



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
MESTRADO EM FITOTECNIA

LUCAS PEREIRA GOMES

SISTEMA SIMAS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM HORTALIÇAS

MOSSORÓ

2022

LUCAS PEREIRA GOMES

SISTEMA SIMAS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM HORTALIÇAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação.

Orientador: Nildo da Silva Dias, Prof. Dr.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G633s Gomes, Lucas Pereira.
SISTEMA SIMAS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM
HORTALIÇAS / Lucas Pereira Gomes. - 2022.
62 f. : il.

Orientador: Nildo da Silva Dias.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia, 2022.

1. Hortaliças folhosas. 2. Evapotranspiração. 3.
Capacidade de campo. 4. Semiárido. I. Dias, Nildo
da Silva, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados
fornecidos pelo autor (a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

LUCAS PEREIRA GOMES

SISTEMA SIMAS PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO EM HORTALIÇAS

Dissertação apresentada ao Mestrado em Fitotecnia do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Mestre em Fitotecnia.

Linha de Pesquisa: Nutrição e Irrigação.

Defendida em: 29/10/2021.

BANCA EXAMINADORA

Nildo da Silva Dias, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Francisco de Assis de Oliveira, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Marcílio de Lemos, Dr. (Terra Viva)
Membro Examinador Externo

Osvaldo Nogueira de Sousa Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Aos meus pais, Francisco Gomes de Almeida e Adelaide Pereira de Araújo, por sempre terem me apoiado com conselhos, incentivos, amor e esforços para que eu pudesse estudar. Obrigado por sempre estarem ao meu lado em todos os momentos.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado força de vontade, sabedoria e determinação para alcançar meus objetivos.

A toda minha família pelo apoio, incentivos e esforços para me ajudar.

A minha namorada, Lara Laisa Silva Araújo, por sempre me apoiar e me incentivar quando batia o cansaço.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Sc. Nildo da Silva Dias, por me guiar no desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Glauber por me ajudar com a parte estatística do meu trabalho.

Ao coordenador, professor Dr. Aurélio, por sempre está disponível para ajudar e esclarecer dúvidas sobre o programa de pós-graduação em Fitotecnia.

Agradeço a banca examinadora, por avaliar e criticar de forma construtiva este trabalho.

Agradeço meus colegas e amigos, Nelson, Moisés, Ytalo, Nonato e Jair pela colaboração nas atividades desenvolvidas nos experimentos.

Agradeço a fazenda HortVida, na pessoa de Rodrigo, por ter me dado apoio na produção das mudas de alface.

A todos os meus professores do ensino fundamental, médio e técnico por me passarem um pouco do seu conhecimento e contribuírem na minha formação base.

A todos os professores da graduação em Agronomia e pós-graduação em Fitotecnia, que contribuíram para minha formação acadêmica.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), pela oportunidade de concluir a graduação e o mestrado.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

A todos meus colegas do mestrado, em especial a Adênio, Adriano e Giordânio, que moraram comigo durante o período do mestrado.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica.

RESUMO

Com o avanço da tecnologia, está cada vez mais possível o desenvolvimento de sistemas automatizados e inteligentes para a realização de irrigações eficientes. Essa busca é contínua e sempre com o objetivo de melhorar os meios que facilitem a utilização consciente dos recursos finitos do planeta, como é o caso da água. Este trabalho tem como objetivo avaliar a importância do Sistema Inteligente de Manejo da Água no Solo (SIMAS) na realização do manejo da irrigação em duas culturas de hortaliças, coentro (*Coriandrum sativum* L.) e alface crespa (*Lactuca sativa* L.). Além disso, avaliar a real necessidade de irrigação, buscando-se um manejo eficiente da irrigação e, consequentemente, produção e economia de recursos. A pesquisa foi dividida em dois experimentos em momentos diferentes: no primeiro experimento foi utilizada a cultura do coentro, sendo realizado a partir do final de outubro de 2020 até o início de dezembro do mesmo ano (Experimento I); no segundo experimento foi utilizada a cultura da alface, sendo conduzido no período de março de 2021 à maio do mesmo ano (Experimento II). Nos experimentos de campo, foram realizadas a validação do SIMAS em áreas de produção. Para ambos os experimentos, foram implantados dois ensaios contidos em delineamento inteiramente casualizado. Os dois ensaios foram instalados um ao lado do outro, para facilitar a montagem do sistema de irrigação. Um dos ensaios constituiu o manejo da irrigação via SIMAS e o ensaio do lado constituiu o sistema de irrigação por parâmetros via clima. Os tratamentos constituíram da interação entre o método de manejo da irrigação (via SIMAS e via clima) e o fator lixiviação (Com fator Lixiviação de 10% e Sem fator Lixiviação), totalizando assim 4 tratamentos. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por 5m² de canteiro, e cada canteiro correspondeu a duas parcelas. Avaliando o rendimento das culturas de coentro e da alface, verificou-se que praticamente não houve diferença estatística significativa entre as variáveis estudadas nas culturas, com exceção da massa fresca da raiz na cultura do coentro, percentagem de massa seca da raiz na cultura do coentro e percentagem de massa seca da parte aérea na cultura da alface. Foi possível verificar uma grande economia no consumo de água com o emprego do sistema de manejo da irrigação via SIMAS. Essa economia é muito importante quando se têm recursos hídricos limitados, além da sempre necessária economia de energia elétrica e recursos financeiros.

Palavras-chave: Hortaliças folhosas. Evapotranspiração. Capacidade de campo. Semiárido.

ABSTRACT

With the advancement of technology, it is increasingly possible to develop automated and intelligent systems for efficient irrigation. This search is continuous and always with the objective of improving the means that facilitate the conscious use of the finite resources of the planet, such as water. This work aims to evaluate the importance of the Intelligent Soil Water Management System (SIMAS) in carrying out irrigation management in two vegetable crops, coriander (*Coriandrum sativum* L.) and crisp lettuce (*Lactuca sativa* L.). In addition, to evaluate the real need for irrigation, seeking an efficient irrigation management and, consequently, production and resource savings. The research was divided into two experiments at different times: in the first experiment, the coriander culture was used, being carried out from the end of October 2020 until the beginning of December of the same year (Experiment I); in the second experiment, lettuce culture was used, being conducted from March 2021 to May of the same year (Experiment II). In the field experiments, the validation of SIMAS was carried out in production areas. For both experiments, two trials were implemented in a completely randomized design. The two tests were installed next to each other, to facilitate the assembly of the irrigation system. One of the trials was the irrigation management via SIMAS and the side trial constituted the irrigation system by parameters via climate. The treatments consisted of the interaction between the irrigation management method (via SIMAS and via climate) and the leaching factor (with 10% leaching factor and without leaching factor), thus totaling 4 treatments. Each treatment consisted of four replications, totaling 16 experimental plots. Each plot consisted of 5m² of bed, and each bed corresponded to two plots. Evaluating the yield of coriander and lettuce cultures, it was found that there was practically no statistically significant difference between the variables studied in the cultures, with the exception of fresh root mass in coriander culture, percentage of root dry mass in coriander culture and percentage of shoot dry mass in the lettuce crop. It was possible to verify a great economy in water consumption with the use of the irrigation management system via SIMAS. This savings is very important when you have limited water resources, in addition to the always necessary savings in electricity and financial resources.

Keywords: Leafy vegetables. Evapotranspiration. Field capability. Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Tensiômetro: à direita, tensiômetro e seus componentes; à esquerda, tensiômetro instalado	20
Figura 2	–	Croqui da área experimental	25
Figura 3	–	Curva e equação de calibração dos sensores do SIMAS	29
Figura 4	–	Esquema da posição dos sensores de umidade do solo em campo	30
Figura 5	–	Distância entre São João do Sabugi-RN e Caicó-RN.	32
Figura 6	–	Produção das mudas de alface.	35
Figura 7	–	Tela de sombreamento instalada sobre os canteiros.	36
Figura 8	–	Esquema de plantio do coentro.	36
Figura 9	–	Linhas de plantio da alface.	37
Figura 10	–	Área amostral para colheita do coentro.	38
Figura 11	–	Variação de umidade nos dois métodos de manejo da irrigação no experimento com coentro.	49
Figura 12	–	Variação de umidade nos dois métodos de manejo da irrigação no experimento com alface.	50
Figura 13	–	Consumo diário de água no experimento com coentro.	51
Figura 14	–	Consumo diário de água no experimento com alface.	52
Figura 15	–	Precipitação durante o experimento com coentro.	52
Figura 16	–	Precipitação durante o experimento com alface.	53
Figura 17	–	Comparativo do consumo total de água no experimento I (coentro) e II (alface).	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Equações de calibração das balanças.	27
Tabela 2	–	Parâmetros iniciais para o controle de irrigação no SIMAS.	30
Tabela 3	–	Programação da irrigação por parâmetro via clima para o coentro.	33
Tabela 4	–	Programação da irrigação por parâmetro via clima para a alface.	34
Tabela 5	–	Resumo da análise de variância para a massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR) do coentro e da alface em função do manejo da irrigação e fator lixiviação.	41
Tabela 6	–	Valores médios para massa fresca de raiz na cultura do coentro influenciadas pelo tipo de manejo da irrigação.	42
Tabela 7	–	Valores médios para massa fresca de raiz (g) na cultura do coentro influenciadas em função do manejo da irrigação e da lixiviação.	42
Tabela 8	–	Resumo da análise de variância para a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) das culturas de coentro e alface submetidas a manejos de irrigação e lixiviação.	43
Tabela 9	–	Resumo da análise de variância para a percentagem de massa seca da parte aérea (%MSPA) e percentagem de massa seca da raiz (%MSR) das culturas de coentro e alface em função de manejos de irrigação e lixiviação.	44
Tabela 10	–	Valores médios para a percentagem de massa seca da parte aérea na cultura do coentro em função de manejos de irrigação e lixiviação.	45
Tabela 11	–	Valores médios para percentagem de massa seca de raiz na cultura do coentro em função de sistemas de irrigação.	45
Tabela 12	–	Valores médios para a percentagem de massa seca na parte aérea na cultura da alface em função da manejos de irrigação e lixiviação.	46
Tabela 13	–	Valores médios para a percentagem de massa seca na raiz da cultura da alface em função da manejos de irrigação e lixiviação.	46
Tabela 14	–	Resumo da análise de variância para a altura de plantas de coentro em função de manejos de irrigação e lixiviação.	47
Tabela 15	–	Resumo da análise de variância para a produtividade média das culturas de coentro e alface em função de manejos de irrigação e lixiviação.	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SEMIÁRIDO.....	13
2.1.1 Caracterização do semiárido.....	13
2.1.2 Utilização dos recursos hídricos.....	14
2.2 MANEJO DA ÁGUA DA IRRIGAÇÃO.....	15
2.2.1 Teor de água no solo.....	16
2.2.2 Irrigação por parâmetros via solo.....	17
2.2.3 Irrigação por parâmetros via clima.....	17
2.2.4 Fator lixiviação.....	18
2.3 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO.....	18
2.3.1 Método-padrão gravimétrico.....	19
2.3.2 Tensiômetro.....	19
2.4 IRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS FOLHOSAS.....	21
2.4.1 Manejo da irrigação de hortaliças.....	21
2.4.2 Métodos de irrigação de hortaliças.....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	24
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	24
3.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO.....	25
3.3.1 Simas.....	25
3.3.1.1 Princípio de Funcionamento.....	26
3.3.1.2 Calibração dos sensores de umidade do solo.....	27
3.3.1.3 Instalação em campo.....	29
3.3.1.4 Coleta dos Dados de Campo e Lâmina de Irrigação.....	30
3.3.2 Método de Penman-Monteith.....	31
3.3.3 Irrigação por parâmetros via clima.....	32
3.4 CONDUÇÃO DAS CULTURAS EM CAMPO.....	34
3.4.1 Produção das Mudas.....	34
3.4.2 Preparo do Solo.....	35
3.4.3 Instalação do Sombreamento (sombrites).....	35
3.4.4 Montagem do Sistema de Irrigação.....	36

