundas. Comportamento similar foi observado por Andrade et al. (2014), quando encontraram maior retardo no processo de lixiviação do soluto associado, à baixas concentrações aplicadas.

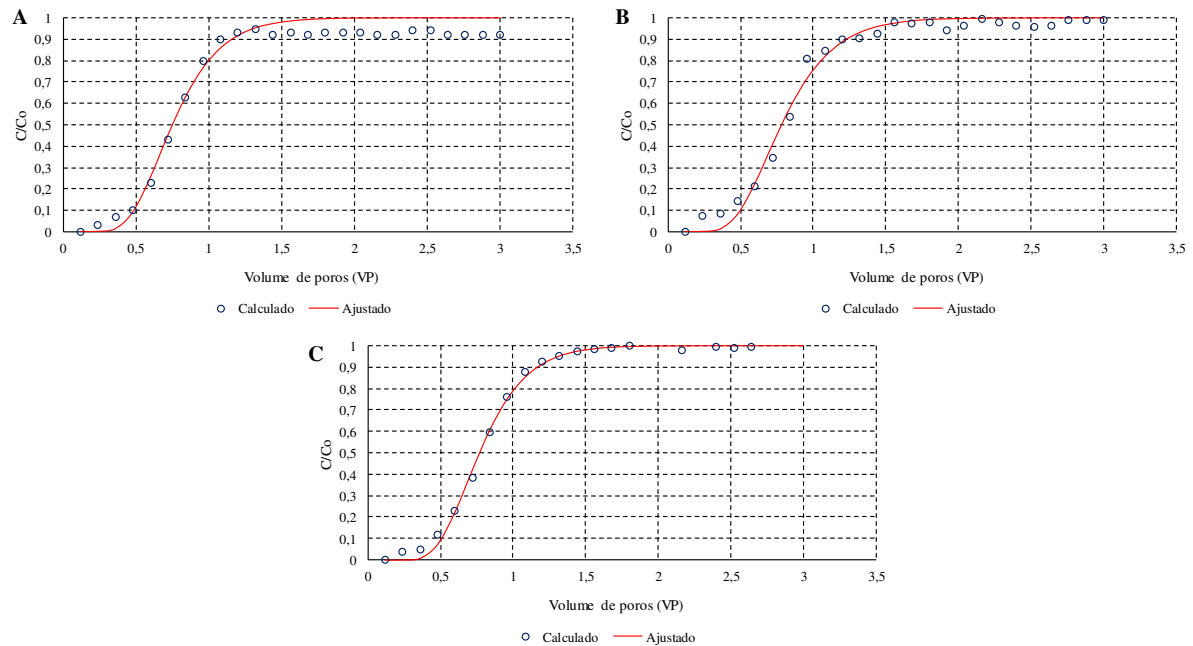


Figura 3.4. Curvas de distribuição de efluente (BTC) do íon nitrato ( $\text{N-NO}_3$ ) usando diferentes concentrações de nitrato: (A) 50 ppm; (B) 100 ppm; e (C) 200 ppm.

Observa-se que o número de Peclet para as três concentrações analisadas (50, 100, e 200 ppm) foram, respectivamente, de 16,7434; 15,3826; e 18,21165, ou seja, valores superiores a 10. Segundo Andrade et al. (2014), isto indica que o processo de fluxo de massa predomina sobre o transporte difuso. Já a diferença encontrada nos valores de Peclet pode estar relacionada às diferenças encontradas nas velocidades da solução no poro (Tabela 3.6). O mesmo foi ressaltado por Andrade et al. (2014) que, utilizando um solo coletado na mesma área, encontrou valores diferentes de velocidade.

O fator de retardamento (R), para as três concentrações estudadas, apresentou valores próximos a 1, ou seja, 0,7951; 0,8329; e 0,8107, respectivamente da menor para a maior concentração. De acordo com Melo et al. (2006), esse parâmetro representa as interações entre as fases líquida e sólida que ocorrem durante a percolação, ou seja, retrata a capacidade do solo reter os solutos à medida que o fluxo de massa avança. Logo, o solo em estudo apresenta baixa capacidade em reter nitrato durante o fluxo de massa, fato que fica mais evidente pela pequena diferença entre as concentrações estudadas (Tabela 3.6).

Os valores encontrados para D, nas diferentes concentrações analisadas, podem estar associadas com as diferenças na velocidade de escoamento. Portanto, a concentração de nitrato de 100 ppm foi a que apresentou maior valor de D ( $58,8390 \text{ cm}^2 \text{ h}^{-1}$ ) em função de ter o maior valor de  $v$  ( $66,3134 \text{ cm h}^{-1}$ ).