3.4.5 Semeadura do Coentro e Transplântio das Mudas de Alface.....	36
3.4.6 Tratos Culturais: Capinas e Controle de Pragas e Doenças.....	37
3.4.7 Colheita.....	38
3.5 VARIÁVEIS ANALISADAS.....	38
3.5.1 Altura média das plantas de coentro.....	38
3.5.2 Massa fresca.....	39
3.5.3 Massa seca.....	39
3.5.4 Percentagem de massa seca.....	39
3.5.5 Produtividade média das culturas.....	39
3.5.6 Desempenho do sistema de irrigação.....	40
3.6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.....	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1 MASSA FRESCA.....	41
4.2 MASSA SECA.....	42
4.3 PERCENTAGEM DE MASSA SECA.....	44
4.4 ALTURA DO COENTRO.....	47
4.5 PRODUTIVIDADE MÉDIA.....	47
4.6 COMPARAÇÃO DE UMIDADE: IRRIGAÇÃO VIA SIMAS X IRRIGAÇÃO POR PARÂMETROS VIA CLIMA.....	49
4.7 COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA: IRRIGAÇÃO VIA SIMAS X IRRIGAÇÃO POR PARÂMETROS VIA CLIMA.....	50
5 CONCLUSÕES.....	55
REFERÊNCIAS.....	56

1 INTRODUÇÃO

As tecnologias sociais desenvolvidas para convivência com o semiárido crescem e à medida que têm sua eficácia comprovada, elas fortalecem o homem do campo, garantindo, assim, uma melhor qualidade de vida (Souza *et al.*, 2016).

Uma das tecnologias que ajudam o homem do campo é a disponibilidade de conhecimento e de recursos que venham a permitir a prática de uma irrigação eficiente e, com isso, conseguir um incremento da produção agrícola. Porém, a grande dificuldade está na escassez dos recursos hídricos, principalmente nas regiões semiáridas.

A agricultura responde por cerca de 70% do consumo de água doce do mundo e também contribui para a poluição das águas devido ao uso de pesticidas e produtos químicos (ONU, 2017). Diante disto, é preciso promover métodos para que a agricultura utilize menos água e de forma mais eficiente.

O acesso e disponibilidade de água para famílias que residem nas regiões semiáridas do Brasil está aumentando a partir da captação, armazenamento e conservação da água da chuva, reutilização de águas residuárias, das políticas públicas, de projetos de pesquisa e extensão ou da ação de Organizações Não Governamentais (SOUZA *et al.*, 2016).

Além da escassez de água nas regiões áridas e semiáridas, a realização de irrigações ineficientes causa muitas vezes desperdícios elevados e acaba elevando os custos de produção, pois há também um custo maior com energia elétrica ou com combustível para motores bomba à base de combustíveis fósseis.

Para o manejo adequado da água de irrigação, é necessário o controle diário da umidade do solo e/ou da evapotranspiração, durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura. Para tanto, é indispensável o conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima, para determinar o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada (Marouelli; Silva; Da Silva, 1996).

As questões sobre o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar são básicas no manejo da água de irrigação. O manejo deve ser feito visando a fornecer água às plantas em quantidade suficiente para prevenir o estresse hídrico, favorecendo incremento de produtividade e qualidade da produção, e minimizar o desperdício de água, a lixiviação de nutrientes e a degradação do meio ambiente (Marouelli *et al.*, 2011).

O controle automático de sistemas de irrigação, sem a necessidade de intervenção do homem, tem sido investigado com muito empenho. Sensores eletrônicos ou mesmo tensiômetros equipados com transdutores eletrônicos de tensão são utilizados para automação

de sistemas de irrigação baseados no potencial mátrico da água no solo. Os inconvenientes desses sistemas é que eles ainda são excessivamente caros, envolvem complicados sistemas eletrônicos de controle, de difícil manejo e manutenção (Klein, 2001).

Com o avanço da tecnologia, está cada vez mais possível o desenvolvimento de sistemas automatizados e inteligentes para a realização de irrigações eficientes. Essa busca é contínua e sempre com o objetivo de melhorar os meios que facilitem a utilização consciente dos recursos finitos do planeta, como é o caso da água.

O Sistema Inteligente de Manejo da Água no Solo (SIMAS) foi idealizado para funcionar em duas partes, no qual uma é a “Estação de Coleta de Dados” (ECD) e a outra é a “Estação Central de Processamento de Dados” (ECPD), onde o sistema foi baseado nas necessidades dos irrigantes do semiárido nordestino, o qual incluiu as seguintes competências: data e hora; momento e quantidade de irrigação; armazenamento de dados; informação remota; conectividade com a internet (Santos, 2021).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo avaliar a importância do SIMAS na realização do manejo da irrigação em duas culturas de hortaliças, coentro (*Coriandrum sativum* L.) e alface crespa (*Lactuca sativa* L.). Além disso, avaliar a real necessidade de irrigação através do uso de indicadores da umidade do solo (via SIMAS) e indicadores por dados climáticos (via clima), para obtenção da resposta correta sobre quando e quanto irrigar, buscando-se um manejo eficiente da irrigação e, conseqüentemente, produção e economia de recursos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO SEMIÁRIDO

A água é o principal recurso necessário à vida no planeta Terra. Sua disponibilidade afeta diretamente as relações ecológicas e econômicas mundial. Cada vez mais, se torna um recurso escasso e valioso quando a água é de qualidade. Consequentemente, em todo o planeta, vêm aumentando as discussões com relação à eficaz utilização desse recurso finito, sendo indispensável o conhecimento das características locais do ambiente e outras informações relevantes para um uso sustentável da água.

2.1.1 Caracterização do semiárido

Segundo Ezzahar *et al.* (2007), as regiões áridas e semiáridas do globo constituem aproximadamente um terço da superfície da Terra. O Semiárido brasileiro é composto por 1262 municípios, dos estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia e Minas Gerais (IBGE, 2018). Nessas áreas, a escassez de recursos hídricos é um dos principais entraves para o desenvolvimento agropecuário (Descheemaeker *et al.*, 2010).

Os critérios para a delimitação do Semiárido brasileiro foram: a precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm; índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50 e; percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano. A competência para fixar os critérios técnicos e científicos para delimitação do Semiárido foi dada ao Conselho Deliberativo - CONDEL da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE pela Lei Complementar n. 125, de 3 de janeiro de 2007, que o fez por meio das Resoluções do Conselho Deliberativo da Sudene de n. 107, de 27 de julho de 2017, e de n. 115, de 23 de novembro de 2017 (IBGE, 2018).

Com uma precipitação anual máxima de 800 mm, insolação média de 2.800 h.ano⁻¹, temperaturas médias anuais de 23 a 27 °C, evaporação média de 2.000 mm ano⁻¹ e umidade relativa do ar média em torno de 50%, o semiárido brasileiro, caracteristicamente apresenta forte insolação, temperaturas relativamente altas e regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações em um curto período, em média, de três a quatro meses, apresentando volumes de água insuficientes em seus mananciais para atendimento das necessidades da população (Da Silva *et al.*, 2010). Esse conjunto de características contribui para um balanço hídrico negativo, ampliando a restrição hídrica na região (Moura *et al.*, 2007).

A seca é um fenômeno natural, provocado por um extremo climático originado pelo déficit de precipitação, que resulta na perda da capacidade de armazenamento de águas dos açudes, sendo, as áreas rurais do semiárido as mais vulneráveis e afetadas, gerando danos sociais e econômicos. Dentre as medidas mitigadoras relacionadas às secas no semiárido destaca-se o uso de águas subterrâneas. O mapeamento das áreas de risco de insegurança hídrica constitui importante instrumento para os gestores públicos nas tomadas de decisões (Cajazeiras, 2020).

2.1.2 Utilização dos recursos hídricos

O consumo de água doce aumentou seis vezes no último século e continua a avançar a uma taxa de 1% ao ano, fruto do crescimento populacional, do desenvolvimento econômico e das alterações nos padrões de consumo. A qualidade da água diminuiu exponencialmente e o estresse hídrico, mensurado essencialmente pela disponibilidade em função do suprimento, já afeta mais de dois bilhões de pessoas. Muitas regiões enfrentam a chamada escassez econômica da água: ela está fisicamente disponível, mas não há a infraestrutura necessária para o acesso, em um horizonte cuja previsão de crescimento no consumo é de quase 25% até 2030 (ONU, 2021).

Na agricultura, a irrigação tem sido utilizada para proporcionar o incremento da produção de alimentos. No entanto, essa técnica tem provocado inúmeros problemas ambientais, como a salinização de solo e de aquífero e declínio da biodiversidade, o que implica um conflito entre o incremento da produção agrícola – como forma de melhorar a produtividade da água e mitigar a escassez hídrica – e a preservação do meio ambiente (Soares; Campos, 2013).

Por meio dos conhecimentos acumulados sobre os recursos naturais do semiárido brasileiro, principalmente no que se refere ao total anual das chuvas ocorridas, da Silva *et al.* (2010) concluem que não é a falta de chuvas a responsável pela oferta insuficiente de água na região, mas sua má distribuição, associada a uma alta taxa de evapotranspiração, assim como a falta de políticas públicas para disponibilizar os meios e orientar a população para captar e armazenar a água das chuvas para ser utilizada no período seco.

A irregularidade no regime pluviométrico, acompanhada pelo intenso calor, resulta em elevadas taxas de evapotranspiração potencial e real, as quais reduzem a umidade do solo e a quantidade de água armazenada nos reservatórios. Em outras palavras, a precipitação reduzida e irregular e as altas taxas evapotranspiratórias durante o ano resultam em um balanço hídrico negativo (Da Silva *et al.*, 2010).