Para as diferentes soluções, os coeficientes de distribuição (Kd) apresentaram valores negativos de -0,0505; -0,0412; e -0,0467  $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ , respectivamente, da menor para a maior concentração. O coeficiente de distribuição (Kd) é um valor relativo à interação entre a matriz sólida e o soluto, ou seja, depende do tipo de solo e do tipo de soluto (WANDERLEY, 2000). Logo, percebe-se que para o solo em estudo as concentrações de nitrato não tiveram interação com a matriz sólida, apresentando valores negativos (Tabela 3.6). Arruda (2018), analisando os parâmetros de transporte do potássio em um cambissolo, verificou que o potássio tende a ter uma maior interação com a matriz do solo, acarretando maior retardamento do soluto no solo.

Tabela 3.6. Parâmetros de transporte do soluto para o íon nitrato no argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico latossólico da área experimental

Concentrações	v	P	R	D	$\lambda$	Kd
ppm	$\text{cm h}^{-1}$	-	-	$\text{cm}^2 \text{h}^{-1}$	cm	$\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$
50	53,1017	16,7434	0,7951	57,9183	1,3140	-0,0505
100	66,3134	15,3826	0,8329	58,8390	1,4302	-0,0412
200	55,0204	18,2165	0,8107	46,5803	1,2077	-0,0467

Velocidade da solução no poro (v), número de Pelet (P), fator de retardamento (R), coeficiente de dispersão (D), dispersividade do meio poroso ( $\lambda$ ) e coeficiente empírico de distribuição (Kd)

### 3.2.2.5 Avaliação da modelagem da dinâmica do nitrato

A simulação com o modelo HYDRUS-2D foi realizada nas mesmas condições do perfil do solo durante o desenvolvimento da cultura do meloeiro (experimento anterior). Com isso, foram comparadas as concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  simuladas com as observadas do extrato da solução do solo durante o desenvolvimento da cultura do meloeiro.

### 3.2.2.6 Avaliação do modelo HYDRUS-2D

O desempenho do HYDRUS-2D foi avaliado comparando-se os dados preditos pelo modelo com os respectivos dados observados, conforme sugerido por Legates e McCabe Jr (1999), por meio dos índices estatísticos: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio quadrático (MSE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E) e o índice de concordância de Willmott (d). Para a construção dos gráficos e interpretação dos resultados, utilizou-se o Excel versão 2016.

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.3.1 Dinâmica de transporte do nitrato no solo

Na Figura 3.5 são apresentados os dados observados experimentalmente e os simulados pelo modelo HYDRUS-2D para o transporte do nitrato no solo durante o ciclo do meloeiro, considerando a profundidade 0,20 m nas quatro estratégias de irrigação com água salobra (A1, A2, A3 e A4).

Nota-se que, na profundidade do solo de 0,20 m, as concentrações de nitrato simuladas pelo modelo HYDRUS foram inferiores às observadas para as estratégias de irrigação A1, A2 e A4 em todo o ciclo da cultura. Já em relação a estratégia A3 as concentrações simuladas só se mantiveram superiores um pouco mais do meio do ciclo da cultura, tendo suas concentrações reduzidas em relação aos valores observados (Figura 3.5).

Percebe-se, ainda, que os valores simulados pelo modelo na camada de 0,20 m na estratégia A4 foi a que apresentou comportamento mais próximo das condições reais de campo. Já para as estratégias A1, A2 e A3 ocorreram variações expressivas entre os valores simulados e os observados, podendo esse comportamento ser atribuído às mudanças de concentrações de sais nas águas de irrigação durante o cultivo do meloeiro nestas estratégias.

Dentre os principais fatores que afetam as concentrações de nitrogênio no solo estão as características do manejo de irrigação e as características do solo. A quantidade de N suscetível à lixiviação também pode variar com a quantidade de fertilizante nitrogenado aplicado, taxas de mineralização, cultivo, taxa de absorção, práticas de manejo do solo e volume de água percolada ao longo do perfil do solo (HONG et al., 2014; REICHARDT; LIBARDI; URQUIAGA, 1982).

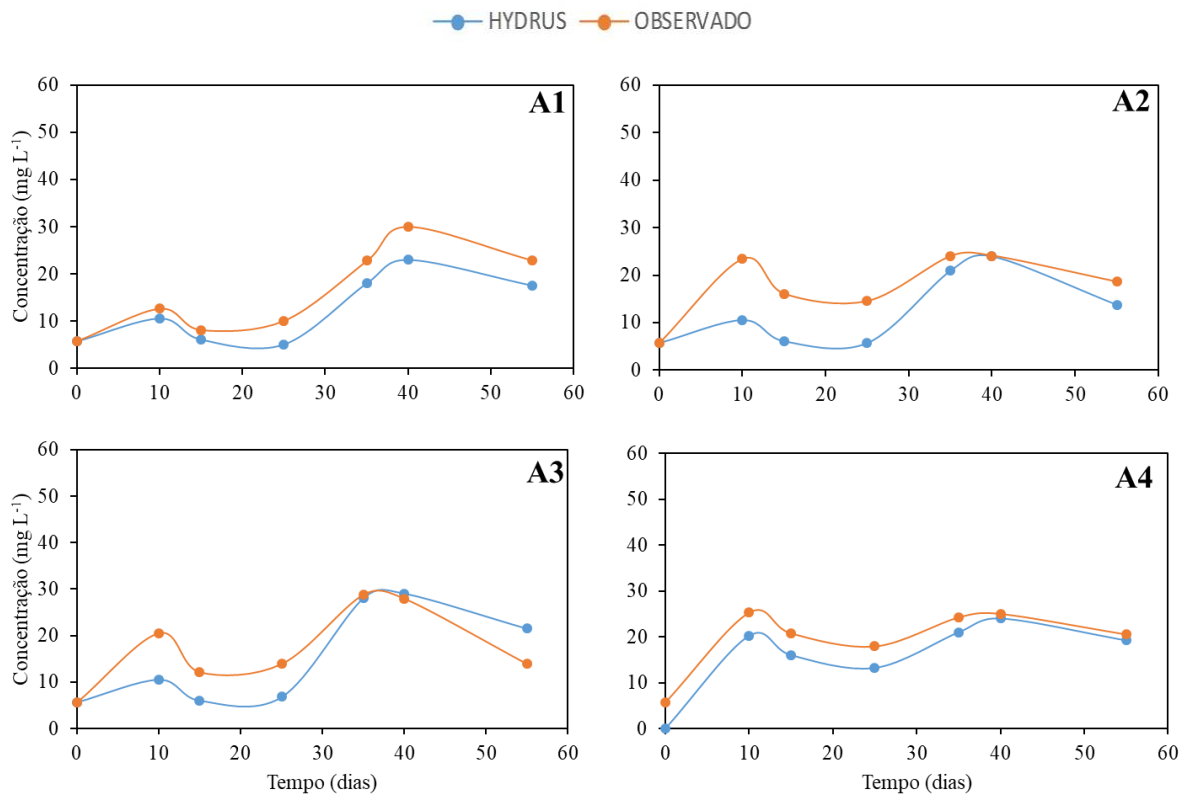


Figura 3.5. Valores de concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  observados e simulados com o modelo HYDRUS 2D na profundidade de 0,20 m de solo, durante o cultivo do meloeiro, para as quatro estratégias de utilização de água salobra (A1, A2, A3 e A4).

Como forma de avaliar a precisão, eficiência e desempenho do HYDRUS-2D, foram utilizados os valores de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), erro médio quadrático (MSE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E) e o índice de concordância de Willmott ( $d$ ) obtidos nas comparações entre os valores de nitrato estimados pelo modelo e observados em campo na profundidade de 0,20 m (Tabela 3.7).

Segundo os valores avaliados de coeficiente de determinação na profundidade de 0,20 m, as estratégias de irrigação apresentaram variações de valores de 0,58 a 0,97, sendo que valores iguais a 1 representam uma precisão perfeita. Como pode ser observado, o melhor coeficiente foi obtido na estratégia de irrigação A1, apresentando valor de 0,97, seguida pela A4, A3 e A2 com valores de 0,91; 0,68; e 0,58 respectivamente (Tabela 3.7).

Em relação aos erros, de maneira geral, o MSE e RMSE obtidos nas estratégias para a simulação estão relativamente próximos; no entanto, observa-se que tanto para o erro médio quadrático (MSE) quanto para a raiz do erro médio quadrático (RMSE) os melhores resultados foram encontrados nas simulações das estratégias A1 e A4, sendo a simulação da A4 a que apresentou menor erro médio quadrático.

Observa-se que a eficiência das simulações avaliadas pelo coeficiente de Nash - Sutcliffe apresentou valores relativamente baixos, sendo considerado uma eficiência perfeita quando os valores são iguais a 1. Porém, avaliando as simulações nas diferentes estratégias observa-se comportamento semelhante ao  $R^2$ , sendo que os melhores resultados foram observados nas estratégias A1 e A4, sendo as estratégias A2 e A3 as que apresentaram pior eficiência; isso pode ser explicado pela maior amplitude dos dados observados e estimados para essas estratégias nas simulações (Tabela 3.7).

Em relação ao desempenho das simulações avaliado pelo índice de concordância de Willmott, pode-se observar que os valores de  $d$  variaram de 0,78 (A2) até 0,92 (A1 e A4), sendo que os valores mais próximos a 0 representam ausência de concordância entre os dados estimados e observados, e valores mais próximos a 1 representam uma concordância perfeita.

De modo geral, na profundidade do solo de 0,20 m, o desempenho do HYDRUS-2D na simulação da distribuição do nitrato no solo apresentou maior potencial para a estratégia A4, com concentração constante durante todo o ciclo da cultura ( $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ), pois foi a que mais se aproximou dos dados observados experimentalmente, o com menores erros, alta precisão e melhor eficiência pelos índices estatísticos  $R^2$ , MSE, RMSE, E e  $d$ .