Nas últimas décadas, na tentativa de promover um modelo de agricultura com elevada produtividade no semiárido, sucessivos governos têm investido na infraestrutura hídrica para a criação de diversos distritos de irrigação na região (De Castro, 2018).

Ainda segundo De Castro (2018), os recursos hídricos da agricultura irrigada poderiam ser acessados por meio das fontes de água subterrâneas. Porém, para avaliar o potencial de extração de água subterrânea no semiárido é preciso analisar a estrutura geológica regional, basicamente dividida em duas estruturas geológicas: o embasamento cristalino (cerca de 70% do território do semiárido) e as bacias sedimentares (que apresentam os melhores aquíferos).

O uso da água em agricultura irrigada no Semiárido brasileiro tem ocorrido desde a pequena propriedade agrícola, com alguns poucos hectares, até a propriedade agrícola empresarial, com áreas superiores a 100 ha. Em áreas para produção agrícola de maior extensão, principalmente as inseridas nos perímetros irrigados ou próximas ao rio São Francisco, a agricultura irrigada no Semiárido brasileiro tem causado, a partir do fim da década de 1960, grandes mudanças no uso da terra (Basso *et al.*, 2010).

Muitas são as vantagens de se fazer o manejo correto da irrigação, ações que beneficiam diretamente o produtor e o meio ambiente. Aumentar a eficiência do uso da água na irrigação é a única maneira de diminuir a retirada dos recursos hídricos das fontes naturais, além de atenuar a lixiviação de produtos químicos para o lençol freático (Camargo, 2016).

Em geral, existe retorno financeiro decorrente do uso intensivo da água na agricultura irrigada, porém o destino de elementos presentes na água de drenagem, provenientes de fertilizantes e outros insumos utilizados nos mais diversos sistemas de produção agrícola, exige mais conhecimento sobre as condições edafoclimáticas do Semiárido (Basso *et al.*, 2010).

2.2 MANEJO DA ÁGUA DA IRRIGAÇÃO

A irrigação é uma técnica milenar, que tem como objetivo propiciar um volume de água adequado às culturas, para que estas expressem ao máximo seu potencial genético de desenvolvimento e produção. O uso desta técnica veio transformar regiões anteriormente impróprias à produção agrícola em celeiros de alimentos, como, por exemplo, as regiões áridas e semiáridas de países como Israel, Espanha e Estados Unidos. Na região semiárida do Brasil, os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, que se destacam na agricultura irrigada, tiveram seu desenvolvimento impulsionado pelo uso desta técnica (Basso *et al.*, 2010).

A preocupação com o uso eficiente da água na agricultura irrigada cresce proporcionalmente com o aumento da escassez de água de boa qualidade, agravando a competição entre os diversos setores que dela dependem (Marouelli *et al.*, 2011).

O manejo adequado da irrigação não pode ser considerado uma etapa independente dentro do processo de produção agrícola, tendo, por um lado, o compromisso com a produtividade da cultura explorada, por outro o uso eficiente da água, promovendo a conservação do meio ambiente (Camargo, 2016).

No Semiárido brasileiro, as áreas com culturas irrigadas estão se expandindo rapidamente sobre a vegetação natural e o consumo hídrico das culturas é elevado, devido a uma grande disponibilidade térmica ao longo do ano (Basso *et al.*, 2010).

Para uma adequada aplicação de água via irrigação, é necessário adotar um adequado manejo, seja ele baseado na estimativa de armazenamento da água no solo, relacionado aos fatores climáticos ou relativos à planta (Buske *et al.*, 2013).

2.2.1 Teor de água no solo

O teor de água no solo é um dos mais significativos elementos que influenciam as taxas de crescimento e desenvolvimento das plantas. Não havendo reposição de água pela chuva ou irrigação, a redução do teor de água no solo para níveis críticos, por longo tempo, acarretará alterações e desordens de natureza fisiológica com reflexos na anatomia, fenologia e crescimento das plantas e, por extensão, na produtividade e na qualidade do produto colhido (Marouelli *et al.*, 2011).

Por outro lado, o excesso de água é tão prejudicial para a lavoura quanto a escassez, pois quando se aplica mais água que o necessário aumenta o risco de se lixiviar nutrientes que deveriam estar sendo aproveitados pela planta, causando diretamente queda da produção e consequentemente redução da receita líquida (Camargo, 2016). Para Marouelli *et al.* (2011), a decisão de irrigar está atrelada à quantidade de água que pode ser armazenada no solo, e em intervalos suficientes para atender à demanda de água das plantas.

A umidade do solo indica a quantidade de água presente no solo, sendo uma informação indispensável para saber a quantidade de água necessária a ser aplicada ao solo para que este atinja sua capacidade máxima de retenção. Além disso, cada solo possui sua característica própria, ou seja, alguns tipos de solos retêm uma quantidade maior de água do que outros. Por exemplo, solos arenosos tendem a reter menos água, pois ocorre uma infiltração mais rápida do que em solos argilosos. Portanto, a quantidade de água a ser aplicada dependerá da umidade presente no solo, da retenção máxima, da necessidade hídrica da cultura, além de outros critérios como condições climáticas.

Segundo Bernardo, Soares e Mantovani (2005), o teor de água no solo pode ser determinado pela razão entre a massa de água e a massa de solo seco, ou seja, a umidade do solo consiste na razão entre o volume de água e o volume de solo seco.

2.2.2 Irrigação por parâmetros via solo

O método de irrigação por parâmetros via solo usa as informações do teor de água existente no solo na profundidade radicular das plantas.

De acordo com Marouelli *et al.* (2011), a quantidade de água que deve ser aplicada por irrigação é comumente a necessária para que o solo retorne à sua condição de capacidade de campo na camada correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura. Os mesmos autores ainda afirmam que a irrigação por parâmetros via solo é ideal para definir o momento de irrigar, possibilitando também a determinação da quantidade de água a ser aplicada ao solo.

A irrigação por parâmetros via solo é realizada a partir de dados de umidade aparente do solo, medidos através de métodos experimentais ou por sensores de umidade do solo. A lâmina de água a ser aplicada ao solo pode ser calculada utilizando a Equação 1 (Marouelli *et al.*, 2011).

$$L = \frac{(U_{cc} - U_{at}) * Z}{(1 - Fl)} \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que,

U_{cc} é a capacidade de campo;

U_{at} é a umidade atual;

Z é a profundidade efetiva da raiz da cultura; e

Fl é o fator de lixiviação.

2.2.3 Irrigação por parâmetros via clima

No manejo de irrigação por parâmetros via clima, a reposição de água é realizada após a determinação da evapotranspiração da cultura a partir de dados climáticos. Camargo (2016) salienta que o conhecido da evapotranspiração diária de cada cultura é muito importante para acionar a irrigação e disponibilizar somente a quantidade exata de água que o cultivo precisa receber a cada dia. Para calcular a evapotranspiração, é necessário o acesso a informações climáticas fornecidas por meio de estações meteorológicas.

Para Marouelli *et al.* (2011), os indicadores de irrigação por parâmetros via clima necessitam de informações referentes a capacidade de retenção de água pelo solo, pois esses parâmetros tornariam o manejo da irrigação via clima mais eficiente.

2.2.4 Fator lixiviação

Conforme já relatado nesse trabalho, a deficiência hídrica causa uma série de desequilíbrios nas atividades fisiológicas das plantas, o que resulta em diminuição do crescimento das células e, conseqüentemente, redução do crescimento e desenvolvimento das plantas. Porém, segundo Lopes, Guerrini e Saad (2007), é necessário se tomar cuidado com a utilização excessiva da irrigação, pois pode ocorrer a lixiviação de nutrientes, que também pode prejudicar o crescimento das plantas.

A lixiviação consiste no deslocamento de materiais solúveis na matriz do solo pelo efeito da água que infiltra no solo em direção ao lençol freático. Oliveira *et al.* (2011) observaram que o aumento da disponibilidade hídrica não garantiu o aumento da produção e, portanto, não se justificaria a aplicação de elevadas quantidades de água na irrigação, pois podem ocorrer prejuízos à cultura devido ao excesso de água no solo, além de ocasionar a lixiviação de nutrientes para profundidades que dificultem sua absorção pelas raízes.

Outro problema bastante encontrado nas regiões semiáridas é a salinidade da água e do solo, que ocorre com mais frequência em regiões áridas e semiáridas, como é o caso do Nordeste brasileiro, pois a lixiviação e o transporte de sais solúveis são restritos devido às baixas precipitações e às altas taxas de evaporação, sendo esse processo acelerado usualmente pelas irrigações irracionais e pela drenagem deficiente (Gheyi, 2000).

Dentro desse contexto, a lixiviação pode ser maléfica quando ocorre a perda de nutrientes a profundidades além da zona radicular, porém pode ser também benéfica quando o solo possui uma salinidade prejudicial à planta e a realização de uma irrigação com quantidades elevadas de água (de qualidade) pode servir como uma “lavagem” desse solo, podendo-se reduzir sua salinidade e, portanto, seria necessário um estudo *in loco* sobre o solo, a água e a cultura em questão.

2.3 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

O monitoramento da umidade do solo possibilita aplicações controladas e pontuais de água, respondendo o quanto e quando irrigar em função das necessidades hídricas das culturas, sendo cada vez mais fundamental na agricultura. Inúmeros são os métodos utilizados para a

determinação do conteúdo de água no solo, sendo que para o manejo da irrigação é necessária uma determinação rápida do teor de água no solo (Buske *et al.*, 2013).

A determinação da umidade do solo em campo pode ser realizada localmente por meio de métodos não destrutivos e indiretos, que garantem um mínimo de perturbação no ambiente para que a medição não seja afetada pelo procedimento adotado (Quintino *et al.*, 2015).

2.3.1 Método-padrão gravimétrico

O método de determinação da umidade do solo considerado padrão consiste na extração de água de uma amostra de solo por meio de calor, utilizando-se estufas elétricas, determinando-se, assim, a umidade gravimétrica do solo pela relação entre a massa de água e a massa de solo seco (Klein, 2008). Santos *et al.* (2006) observam que esse é um método destrutivo, direto e muito preciso.

Segundo Buske *et al.* (2014), o método gravimétrico é vantajoso por sua praticidade e precisão, além de apresentar baixo custo e não necessitar de equipamentos sofisticados ou produtos químicos, como em outros métodos diretos de determinação de umidade do solo. No entanto, nesse método ocorre a destruição das amostras e a obtenção dos valores de umidade não é imediata, o que impossibilita a obtenção de umidade do solo em tempo real e o uso do método para fins de manejo da água de irrigação.