Tabela 3.7. Valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro médio quadrático (MSE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E) e índice de concordância de Willmott ( $d$ ) na análise de desempenho do modelo HYDRUS 2D na simulação da distribuição do nitrato no solo, em função das estratégias de utilização de água salobra, na profundidade de 0,20 m

Água	$R^2$	MSE	RMSE	E	$d$
A1	0,97	19,19	4,38	0,74	0,92
A2	0,58	53,59	7,32	0,33	0,74
A3	0,68	35,31	5,94	0,44	0,88
A4	0,91	12,12	3,48	0,70	0,92

Em relação aos valores simulados das concentrações de nitrato na camada de 0,40 m de solo (Figura 3.6), observa-se comportamento semelhante ao da camada de 0,20 m para a estratégia A1, sendo que os valores simulados pelo modelo mostraram-se inferiores aos observados no experimento. Já os valores simulados para a estratégia A2 foram inferiores somente até 40 dias de cultivo, tendo seus valores elevados até ao final do cultivo do meloeiro. Já a simulação das concentrações de nitrato para a estratégia A3 foi a que apresentou maior variação em relação aos valores observados ao longo do cultivo. Essa variação pode ser explicada pelas lâminas de lixiviação desse tratamento aplicadas durante o cultivo do meloeiro em relação à profundidade de 0,40 m, sendo que o modelo não conseguiu acompanhar as

concentrações observadas de nitrato pela fração de lixiviação adicionada à irrigação semanalmente.

Para a compreensão do processo de lixiviação de  $\text{NO}_3^-$ , o mais relevante é compreender a dinâmica da água no solo, visto que a concentração e a mobilidade de nitrato dependem fortemente das quantidades de água em relação ao solo (FESSEHAZION et al., 2015). Estudos relatam que a quantidade de N lixiviado aumenta com a precipitação e é mais dependente do volume de água percolado através do solo do que da quantidade de N aplicada no sistema (BLICHER-MATHIESEN; ANDERSEN; LARSEN, 2014; GHIBERTO; LIBARDI; TRIVELIN, 2015; WETSELAAR, 1962).

Já em relação à simulação das concentrações de  $\text{N-NO}_3^-$  pelo modelo na estratégia A4, verificou-se maior aderência aos valores observados em relação às outras estratégias (Figura 3.6).

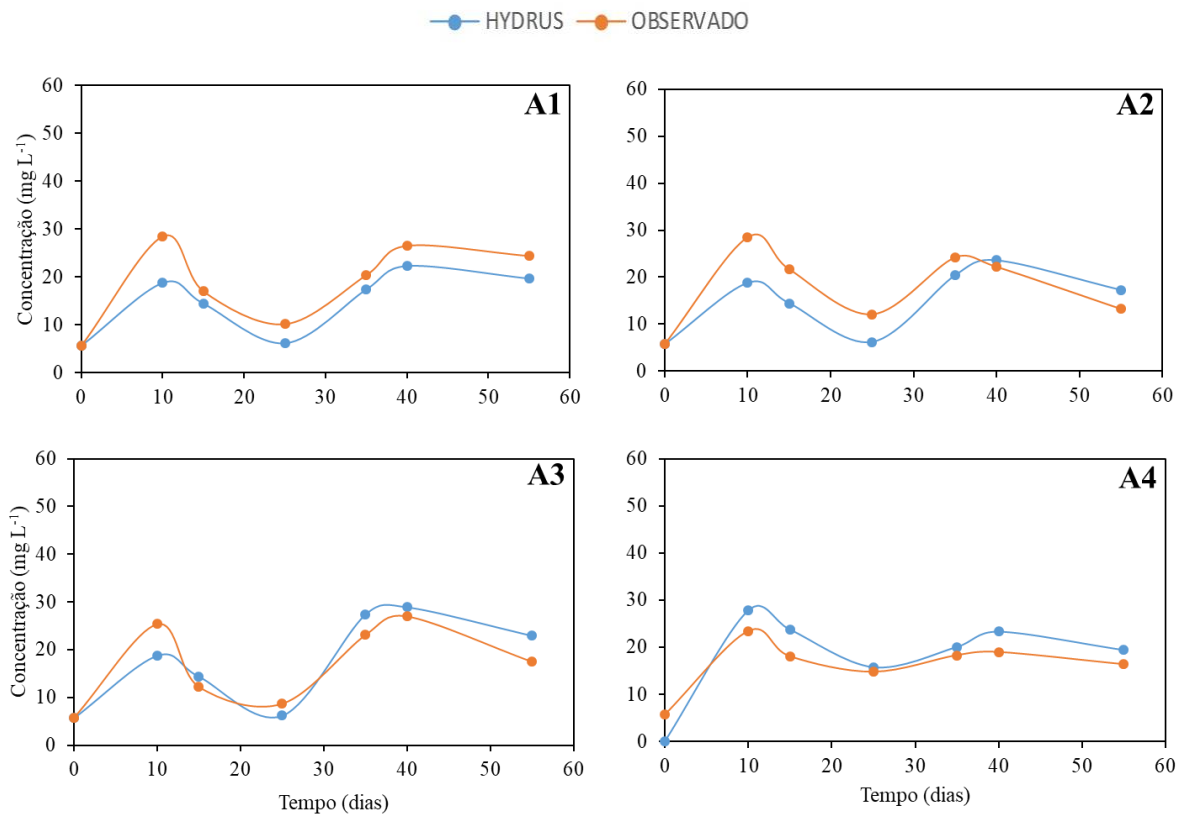


Figura 3.6. Valores de concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  observados e simulados com o modelo HYDRUS 2D na profundidade de 0,40 m de solo, durante o cultivo do meloeiro, para as quatro estratégias de utilização de água salobra (A1, A2, A3 e A4).

Avaliando o desempenho das simulações do modelo na distribuição do nitrato na profundidade de 0,40 m, observa-se resultados semelhante aos obtidos para a profundidade de 0,20 m, sendo que as estratégias A1 e A4 forma as que apresentaram melhor performance nas simulações com base nos parâmetros estatísticos (Tabela 3.8).

Essa pequena variação nos índices estatísticos em relação às mudanças de profundidade do solo podem ser explicadas pelo fato do íon nitrato ter pouca interferência da matriz do solo, não tendo sido notadas grandes mudanças em relação às variações das frações físicas do solo em profundidade.

Tabela 3.8. Valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro médio quadrático (MSE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E) e índice de concordância de Willmott ( $d$ ) na análise de desempenho do modelo HYDRUS 2D na simulação da distribuição do nitrato no solo, em função das estratégias de utilização de água salobra, na profundidade de 0,40 m

Água	$R^2$	MSE	RMSE	E	$d$
A1	0,92	23,63	4,86	0,62	0,89
A2	0,62	30,61	5,53	0,45	0,84
A3	0,80	15,30	3,91	0,75	0,94
A4	0,96	12,18	3,49	0,52	0,91

Já nas concentrações de nitrato simuladas pelo HYDRUS-2D na profundidade do solo de 0,60 m (Figura 3.7), observa-se que os valores simulados permaneceram inferiores aos observados nas estratégias A1 e A2 ao longo de toda a simulação. Na estratégia A3 foi verificado grande variação nos dados observados, o que acabou ocasionando dificuldades na modelagem com o HYDRUS-2D. Em relação à estratégia A4, os valores simulados apresentaram comportamento bem próximo dos dados observados ao longo do ciclo da cultura do meloeiro, com pequena superestimativas.

Estudos de modelagem das concentrações estimadas de  $\text{NO}_3^-$  no HYDRUS-1D mostram um bom ajuste com os resultados experimentais (TURKELTAUB et al., 2018). Lyu et al. (2019) conduziram um estudo de longo prazo que visava estudar o transporte e a distribuição de  $\text{NO}_3^-$  em águas subterrâneas a partir de irrigação com água de reuso e demonstraram que o modelo foi bem-sucedido em prever a concentração média anual de  $\text{NO}_3^-$  no lençol freático. Simulações feitas no HYDRUS-1D coincidem com os resultados obtidos em campo e reforçam a importância da quantificação de  $\text{NO}_3^-$  lixiviado, que está intimamente relacionada com a quantidade de nitrogênio aplicado por meio de fertilizantes, às condições de cultivo e às condições atmosféricas (eventos de precipitação e evapotranspiração) (MATTEAU et al., 2019).