Em resposta a essas deficiências no monitoramento do solo, o uso de sensores eletromagnéticos (método indireto) apresenta-se como alternativa viável, uma vez que estes podem fornecer e registrar valores atuais de conteúdo de água de forma não destrutiva e instantânea (Gomes *et al.*, 2017; Pizetta *et al.*, 2017). Marouelli e Guimarães (2006) relatam que, por ser um método direto, o método gravimétrico serve de referência para validação e calibração de todos os outros métodos indiretos de mensuração de umidade do solo.

2.3.2 Tensiômetro

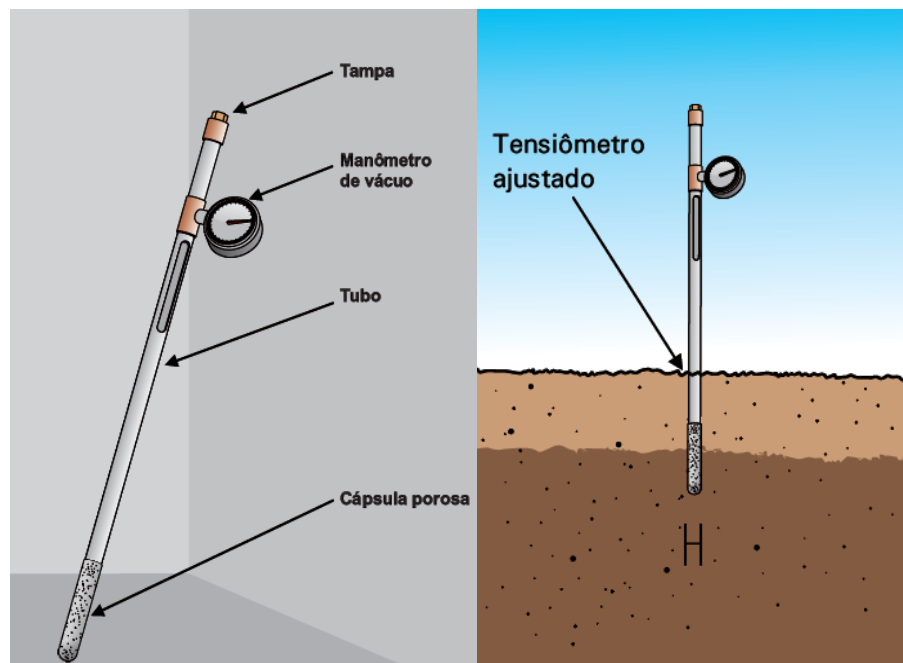
O tensiômetro é usado para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo, tensão essa conhecida por potencial matricial. Dispondo-se da relação entre o conteúdo de água no solo e a tensão em que ela se encontra, pode-se estabelecer indiretamente o teor de água no solo a partir das leituras desse aparelho. O seu uso correto no manejo da irrigação pode determinar reduções de lâmina de água entre 25% e 40%, em comparação ao manejo sem critérios (Azevedo; Da Silva, 1999). Segundo Campbell e Mulla (1990), o tensiômetro é talvez o mais utilizado de todos os métodos disponíveis para conhecimento dos potenciais de água no solo.

Nesse sentido, a utilização de tensiômetros para determinar o momento exato de iniciar a irrigação, sem desperdício de água e energia, apresenta-se como uma ferramenta em sistemas de produção com adoção de alta tecnologia, máxima produção, com menores custos e preservação dos recursos hídricos (Klein, 2001).

Azevedo; da Silva (1999) explicam ainda que o tensiômetro funciona de maneira bastante simples: após o equipamento estar completamente cheio de água e em solo saturado, nenhuma água passará pela cápsula. Conforme o solo vai secando, a água vai saindo do tensiômetro através da cápsula porosa, criando um vácuo no interior do tubo, que equivale a tensão da água no solo. O tamanho desse vácuo é medido com um manômetro conectado ao tensiômetro. Quando ocorre uma chuva ou irrigação, o teor de água no solo é aumentado e a água passa do solo para o tensiômetro através da cápsula. Dessa forma, as leituras de vácuo ficam mais baixas, o que indica a existência de um solo úmido naquele momento.

Para instalar o tensiômetro, é necessário inserir o tubo no solo até a profundidade em que a cápsula cerâmica esteja na altura do centro da zona radicular da planta. O tubo é preenchido com água e o dispositivo é vedado. Um vacômetro ou transdutor é conectado ao tensiômetro para medir a tensão que a água se preense ao solo através da correlação com o vácuo que se forma dentro do tubo do tensiômetro (Figura 1). Um valor numérico do vácuo é indicado ou transformado em um sinal elétrico para ser encaminhado para um microcontrolador.

Figura 1: Tensiômetro: à direita, tensiômetro e seus componentes; à esquerda, tensiômetro instalado.



Fonte: Lopes Filho, EMBRAPA (2011).

Santos (2021) cita algumas vantagens do uso do tensiômetro, tais como: baixo custo, precisão aceitável e não dependências de sistemas complexos para realizar a leitura. Apesar disso, possui algumas limitações e restrições como, por exemplo, risco de imprecisões nas leituras por vazamentos provocados pela má vedação. Outro problema pode ocorrer devido às variações de temperatura ao longo do dia, pois as leituras são diretamente influenciadas por essas variações.

2.4 IRRIGAÇÃO DE HORTALIÇAS FOLHOSAS

O cultivo de hortaliças folhosas ocorre em todos os estados brasileiros e depende diretamente da adequada disponibilidade hídrica. A produção é sempre impulsionada com técnicas e tecnologias que objetivam tornar a atividade rentável e cada vez mais produtiva. Uma dessas tecnologias é a irrigação, que precisa ser cada vez mais eficiente, conforme já discutido nesta dissertação.

Os diversos sistemas de irrigação disponíveis dão aos produtores uma moderna tecnologia de produção agrícola que, juntamente com o manejo equilibrado de adubação e os tratos culturais, reúne as condições para que as culturas expressem todo o seu potencial produtivo (BRAGA, 2017).

2.4.1 Manejo da irrigação de hortaliças

O manejo de irrigação em cultivo de hortaliças é uma prática ainda pouco usada principalmente devido a dois fatores: a falta de assistência técnica especializada e o preço da água relativamente baixo, quando comparado a outros insumos como adubos, defensivos e mão de obra. Sendo assim, o uso eficiente da água tem de nortear todos os processos que a utilizam, não somente no meio rural, mas também no setor industrial e nas cidades (Braga, 2017).

Em geral, as hortaliças têm seu desenvolvimento intensamente influenciado pelas condições de umidade do solo. A deficiência de água é, normalmente, o fator mais limitante para a obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade, mas o excesso também pode ser prejudicial. A reposição de água ao solo por meio da irrigação, na quantidade e no momento oportuno, é decisiva para o sucesso da horticultura (Marouelli; Silva; Da Silva, 1996).

A importância da irrigação para a produtividade das culturas vem sendo mostrada em diversos trabalhos científicos e, às vezes, chega a quadruplicar a produtividade em relação ao período da seca, como o caso do arroz e do café. Para hortaliças, a irrigação é essencial para obter maior produtividade e produtos com qualidade superior, além de possibilitar o cultivo em

época fora da safra normal, obtendo maiores ganhos monetários. Essa prática também garante a oferta de alimentos em épocas de escassez de chuvas (Braga, 2017).

Se a precipitação natural for insuficiente para manter a umidade do solo em níveis satisfatórios, a água perdida por evapotranspiração deve ser reposta por meio da irrigação, ressaltando-se que, antes de decidir por esta técnica, o produtor deve verificar se seu uso é economicamente viável (Segovia; Lopes Filho, 2004).

De maneira geral, as hortaliças apresentam menor consumo no início de seu desenvolvimento, aumentando até um ponto máximo, no qual a deficiência de água prejudica significativamente a formação de frutos, folhas, caules, raízes, rizomas ou tubérculos e posteriormente diminui o consumo novamente. Mesmo em período chuvoso, algumas espécies exigem irrigações complementares frequentes, devido à irregularidade das chuvas. Os sistemas de irrigação utilizados na olericultura podem ser por gotejamento, por meio de aspersores ou manual em pequenas áreas, utilizando regadores ou mangueiras de jardim e por meio do sistema de pivô central, utilizado em grandes áreas (SEBRAE, 2015).

2.4.2 Métodos de irrigação de hortaliças

Os métodos mais comumente empregados para o manejo da irrigação são os baseados no turno de rega calculado, no balanço e na tensão de água no solo. O método do turno de rega calculado, apesar de pouco criterioso, é um dos mais utilizados. Os métodos do balanço e da tensão de água no solo são mais eficientes e racionais para o controle da irrigação, além de relativamente práticos (Marouelli; Silva; Da Silva, 1996).

Dentre os vários tipos de sistemas de irrigação, na produção de hortaliças folhosas se destaca o sistema de gotejamento e microaspersão.

O gotejamento é um método de irrigação localizada, de modalidade fixa, cujos sistemas têm como principal componente os gotejadores, desmontáveis ou não, que podem ser instalados em tubulação de polietileno de forma *on-line* (sobre o tubo) ou *in-line* (inseridos na tubulação). Os gotejadores são dispositivos que lançam a água em forma de gotas, continuamente, na região das raízes e, para isso, são dotados de orifícios cujos diâmetros têm dimensões milimétricas. Isso exige que a água, antes de ser lançada na tubulação do sistema, seja filtrada a fim de evitar o entupimento dos orifícios (Segovia; Lopes Filho, 2004).

Em sua publicação, Segovia e Lopes Filho (2004) também mencionam como vantagens do sistema de gotejamento: a menor perda de água por evaporação, percolação e escoamento superficial; a não interferência do vento; a menor disseminação de fungos; a maior facilidade para distribuição de fertilizantes, inseticidas e fungicidas na água de irrigação; a adaptação a

diferentes solos e topografias; a menor variação nos níveis de umidade no solo, frutos mais uniformes, maior produtividade e; uma eficiência da irrigação de até 95%.

A aspersão é o sistema de irrigação mais usado para cultivar hortaliças no Brasil, seguido pela irrigação localizada e, por último, sistemas de irrigação por superfície principalmente por sulcos. Independentemente do sistema adotado e do seu porte, ele deve ser dimensionado por técnicos capacitados e credenciados na área (Braga, 2017).

O termo microirrigação compreende os sistemas de irrigação por gotejamento, microaspersão e similares. Os sistemas de microirrigação possuem características peculiares quanto à determinação das necessidades hídricas e ao processo de infiltração da água no solo. Por serem sistemas fixos, a água pode ser aplicada de forma contínua ou intermitente. Esta característica é especialmente vantajosa em solos arenosos e de clima árido ou semiárido, pois propicia condições de alta umidade na zona radicular das plantas, reduzindo até mesmo problemas de salinidade do solo (Marouelli; Silva; Da Silva, 1996).

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em dois experimentos em momentos diferentes: no primeiro experimento, foi utilizada a cultura do coentro (*Coriandrum sativum* L.), sendo realizado a partir do final de outubro de 2020 até o início de dezembro do mesmo ano (Experimento I); no segundo experimento, foi utilizada a cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), sendo conduzido no período de março de 2021 a maio do mesmo ano (Experimento II). Nos experimentos de campo, foi realizada a validação do Sistema Inteligente de Manejo da Água no Solo (SIMAS) em áreas de produção de coentro e alface.

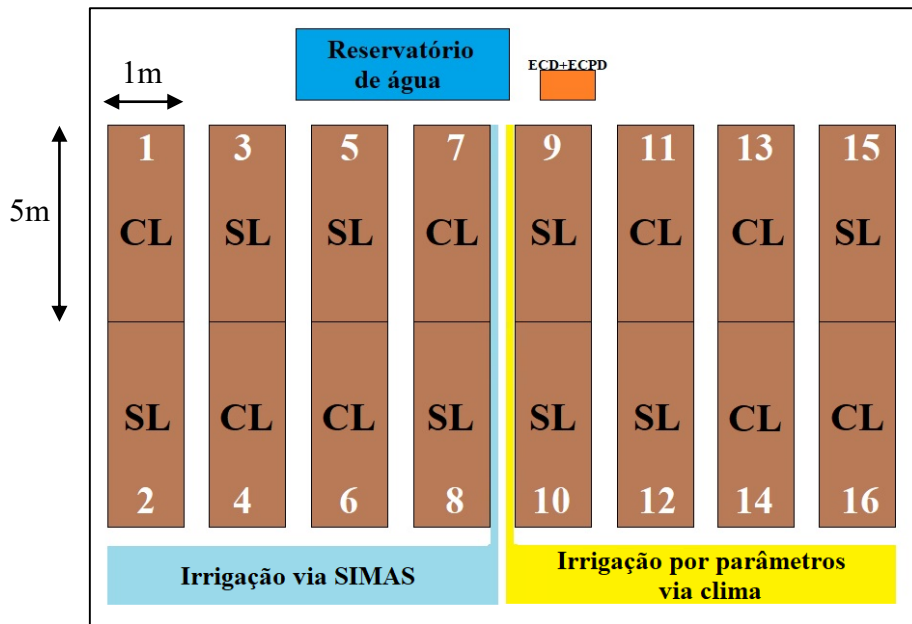
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Os dois experimentos foram conduzidos em área rural no sítio Riacho do Salgado, localizado no município de São João do Sabugi-RN, sob as coordenadas geográficas de referência 6°42'04.8"S e 37°12'31.8"W. São João do Sabugi-RN é localizado na região do Seridó, a uma distância de 293 quilômetros de Natal, capital do Rio Grande do Norte. O clima é semiárido, com estação chuvosa de verão e outono, o que ocorre entre fevereiro e maio.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Foram realizados dois experimentos com culturas diferentes, conforme descrito anteriormente. Para ambos os experimentos, foram implantados dois ensaios contidos em delineamento inteiramente casualizado. Os dois ensaios foram instalados um ao lado do outro, para facilitar a montagem do sistema de irrigação. Um dos ensaios constituiu o manejo da irrigação via SIMAS e o ensaio do lado constituiu o sistema de irrigação por parâmetros via clima. Os tratamentos consistiram na interação entre o método de manejo da irrigação (via SIMAS e via clima) e o fator lixiviação (Com fator Lixiviação de 10% e Sem fator Lixiviação), totalizando quatro tratamentos. Cada tratamento foi composto por quatro repetições, totalizando 16 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída por 5m² de canteiro, e cada canteiro correspondeu a duas parcelas, conforme ilustrado na figura 2.

Figura 2: Croqui da área experimental.



CL = Com fator Lixiviação de 10%; SL = Sem fator Lixiviação.

Fonte: O autor (2021).

3.3 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO

A umidade do solo é um parâmetro que indica a quantidade de água presente no solo. Essa informação serve de base para saber a quantidade de água que deve ser aplicada ao solo para que este atinja a sua capacidade máxima de retenção ou atinja outra quantidade de água a fim de executar uma irrigação eficiente na cultura de interesse.

A mensuração da umidade do solo foi realizada por sensores (tensiômetros) que fazem parte do Sistema Inteligente de Manejo da Água no Solo (SIMAS), idealizado e calibrado conforme Santos (2018) e Santos (2021), em seus trabalhos de conclusão de cursos.

3.3.1 Simas

O Sistema Inteligente de Manejo da Água no Solo funciona em duas partes, uma é a Estação de Coleta de Dados (ECD) e a outra é a Estação Central de Processamento de Dados (ECPD). A ECD é instalada junto à plantação para mensurar os parâmetros como a umidade do solo, que são essenciais para realizar a irrigação e transmitir para a ECPD. Essa recebe esses dados, processa as informações por meio de um algoritmo, detecta possíveis anomalias do sistema e toma a decisão da irrigação.

Para o desenvolvimento do *hardware*, usou-se placa de prototipagem Arduino Uno, por meio de programação em *software* IDE Arduino. As conexões entre a placa e os periféricos

foram feitas utilizando *jumpers*. Os protótipos foram montados em *protoboard*, com o auxílio da placa Arduino Uno.

A ECD foi confeccionada com um microcontrolador Atmega 328, uma antena de rádio NRF24 (2.4 Ghz), um módulo de armazenamento de dados (micro SD) e um módulo relógio RTC DS 1307. Na ECPD, foi utilizado um microcontrolador Atmega 328, uma antena de rádio NRF24 (2.4 Ghz) e um módulo Wifi ESP 8266. Os circuitos das placas foram desenhados utilizando o *software* EASY EDA e fabricados na empresa JLCPCB.

O sistema foi programado para utilizar uma abordagem de controle em malha híbrida (que utiliza informações da saída do processo para alterar os parâmetros de entrada), e a quantidade de água aplicada foi controlada com base na vazão do sistema e tempo de funcionamento da bomba, calculado automaticamente pelo microcontrolador.

O SIMAS foi configurado para utilizar o tensiômetro em conjunto com um transdutor de pressão MPX5100DP para monitorar as condições hídricas.

3.3.1.1 Princípio de Funcionamento

O SIMAS inicia-se com a energização da placa. Após isso, ocorre a inicialização dos periféricos, em que o microcontrolador se comunica com o módulo RTC e o micro SD e realiza a leitura dos sensores e a filtragem digital (Média Móvel).

Em seguida, o microcontrolador verifica a comunicação com a unidade de memória externa, salva as informações e acende um LED na placa para informar o *backup* dos dados. Se acontecer algum fator externo ou interno que impeça o *backup*, o LED não acende para informar falha no sistema de *backup*.

Em sequência, o sistema avalia os níveis de umidade do solo. Se a umidade do solo for abaixo do nível ideal programado, o sistema calcula e aciona o tempo de irrigação (T_{irrig}) necessário para a reposição de água no solo.

O sistema calcula o T_{irrig} a cada 15 minutos, porém o acionamento da irrigação só é permitido num intervalo de no mínimo uma hora entre duas irrigações. Essa condição é necessária porque os sensores só irão identificar a água aplicada depois de certo tempo da aplicação. A infiltração da água até chegar à profundidade da cápsula não é instantânea. Se esse cuidado não fosse tomado, o sistema acionaria a irrigação várias vezes sem necessidade.

O sistema é programado para fazer as irrigações no período noturno das 20h00 às 5h00, para evitar instabilidades causadas por oscilação de temperatura e diminuir os custos de energia elétrica. O sistema atuou monitorando e salvando as informações de umidade do solo, 24 horas por dia durante todo o período dos experimentos.

3.3.1.2 Calibração dos sensores de umidade do solo

A calibração dos sensores de umidade do solo foi realizada utilizando-se correlação com o método padrão gravimétrico, ou seja, correlacionando as leituras emitidas pelos transdutores conectados a tensiômetros e leituras diretas dos valores de umidade do solo obtidos por meio de pesagens, em cinco estações de coleta de dados.

Para otimizar o processo de calibração, foram desenvolvidas balanças para conectar à estação de coleta de dados (ECD). Duas células de carga com capacidade de 20 kg e um amplificador de sinal HX711 constituíram cada balança. A calibração das balanças foi realizada em laboratório utilizando-se pesos de ferro fundido. Uma balança digital da marca Balmak[®] modelo ELP-6/15/30 com fundo de escala de 2g até 6 kg foi usada para determinação dos pesos verdadeiros admitidos para essas amostras.

As equações de calibração das balanças estão mostradas na tabela 1.

Tabela 1: Equações de calibração das balanças.

Equação de calibração	Índice de Correlação
Balança 01: $P = -1,5483x + 1,1725$	$R^2 = 1$
Balança 02: $P = -1,5472x + 0,2552$	$R^2 = 0,9999$
Balança 03: $P = -1,6076x - 0,6397$	$R^2 = 1$
Balança 04: $P = -1,535x - 1,0202$	$R^2 = 1$
Balança 05: $P = -1,5234x - 0,3451$	$R^2 = 1$

Fonte: O autor (2021).

Foram realizadas pesagens diárias de cada estação para a obtenção da umidade do solo nessas estações de coleta de dados, por meio de balanças digitais com capacidade para 40 kg, que foram conectadas a um painel com microcontrolador. Os valores das leituras emitidas pelos sensores (tensiômetros) do SIMAS juntamente com os valores da pesagem das estações foram obtidos automaticamente a cada 15 minutos e transmitidos ao microcontrolador para o processamento dos dados.

Para a montagem das estações de coleta, foi utilizado o solo representativo da área experimental, obtido a partir de amostras coletadas aleatoriamente, na camada de 0-40 cm no local onde o experimento de campo seria conduzido. O solo foi exposto ao sol para secagem e, posteriormente, peneirado com malha de 2 mm. Em seguida, o solo foi envasado em recipientes

de fundo furado, com capacidade volumétrica de 20 litros. Antes do envase, os recipientes foram preenchidos com uma camada de brita e uma tela de tecido TNT, para permitir a livre drenagem e evitar a perda de solo através dos orifícios no fundo do recipiente. A massa de solo adicionada em cada vaso foi de 18 kg e cada recipiente constituiu uma estação de coleta de dados.

Os vasos foram colocados em um tanque com água por 24 horas para que ocorresse a saturação das amostras de solo por meio de capilaridade. O tanque foi preenchido com água até que o nível da água fosse igual a 75% da altura do vaso. Após 14 dias da retirada dos vasos do tanque, foi verificado visualmente que as amostras de solo apresentavam características parecidas com a sua forma natural. Com as amostras apresentando condições ideais, foram instalados os tensiômetros a uma profundidade de 15 cm, tomando-se como referência o centro da cápsula porosa.