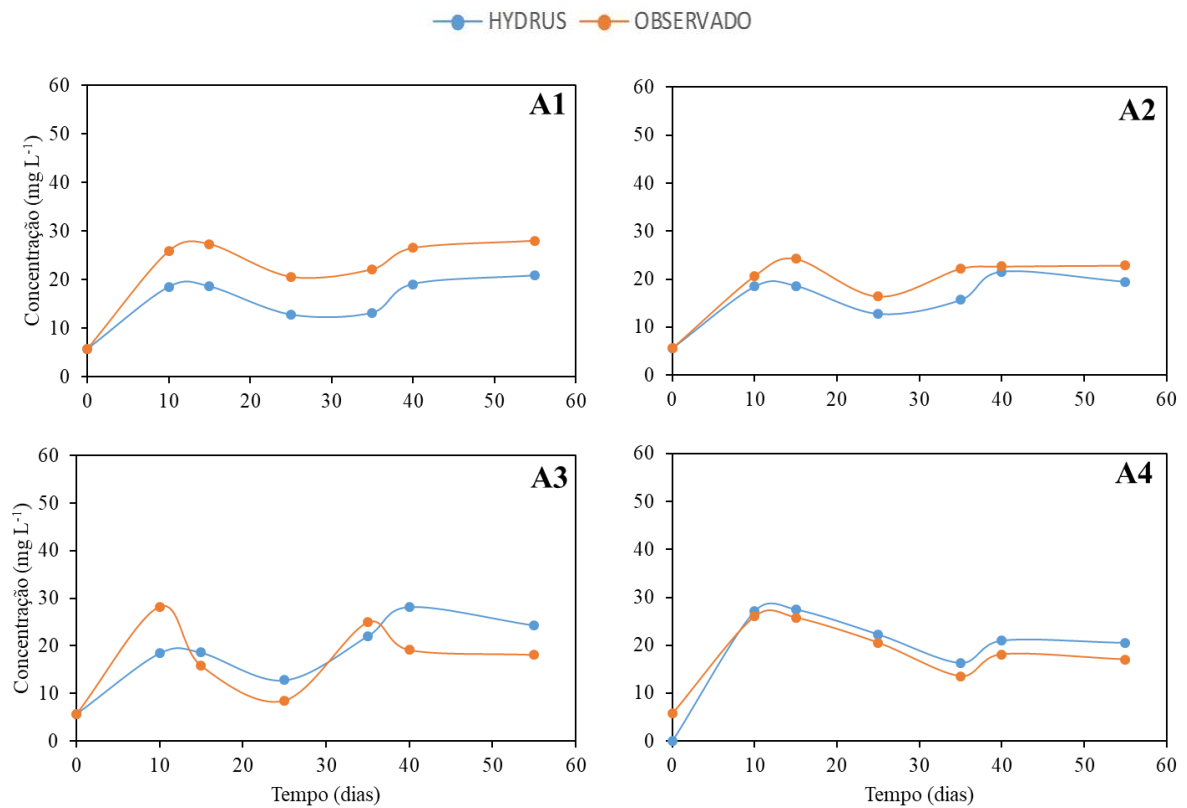


Figura 3.7. Valores de concentração de  $\text{N-NO}_3^-$  observados e simulados com o modelo HYDRUS 2D na profundidade de 0,60 m de solo, durante o cultivo do meloeiro, para as quatro estratégias de utilização de água salobra (A1, A2, A3 e A4).

Na Tabela 3.9 observam-se as avaliações das simulações do modelo HYDRUS-2D para as concentrações de nitrato no solo, na camada de 0,60 m, em função das estratégias de uso de águas salobras na cultura do meloeiro.

Segundo os valores avaliados de coeficiente de determinação ( $R^2$ ), a simulação que apresentou melhor precisão foi com a estratégia A4, com valor de 0,98, seguido da A1 com 0,93; A2 com 0,88 e A3 com pior precisão de 0,43. A estratégia A4 com concentração constante de sais ( $3,5 \text{ dS m}^{-1}$ ) foi a que apresentou menores erros nas simulações, com valores de MSE de 14,93 e um RMSE de 2,22 para a profundidade de 0,60 m (Tabela 3.9).

Resultados semelhantes para a estratégia A4 foram observados quando se avaliou a eficiência e o desempenho do modelo (Tabela 3.9), apresentados melhores valores para o coeficiente de Nash (0,89) e de concordância de Willmott (0,97).

Tabela 3.9. Valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), erro médio quadrático (MSE), raiz do erro médio quadrático (RMSE), coeficiente de Nash – Sutcliffe (E) e o índice de concordância de Willmott ( $d$ ) na análise de desempenho do modelo HYDRUS 2D na simulação da distribuição do nitrato no solo, em função das estratégias de utilização de água salobra, na profundidade de 0,60 m

Água	$R^2$	MSE	RMSE	E	$d$
A1	0,93	54,45	7,38	0,33	0,76
A2	0,88	19,53	4,42	0,46	0,89
A3	0,46	35,76	5,98	0,37	0,80
A4	0,98	14,93	2,22	0,89	0,97

### 3.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

- Os resultados das simulações de transporte do nitrato no solo com o HYDRUS-2D, sob diferentes estratégias de utilização de águas salobras na cultura do meloeiro, foram melhores quando as concentrações de sais das estratégias de irrigação foram mantidas constantes durante todo o ciclo da cultura.

- O HYDRUS-2D apresenta boa concordância entre as simulações numéricas do transporte de nitrato ao longo do perfil do solo, sendo que em maior profundidade foi possível observar melhor desempenho do modelo em relação aos dados obtidos experimentalmente.

- O HYDRUS-2D, nas condições de realização da pesquisa, se mostrou adequado para a simulação do transporte sob diferentes concentrações de nitrato no solo, fornecendo resultados coerentes com os dados obtidos durante o experimento.

### 3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G. et al. **Evapotranspiration del cultivo: guias para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56). 2006.

ALVARES, C. A. et al. **Köppen's climate classification map for Brazil**. Meteorologische Zeitschrift, v.22, p. 711-728, 2013.

ANDRADE, C. W. L. et al. Determinação dos parâmetros de transporte do íon sódio utilizando o modelo STANMOD. **In: VI Congresso sobre uso e manejo do solo**. Recife, p. 1-4. 2014.