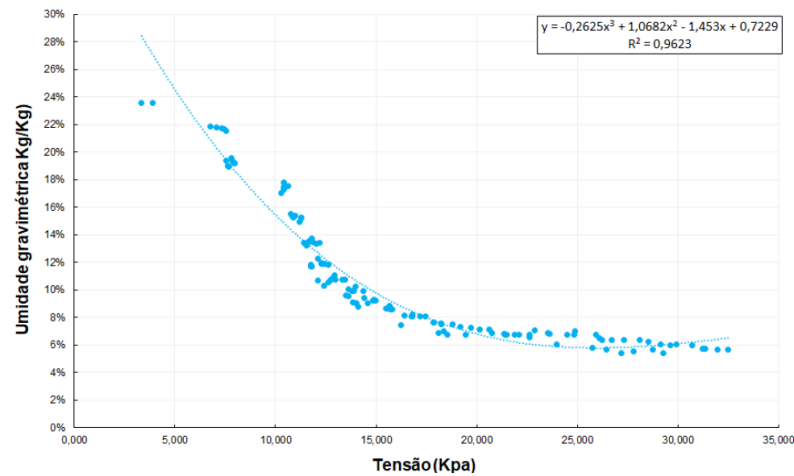
Após a instalação dos tensiômetros, as amostras foram novamente postas em recipientes com água para que as mesmas fossem saturadas por meio de acessão capilar durante 48 horas. Quando as amostras de solos se apresentaram completamente saturadas, foram cobertas com saco plástico para evitar a perda de água por evaporação. Em seguida, foram retiradas do tanque e colocadas em local protegido para que o excesso de água pudesse ser drenado.

Após 48 horas, foi verificado que os vasos pararam de drenar. Então, pôde-se pesar os vasos e determinar a capacidade de campo para o solo em estudo. Em seguida, foi retirada a proteção plástica para permitir que as amostras perdessem água por evaporação. O peso dos vasos e os sinais elétricos dos transdutores foi medido diariamente por 25 dias.

Para construir a equação de calibração, foram utilizados os dados coletados no período noturno de 20h00 às 5h00, pois nesse período foi verificada baixa oscilação nas leituras dos tensiômetros, em virtude da influência da temperatura. Esse horário também foi o escolhido para permitir o SIMAS realizar as irrigações.

Com o resultado dos dados coletados durante a calibração, foi possível obter um gráfico com a curva de calibração. Cada ponto do gráfico é o resultado da média dos cinco sensores no intervalo de uma hora. A aquisição dos dados, tanto do sinal dos tensiômetros quanto o peso, foi iniciada logo após a retirada das amostras da água. Após o início da drenagem, tem-se uma estabilização dos valores próximos a 22% de umidade, correspondendo, portanto, à capacidade de campo do solo em estudo. A capacidade de campo foi determinada após 48 horas do início do experimento, suficiente para que o excesso de água das amostras fosse drenado. A seguir, está apresentado o gráfico da curva de calibração dos sensores do SIMAS (Figura 3).

Figura 3: Curva e equação de calibração dos sensores do SIMAS.

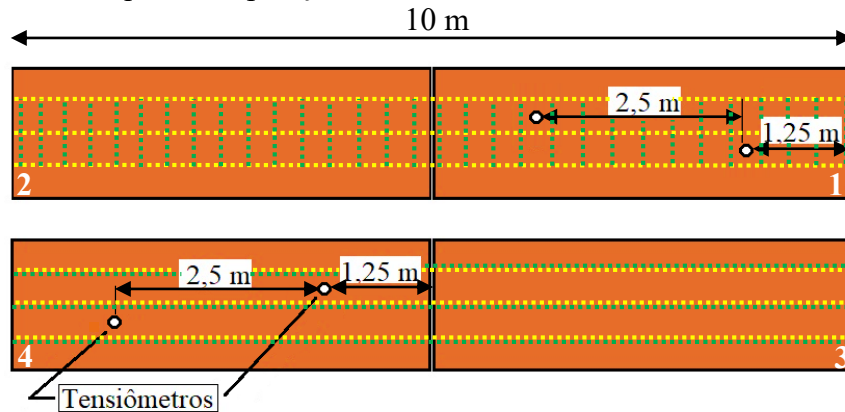


Fonte: Santos (2021).

3.3.1.3 Instalação em campo

No local dos experimentos, houve disponibilidade de energia elétrica, solo apropriado para a formação dos canteiros e uma fonte de água apropriada para a irrigação das plantas. Foi instalado o motor bomba de $\frac{1}{2}$ CV de potência, responsável por bombear a água da irrigação. Foram construídos 08 (oito) canteiros nas dimensões 1x10x0,3m para alocação das plantas. Em seguida, o sistema de irrigação por gotejamento foi instalado nos canteiros. Entre a fonte de água com motor bomba e os canteiros com as plantas, foi instalado o SIMAS, responsável por monitorar a umidade do solo por meio dos sensores instalados nos canteiros (tensiômetros) e realizar a irrigação quando necessária através dos microcontroladores e do próprio sistema de irrigação. O sistema também foi programado para fazer as irrigações do manejo por parâmetros via clima, aplicando a quantidade de água programada conforme o calendário de irrigação de cada cultura, sem levar em consideração a umidade do solo nesse tipo de manejo (via clima).

Para os dois experimentos, foram instalados 16 tensiômetros distribuídos em oito parcelas. Assim, instalou-se dois tensiômetros nas parcelas 1, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 16. Os tensiômetros foram posicionados entre duas linhas gotejadoras e entre duas linhas de plantio (Figura 4). Dessa forma, foi evitada a presença de gotejadores e plantas em um raio mínimo de 10 cm de cada tensiômetro, a fim de diminuir o risco de erros de leitura dos sensores. Na Figura 4, as linhas tracejadas de cor amarela representam as linhas gotejadoras e as linhas tracejadas de cor verde representam as linhas de plantio. As parcelas 1 e 2 da ilustração a seguir representam as linhas de plantio do experimento com coentro, ao passo que as parcelas 3 e 4 representam as linhas de plantio do experimento com alface.

Figura 4: Esquema da posição dos sensores de umidade do solo em campo.

Fonte: O autor (2021).

O código do SIMAS foi modificado para atender à necessidade do local e da irrigação da cultura de coentro e posteriormente de alface. No local do experimento, não havia conexão com a internet, e os canteiros de produção de hortaliça eram próximos da residência do supervisor do sistema e da fonte de água. Por isso, a funcionalidade do SIMAS em realizar transmissão a longa distância e a conectividade com a internet foi temporariamente desativada, pois não necessitou de transmissão à longa distância para o acionamento da irrigação. Dessa forma, a placa ECD foi reprogramada para realizar a medição de umidade, analisar os dados e controlar o estado do motor da bomba.

3.3.1.4 Coleta dos Dados de Campo e Lâmina de Irrigação

Os parâmetros da irrigação que foram levantados em campo para serem programados no sistema podem ser observados na tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros iniciais para o controle de irrigação no SIMAS.

Parâmetros da irrigação	
Área irrigada (A)	80m ²
Vazão (Q)	960 L/h
Profundidade efetiva (Z)	150 mm
Capacidade de Campo (U_{cc})	0,22 Kg/Kg

Fonte: O autor (2021).

A quantidade de água aplicada é controlada com base na vazão do sistema e tempo de funcionamento da bomba, calculado automaticamente pelo microcontrolador. O SIMAS utiliza

os dados da Tabela 2 para calcular o tempo de irrigação através da Equação 2. O sistema mede a umidade atual do solo (U_{at}) e calcula o tempo necessário para repor a água no solo até atingir a capacidade de campo.

$$T_{irrig} = \left[\frac{(U_{cc} - U_{at}) * Z * A}{Q} \right] \quad \text{Eq. (2)}$$

O manejo da irrigação foi realizado de duas maneiras diferentes. Uma delas foi por meio do controle do SIMAS, que utiliza parâmetros da umidade do solo para aplicação de água de acordo com a necessidade. A segunda maneira foi a irrigação por indicativos via clima. O manejo via SIMAS foi feito de forma automática, onde as oito válvulas eletromecânicas foram usadas para direcionar o fluxo de água para cada parcela. As leituras de umidade aparente foram realizadas a cada 15 minutos, tendo todas as informações processadas pelo SIMAS, gerando informações essenciais ao controle da irrigação. As parcelas de 1 a 8 foram irrigadas de acordo com o manejo de irrigação via SIMAS, ao passo que as parcelas de 9 a 16 foram irrigadas de acordo com o manejo por indicativo via clima.

3.3.2 Método de Penman-Monteith

Estimativas precisas da evapotranspiração (ET) são essenciais para identificar as variações temporais sobre a necessidade de irrigação, melhorar a alocação dos recursos hídricos e avaliar o efeito do uso da terra e as mudanças na gestão do balanço hídrico (Ortega-Farias; Irmak; Cuenca, 2009).

Para estimar evapotranspiração de referência (E_{To}), o método de Penman-Monteith (FAO) foi escolhido por se aproximar da evapotranspiração do padrão grama nos locais avaliados e por apresentar superioridade em relação a outros métodos (Cai *et al.*, 2007; Gavilan; Berengena; Allen, 2007; Xing *et al.*, 2008), mesmo considerando que em condições climáticas especiais, pode levar a erros próximos a 30% (Widmoser, 2009). O método é baseado em processos físicos, incorporando parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos. Temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar são os principais elementos climáticos que afetam a evapotranspiração. Além desses, o tipo da cultura, a densidade de plantio, a variedade e a fase de crescimento também são fatores que afetam a evapotranspiração (Allen *et al.*, 1998).

O método de Penman-Monteith foi utilizado dentro da programação do *software* CROPWAT 8.0, na qual, por meio dos dados de entrada disponibilizados ao programa (dados

climáticos, dados sobre o solo e características da cultura), se obtém a evapotranspiração por meio da Equação 3.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

ET_o - evapotranspiração de referência (mm d^{-1});

R_n - saldo de radiação à superfície da cultura ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

G - densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$);

T - temperatura do ar a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$);

u_2 - velocidade de vento a 2 m de altura (m s^{-1});

e_s - pressão de vapor de saturação (kPa);

e_a - pressão parcial de vapor (kPa);

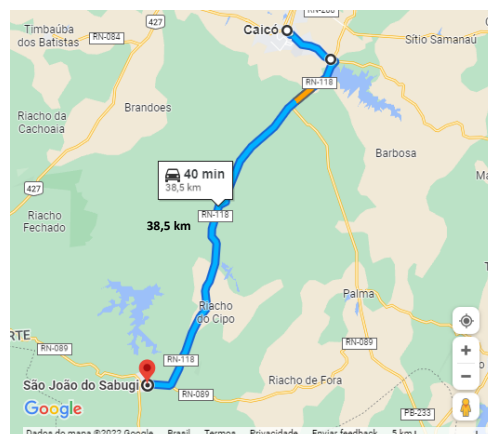
Δ - declividade da curva de pressão de vapor de saturação ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), e

γ - coeficiente psicrométrico ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3.3.3 Irrigação por parâmetros via clima

Para a determinação do calendário de irrigação por parâmetros via clima, foram utilizados dados meteorológicos históricos dos últimos dez anos (2010 a 2020), pois a estação meteorológica apresentava apenas este intervalo de dados sem falhas acentuadas. Na cidade onde os experimentos ocorreram, não havia disponibilidade de estação meteorológica para a coleta dos dados brutos, portanto esses dados foram coletados via internet provenientes da estação meteorológica da cidade de Caicó-RN administrada pelo INMET, com Latitude: 6.46°S , Longitude: 37.08°W e Altitude: 171 m.

Figura 5: Distância entre São João do Sabugi-RN e Caicó-RN.



Fonte: Google Maps (2021).

Utilizando a planilha do Microsoft Excel, realizou-se os ajustes e a média dos parâmetros de entrada do *software*: dados de temperatura máxima, temperatura mínima, umidade relativa, insolação, velocidade do vento e precipitação do período, acrescentando os dados de solo e da cultura do coentro e da alface disponíveis na literatura. Procedeu-se à determinação da necessidade hídrica do coentro para o período de 29 de outubro a 03 de dezembro de cada ano, quando o coentro seria cultivado. Em seguida, a determinação da necessidade hídrica da alface para o período de 09 de abril a 20 de maio de cada ano, quando a alface seria cultivada em campo após o transplântio.

Para determinação das necessidades hídricas do coentro e da alface, utilizou-se o *software* CROPWAT 8.0, cuja metodologia é baseada nas duas publicações da FAO da Série Irrigação e Drenagem, nº 33 e nº 56. Com o programa, é possível obter boa estimativa com dados históricos, com trabalhos publicados em periódicos com intervalo de coleta a partir de 10 anos. Vários trabalhos publicados utilizaram de forma semelhante o *software* citado para determinação de necessidade hídrica, tais como: Vozhehova *et al.* (2018); Surendran *et al.* (2015); Roja, Deepthi e Devender Reddy (2020). Portanto, o CROPWAT 8.0 apresenta eficiência para trabalhar com dados que apresentam falhas ou mesmo em estações com poucos anos de coleta e armazenamento dos dados.

Após isso, determinou-se a evapotranspiração de referência (ET_o). Os coeficientes de cultura (K_c) para o coentro e alface foram adotados com base nos trabalhos de Silva (2013) e da Silva *et al.* (2018), respectivamente. A necessidade hídrica das culturas foi determinada pela Equação 4.

$$ET_c = K_c * ET_o \quad \text{Eq. (4)}$$

Nas Tabelas 3 e 4, estão apresentadas as lâminas de irrigação aplicadas nos canteiros irrigados por indicativo via clima, para a cultura do coentro e da alface, respectivamente.

Tabela 3: Programação da irrigação por parâmetro via clima para o coentro.

Período (dias após o plantio)	K _c	ET _c (mm/dia)
1 – 7	0,80	6,15
8 – 16	0,96	7,29
17 – 26	1,03	7,79
27 – 33	0,96	7,14
34 – 36	0,83	6,05

Fonte: O autor (2021).

Tabela 4: Programação da irrigação por parâmetro via clima para a alface.

Período (dias após o transplântio)	Kc	ETc (mm/dia)
1 – 2	0.80	4,03
3 – 12	0.80	3,91
13 – 22	1.02	4,90
23 – 32	1.05	5,02
33 – 42	0.85	3,98

Fonte: O autor (2021).

3.4 CONDUÇÃO DAS CULTURAS EM CAMPO

Foram conduzidos dois experimentos de campo para avaliar como o sistema de monitoramento da umidade do solo e irrigação automática atuam sobre a eficiência do uso da água e sobre a produtividade de duas culturas, coentro e alface crespa. A instalação e condução dos experimentos ocorreram da seguinte maneira:

3.4.1 Produção das Mudas

Foram semeadas dez bandejas de polietileno com 200 células cada. A semeadura foi realizada utilizando-se sementes de alface crespa Elba peletizada tratadas com Thiram (dissulfeto tetrametil-tiuram, 1,5 g por kg de semente). As bandejas foram preenchidas com composto orgânico e, em seguida, semeadas com uma semente por célula a 0,5 cm de profundidade. As sementes foram cobertas com uma leve camada de composto orgânico sobre todas as bandejas, de forma a evitar excesso de cobertura e, consequentemente, a não germinação das sementes. Após a semeadura de todas as bandejas, elas foram bem irrigadas com cuidado para não descobrir as sementes e, em seguida, foram empilhadas em um local coberto com telhas, onde passaram a noite. No dia seguinte, as bandejas foram levadas para bancadas em uma estufa com sombreamento de 50%. As irrigações foram realizadas duas vezes ao dia, mantendo a umidade adequada ao desenvolvimento das mudas. As mudas foram transplantadas aos 30 dias após a semeadura (Figura 6).

Figura 6: Produção das mudas de alface.



Fonte: O autor (2021).

Para o experimento com o coentro, não foram produzidas mudas, pois as sementes foram semeadas diretamente nos canteiros no local do experimento.

3.4.2 Preparo do Solo

Com o uso de uma enxada manual, foram retiradas as plantas daninhas existentes na área e, em seguida, foram construídos oito canteiros nas dimensões 1x10x0,3m, cada um subdividido em duas parcelas. Os experimentos foram conduzidos de forma a se assemelhar ao máximo com as técnicas e manejos utilizados na agricultura familiar e orgânica, por isso não foram realizadas adubações químicas. Em ambos os experimentos, logo após a instalação dos tensiômetros, foi colocada camada de esterco bovino curtido de aproximadamente 5 cm de altura sobre as parcelas e, em seguida, parcialmente revolvido ao solo com uso de enxada manual, com cuidado para não danificar nem causar erros nos tensiômetros. Após o revolvimento do esterco em todos os canteiros, realizou-se irrigação para deixar a umidade do solo elevada. Os canteiros ficaram três dias em repouso até a semeadura do coentro e transplântio das mudas de alface, a fim de melhorar a interação dos microrganismos do solo com o esterco adicionado, buscando-se melhoria da qualidade do solo.

3.4.3 Instalação do Sombreamento (sombrites)

Devido à sensibilidade que a grande maioria das hortaliças folhosas têm sob a alta intensidade de radiação solar existente no semiárido brasileiro, foi instalado em cada canteiro um sombreamento para as plantas. Uma tela sombrite 50% foi utilizada para proteger as plantas dos raios solares mais fortes. Com uso de cordões e barbantes, a tela foi amarrada em piquetes fincados ao solo nas extremidades dos canteiros (Figura 7). Os sombrites foram retirados sempre que necessário, como, por exemplo, na montagem do sistema de irrigação, no plantio ou transplântio, nas capinas etc., sendo recolocados após a realização dessas práticas.

Figura 7: Tela de sombreamento instalada sobre os canteiros.



Fonte: O autor (2021).

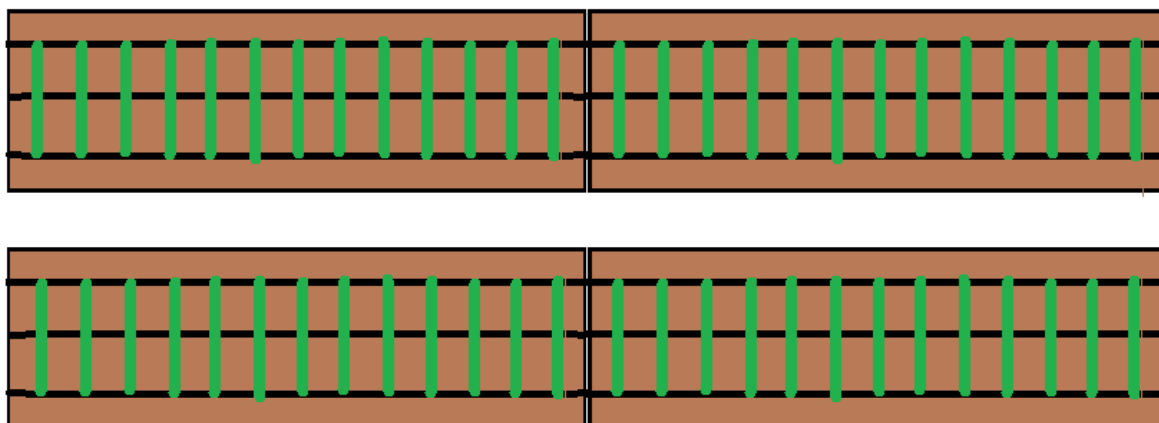
3.4.4 Montagem do Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação adotado foi do tipo localizada, por gotejamento. Em cada canteiro, foram colocadas três fitas gotejadoras paralelamente aos canteiros, sendo as fitas espaçadas de 25 cm entre linha de gotejo. Para cada parcela, foi usada uma válvula eletromagnética para direcionar o fluxo de água. Tubos de 16 mm foram usados para conduzir a água das válvulas até as linhas gotejadoras. Cada gotejador apresentou uma vazão média de 1,6 litros por hora. Utilizou-se uma bomba de $\frac{1}{2}$ CV de potência para bombear a água do tranque (reservatório) até as parcelas.

3.4.5 Semeadura do Coentro e Transplântio das Mudas de Alface

A semeadura do coentro foi realizada de forma manual. Foram adquiridos 2kg de semente de coentro, cv. Verdão (Feltrin®). As sementes do coentro foram plantadas em sulcos, perpendiculares às linhas gotejadoras, com profundidade de aproximadamente 2 cm e espaçados de 20 cm entre sulcos (Figura 8), onde a densidade de semeadura foi de aproximadamente 5,5 g de semente por metro linear.

Figura 8: Esquema de plantio do coentro.



Fonte: O autor (2021).

O transplântio das mudas de alface foi realizado na parte final da tarde para facilitar o processo de adaptação das plantas ao novo ambiente que foram colocadas. No momento do transplântio, abrimos as covas nos canteiros com uma profundidade média de 5 cm e espaçamento de 20 cm entre plantas (mesmo espaçamento dos gotejadores) e 25 cm entre linhas de plantio (mesmo espaçamento das fitas gotejadoras). Sendo assim, em cada canteiro foram colocadas três fileiras de plantas ao lado das fitas gotejadoras (Figura 9). As mudas foram retiradas das bandejas e imediatamente alocadas nas covas e, em seguida, o solo ao redor da muda foi firmado e juntado ao colo da planta para uma boa fixação das plantas ao solo. Houve sempre o cuidado de cobrir todas as raízes das mudas. Após o transplântio das mudas em todos os canteiros, foi realizada uma irrigação até que o solo apresentasse umidade elevada para ajudar no pegamento das mudas. Praticamente todas das mudas se adaptaram e pegaram no primeiro transplântio. Nas falhas (mudas que não pegaram), foram transplantadas novas mudas num segundo momento, dois ou três dias após o primeiro transplântio.