- APHA - American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. Library of the Congress Catalog Card Number: 95-79480, 1995.
- BLICHER-MATHIESEN, G.; ANDERSEN, H. E.; LARSEN, S. E. Reprint of “Nitrogen field balances and suction cup-measured N leaching in Danish catchments”. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 198, p. 36–43, 15 dez. 2014.
- CAMERON, K. C.; DI, H. J.; MOIR, J. L. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. **Annals of Applied Biology**, v. 162, n. 2, p. 145–173, 2013.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Perspectivas de diversificação e de investimentos na produção de arroz - trigo - feijão**. Brasília: Conab, 2016, 53 p. Compêndio de estudos Conab, v. 1 (2016). Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_06\\_20\\_10\\_34\\_02\\_compendio\\_de\\_estudos\\_conab\\_-\\_volume\\_1,\\_2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_06_20_10_34_02_compendio_de_estudos_conab_-_volume_1,_2016.pdf)>.
- FESSEHAZION, M. K. et al. Evaluating of soil water balance (SWB-Sci) model for water and nitrogen interactions in pasture: Example using annual ryegrass. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 238–248, 2015.
- GHIBERTO, P. J.; LIBARDI, P. L.; TRIVELIN, P. C. O. Nutrient leaching in an Ultisol cultivated with sugarcane. **Agricultural Water Management**, v. 148, p. 141–149, 31 jan. 2015.
- HONG, E. M. et al. Monitoring nutrient accumulation and leaching in plastic greenhouse cultivation. **Agricultural Water Management**, v. 146, p. 11–23, 2014.
- JIAO, X. et al. Impact of groundwater level on nitrate nitrogen accumulation in the vadose zone beneath a cotton field. **Water**, v. 9, 2017.
- LEGATES, D. R.; MCCABE JR. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydraulic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, Washington, v. 35, n. 1, p. 233-241, jan. 1999.
- LYU, S. et al. Integration of HYDRUS-1D and MODFLOW for evaluating the dynamics of salts and nitrogen in groundwater under long-term reclaimed water irrigation. **Irrigation Science**, v. 37, n. 1, p. 35–47, 12 jan. 2019.
- MATTEAU, J.-P. et al. Coupling of a nitrate production model with HYDRUS to predict nitrate leaching. **Agricultural Water Management**, v. 213, p. 616–626, 1 mar. 2019.
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO/ONU). Disponível em: Acesso em agosto a outubro de 2015.

- PINHO, R. E. C.; MIRANDA, J. H. Avaliação do modelo HYDRUS-1D na simulação do transporte de água e potássio em colunas preenchidas com solos tropicais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 5, p. 899-911, 2014.
- QUEMADA, M. et al. Meta-analysis of strategies to control nitrate leaching in irrigated agricultural systems and their effects on crop yield. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 174, p. 1– 10, 15 jul. 2013.
- RAMOS, B. Z. et al. Avaliação dos atributos físico-hídricos em um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes sistemas de manejo-Lavras/Minas Gerais/Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 36, n. 3, jul. 2013.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; URQUIAGA, S. C. Fate of fertilizer nitrogen in soil-plant systems with emphasis on the tropics. **INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (Ed.). Agrochemicals: fate in food and the environment**, n. June, p. 277–290, 1982.
- RESENDE, A. V. Agricultura e qualidade de água: contaminação de água por nitrato. Planaltina: **EMBRAPA Cerrados**, (Documentos, n. 57). 2002.
- SHAHROKHANIA, M. H.; SEPASKHAH, A. R. Water and nitrate dynamics in safflower field lysimeters under different irrigation strategies, planting methods, and nitrogen fertilization and application of HYDRUS-1D model. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 9, p. 8563–8580, 8 mar. 2018.
- SOTO, F. et al. Consideration of total available N supply reduces N fertilizer requirement and potential for nitrate leaching loss in tomato production. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 200, p. 62–70, 1 fev. 2015.
- TURKELTAUB, T. et al. Recharge and nitrate transport through the deep vadose zone of the loess plateau: A Regional scale model investigation. **Water Resources Research**, 2018.
- WANDERLEY, R. M. **Modelo advectivo-dispersivo de transporte de solutos em solo não-saturado utilizando os métodos das características e dos elementos finitos**. 2000. 126f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2000.
- WANG, H. et al. Simulation of bromide and nitrate leaching under heavy rainfall and highintensity irrigation rates in North China Plain. **Agricultural Water Management**, v.97, p.1646 - 1654, 2010.
- WETSELAAR, R. Nitrate distribution in tropical soils. **Plant and Soil**, v. 1, n. February, p. 19–31, 1962.

ZHANG, B. et al. Reducing nitrogen leaching in a subtropical vegetable system. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 241, p. 133–141, 1 abr. 2017.

GONÇALVES, M. C.; SIMUNEK, J.; RAMOS, T. B.; MARTINS, J. C.; NEVES, M. J.; PIRES, F.P. Multicomponent solute transport in soil lysimeters irrigated with waters of different quality. **Water Resour. Res.**, 42, W08401. 2006.

RAMOS, T. B., SIMUNEK, J.; GONÇALVES, M. C.; MARTINS, J. C.; PRAZERES, A.; CASTANHEIRA, N. L.; PEREIRA, L. S. Field evaluation of a multicomponent solute transport model in soils irrigated with saline waters. **J. Hydrol.**, 407: 129-144. 2011.

## CONCLUSÕES GERAIS

- A estratégia ao uso de água salobra A2 de incremento da salinidade por fases foi a que apresentou maior rendimento comercial de frutos de melão, possibilitando economia de água de baixa salinidade.
- Embora o uso de águas salobras como fonte de alternativa para a irrigação possa apresentar problemas, como a salinização do solo nas camadas superficiais, o manejo da irrigação combinado ao incremento da salinidade por fases das estratégias A1 e A2 resultou em maior eficiência em termos de redução do acúmulo de sais durante o cultivo e no final do ciclo.
- O manejo de irrigação M2, baseado pelo monitoramento da umidade do solo, conseguiu proporcionar uma produção de frutos satisfatória com uma menor quantidade de água para a irrigação.
- A produtividade do melão não foi afetada pelo manejo da redução da adubação nitrogenada.
- A produção comercial e total não foi influenciada pelo uso de água com baixa e alta concentrações salobras, aplicadas sob diferentes formas de manejo; somente para a estratégia A4 os valores de produtividade foram inferiores em relação às outras estratégias de utilização de água salobra.
- De modo geral, o manejo de irrigação baseado no monitoramento da umidade do solo foi o que apresentou maiores influências nas estratégias de uso de água salobras e do manejo de adubação.
- Os resultados das simulações de transporte do nitrato no solo com o HYDRUS-2D, sob diferentes estratégias de utilização de águas salobras na cultura do meloeiro, foram melhores quando as concentrações de sais das estratégias de irrigação foram mantidas constantes durante todo o ciclo da cultura.
- O HYDRUS-2D apresenta boa concordância entre as simulações numéricas do transporte de nitrato ao longo do perfil do solo, sendo que em maior profundidade foi possível observar melhor desempenho do modelo em relação aos dados obtidos experimentalmente.
- O HYDRUS-2D, nas condições de realização da pesquisa, se mostrou adequado para a simulação do transporte sob diferentes concentrações de nitrato no solo, fornecendo resultados coerentes com os dados obtidos durante o experimento.

## APÊNDICE

Descrição do perfil do solo da área experimental onde foi realizada a Pesquisa

**CLASSIFICAÇÃO:** LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico Argissólico

**LOCALIZAÇÃO:** Estado do Rio Grande do Norte, município de Mossoró, Fazenda Norfruit, à 7 km a oeste do km 35 da BR 304, distando 42 km da sede do município, latitude de 5° 02' 0,02'' S e longitude 37° 22' 33,6'' W Gr.

**SITUAÇÃO E DECLIVE:** Perfil descrito em uma trincheira, sob condições de área em pousio, em declive plano.

**ALTITUDE:** 60 m aproximadamente.

**FORMAÇÃO GEOLÓGICA LITOLOGIA:** Terciário (Grupo Barreiras)

**MATERIAL ORIGINÁRIO:** Sedimentos do Grupo Barreiras.

**PEDREGOSIDADE E ROCHOSIDADE:** Ausentes.

**RELEVO: LOCAL** - plano.

**REGIONAL** – plano a suave ondulado.

**EROSÃO:** ausente.

**DRENAGEM:** bem drenado.

**VEGETAÇÃO REGIONAL:** caatinta hiperxerófica arbustiva densa, constituída de paubranco, marmeleiro, catanduva, e outras

**USO ATUAL:** pousio após cultivo de melão

**A** - 0 a 10 cm; vermelho escuro (10R 3/6, úmido), vermelho (10R 4/6, seco); Areia franca; maciça que se desfaz em pequenos blocos sub-angulares e grãos simples; muitos poros muito pequenos e pequenos; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana; raízes muito fina comuns e finas poucas.

**AB** - 10 a 22 cm; vermelho escuro (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/6, seco); Areia franca; maciça que se desfaz em fraca em pequenos blocos sub-angulares e fraca muito pequena granular; muitos poros muito pequenos comuns; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição clara e plana.

**BA** - 22 a 70 cm; vermelho (2,5YR 3/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/8, seco); Argila arenosa; maciça que se desfaz em moderados blocos sub-angulares e fraca e muito pequena granular; muitos poros muito pequenos comuns; macio a ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso, transição difusa e plana.

**Bw1** – 70 a 130 cm, vermelho (2,5YR 4/6, úmido) e vermelho (2,5YR 4/8); Franco argilo arenosa, maciça que se desfaz em moderados blocos sub-angulares e fraca e muito pequena granular; muitos poros muito pequenos comuns; macio a ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso, transição difusa e plana.

**Bw2** – 130 a 200+ cm, vermelho (10R 4/6 úmido) e vermelho (10R 4/8, seco); Franco argilo arenosa, maciça que se desfaz em moderados blocos sub-angulares e fraca e muito pequena granular; muitos poros muito pequenos comuns; macio a ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico a plástico e ligeiramente pegajoso, transição difusa e plana.

**EXAMINADORES:** José Araújo Dantas - EMPARN