Figura 9: Linhas de plantio da alface.



Fonte: O autor (2021).

3.4.6 Tratos Culturais: Capinas e Controle de Pragas e Doenças

Houve acompanhamento do desenvolvimento das plantas nos dois experimentos, e logo que constatada a presença de plantas daninhas com potencial para interferir no desenvolvimento do coentro e da alface, foram realizadas capinas manuais a fim de eliminar essas plantas invasoras. Foram realizadas duas capinas no ciclo do coentro (10 e 20 dias após o plantio) e duas capinas no ciclo da alface (15 e 30 dias após o transplântio), necessárias ao estabelecimento total da cultura.

Também foi monitorado se havia presença de pragas e doenças durante os experimentos. Não houve incidência de pragas e doenças, no entanto, caso tivesse necessidade, teria sido controlado por meio do uso de fungicidas e inseticidas, conforme recomendações agronmicas para as culturas.

3.4.7 Colheita

As colheitas foram realizadas no fim da tarde, por apresentar temperaturas mais baixas e reduzir a possibilidade de perda de água das plantas. O experimento I foi colhido em dezembro de 2020, e o experimento II, em maio de 2021. Foram colhidas amostras de cada parcela. No experimento I, essas amostras foram constituídas de 0,16 m² entre as linhas de plantio, sendo que essa área amostral abrange exatamente três linhas de plantio transversais às linhas gotejadoras (Figura 10). Já no experimento II, as amostras foram constituídas de quatro plantas completas (com raiz) de cada parcela. As plantas foram retiradas do solo com o máximo de cuidado a fim de que o máximo de raízes fosse retirado junto às plantas. Após a retirada, foram alocadas em embalagens plásticas devidamente identificadas e pesadas ainda em campo, porém sem uma limpeza adequada. Em seguida, as plantas foram levadas para o laboratório de pós-colheita da UFERSA para retirada das impurezas e avaliações necessárias.

Figura 10: Área amostral para colheita do coentro.



Fonte: O autor (2021).

3.5 VARIÁVEIS ANALISADAS

Após a realização da colheita, as plantas coletadas foram encaminhadas ao laboratório para análise das variáveis de produção e massa seca. Também foram analisadas as variáveis relacionadas à eficiência do sistema de irrigação automática SIMAS.

3.5.1 Altura média das plantas de coentro

Após a limpeza e retirada das impurezas entre as plantas de coentro, foi registrada a altura de seis plantas coletadas da área útil amostral de cada unidade experimental. O comprimento medido foi a partir da linha de diferenciação de cor que indica a separação da raiz

e parte aérea até a parte final da parte aérea, ou seja, foi medida a parte da planta que fica acima do solo. As medições foram feitas utilizando uma régua graduada.

3.5.2 Massa fresca

Procedeu-se à separação entre parte aérea e raiz, com uso de uma tesoura cortando na linha de diferenciação de cor que indica a separação das partes da planta. Em seguida, usando-se uma balança analítica de 0,5 g de precisão, pesou-se a massa fresca da parte aérea e massa fresca da raiz de todas as amostras de plantas coletadas.

3.5.3 Massa seca

Após a pesagem da massa fresca da parte aérea e raiz, as amostras foram colocadas em sacos de papel “kraft” e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura de 60 °C, até atingir peso constante. Depois da secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica de 0,5 g de precisão para determinação da massa seca da parte aérea e raiz.

3.5.4 Percentagem de massa seca

Referido ao percentual da massa seca correspondente à parte aérea e à raiz, o cálculo foi feito segundo as Equações 5 e 6.

$$\%MSPA = \left(\frac{MSPA}{MFPA} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\%MSR = \left(\frac{MSR}{MFR} \right) \times 100 \quad (\text{Eq. 6})$$

Em que:

%MSPA: Percentagem de massa seca da parte aérea (%);

MFPA: Massa fresca da parte aérea (g);

MSPA: Massa seca da parte aérea (g);

%MSR: Percentagem de massa seca da raiz (%);

MFR: Massa fresca da raiz (g);

MSR: Massa seca da raiz (g).

3.5.5 Produtividade média das culturas

A partir dos dados da massa fresca das plantas obtidas das áreas úteis dos experimentos, sabendo-se as dimensões dessas áreas úteis e o espaçamento entre plantas, foi possível obter a produtividade média das culturas para cada tratamento, obtendo-se valores em quilogramas por hectare (kg ha⁻¹).

3.5.6 Desempenho do sistema de irrigação

Por meio dos dados de produtividade e consumo de água, podemos verificar o desempenho do SIMAS e observar a eficiência do uso da água na irrigação. Será observada a diferença de umidade e consumo de água entre os dois tipos de manejo da irrigação.

3.6 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para análise e interpretação dos dados referentes às culturas de coentro e alface, utilizou-se o programa estatístico SISVAR. Os dados foram sujeitos a análise de variância, seguindo-se com o desdobramento de interação e testes de médias por meio do teste t de Student (LSD).

Os dados do SIMAS foram colocados em planilha eletrônica do Microsoft Excel para análises de umidade e consumo de água nas irrigações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão apresentadas as análises de variância para determinar os fatores que influenciaram ou não nos resultados de massa fresca, massa seca, percentagem de massa seca, altura da planta (coentro) e produtividade. Foram realizados os devidos desdobramentos estatísticos e testes de média necessários para observação das influências dos tratamentos nos resultados. Também serão apresentadas as comparações de umidade do solo e consumo de água entre os tratamentos estudados.

4.1 MASSA FRESCA

Está apresentado na Tabela 5 o resumo da análise de variância para a massa fresca do coentro e da alface. Não houve diferença estatística entre os tratamentos para a variável massa fresca da parte aérea (MFPA) na cultura do coentro, ao nível de 5% de significância.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para a massa fresca da parte aérea (MFPA) e massa fresca da raiz (MFR) do coentro e da alface em função do manejo da irrigação e fator lixiviação.

Fonte de Variação	GL	Pr>Fc			
		COENTRO		ALFACE	
		MFPA	MFR	MFPA	MFR
MANEJO	1	0,0970 ^{ns}	0,0374*	0,6522 ^{ns}	0,2811 ^{ns}
LIXIVIAÇÃO	1	0,9238 ^{ns}	0,7973 ^{ns}	0,4847 ^{ns}	0,8133 ^{ns}
MANEJO*LIXIV	1	0,6834 ^{ns}	0,4120 ^{ns}	0,9286 ^{ns}	0,8293 ^{ns}
Erro	12	-	-	-	-
CV (%)		44,12	33,80	13,31	16,77

Fonte: O autor (2026). GL= grau de liberdade; CV= coeficiente de variação; ** = Significativo a 1 %; * = Significativo a 5 %; ^{ns} = não significativo.

Ainda na Tabela 5, é possível verificar que houve diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade entre os dois tipos de manejo da irrigação para a variável MFR na cultura do coentro. No entanto, não ocorreram diferenças estatísticas pela presença ou ausência do fator lixiviação e nem pela interação entre os fatores ao nível de 5% de significância. Para a cultura da alface, não ocorreram diferenças estatísticas dos tratamentos e interação para as variáveis MFPA e MFR.

Na Tabela 6, está apresentado o teste de média pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% de significância. Pode-se observar que o sistema de manejo da irrigação por parâmetros via clima apresentou maior média da massa fresca da raiz (16,29 g). Isso se justifica pelo fato de que, nesse tratamento, a umidade do solo é mais elevada, facilitando um melhor desenvolvimento e, principalmente, maior absorção de água pelo sistema radicular das plantas de coentro.

Tabela 6. Valores médios para massa fresca de raiz na cultura do coentro influenciadas pelo tipo de manejo da irrigação.

TRATAMENTO	MÉDIAS (g)
Irrigação via SIMAS	10,91 b
Irrigação por parâmetros via clima	16,29 a

Fonte: O autor (2026). Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% probabilidade.

Após a realização do desdobramento da interação entre os fatores (Tabela 7), constatou-se, por meio do teste t de Student (LSD), diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade, entre as médias de MFR na cultura do coentro, por influência da interação dos fatores Manejo x Lixiviação. Essa influência da interação só foi detectada pelo teste t de Student (LSD), por apresentar maior capacidade de detecção de influência da interação entre fatores do que o teste F.

Tabela 7. Valores médios para massa fresca de raiz (g) na cultura do coentro influenciadas em função do manejo da irrigação e da lixiviação.

FATORES	Com lixiviação (10%)	Sem lixiviação
Irrigação via SIMAS	9,63 bA	12,19 aA
Irrigação por parâmetros via clima	16,96 aA	15,61 aA

Fonte: O autor (2026). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% probabilidade.

Observa-se que os tipos de manejo da irrigação não foram influenciados pelo fator de lixiviação, pois no sistema de irrigação via SIMAS a média de MFR das plantas tratadas com lixiviação de 10% foi estatisticamente semelhante à média das plantas que não tiveram o fator lixiviação. A mesma semelhança aconteceu nas médias de MFR das plantas irrigadas por parâmetros via clima. A única diferença estatística aconteceu entre as médias das plantas irrigadas sob parâmetros via SIMAS com lixiviação e as médias das plantas irrigadas por parâmetros via clima com a presença do fator de lixiviação, obtendo-se médias de 9,63g e 16,96g, respectivamente. Esse resultado também pode ser justificado pelo mesmo motivo explicado acima: uma umidade do solo mais elevada resulta em uma maior possibilidade de absorção de água pelas raízes das plantas, ocasionando maior massa fresca.

4.2 MASSA SECA

Na Tabela 8, está apresentado o resumo da análise de variância para a massa seca do coentro e da alface. Não houve diferença estatística entre os tratamentos e nem influência da

interação entre os fatores para as variáveis massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) na cultura do coentro e da alface, ao nível de 5% de significância.

Tabela 8. Resumo da análise de variância para a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR) das culturas de coentro e alface submetidas a manejos de irrigação e lixiviação.

Fonte de Variação	GL	Pr>Fc			
		COENTRO		ALFACE	
		MSPA	MSR	MSPA	MSR
MANEJO	1	0,4404 ^{ns}	0,2367 ^{ns}	0,6532 ^{ns}	0,0523 ^{ns}
LIXIVIAÇÃO	1	0,6010 ^{ns}	0,9138 ^{ns}	0,6183 ^{ns}	0,9582 ^{ns}
MANEJO*LIXIV	1	0,2609 ^{ns}	0,4648 ^{ns}	0,0766 ^{ns}	0,6911 ^{ns}
Erro	12	-	-	-	-
CV (%)		44,75	36,82	17,30	17,32

Fonte: O autor (2026). GL= grau de liberdade; CV= coeficiente de variação; ** = Significativo a 1 %; * = Significativo a 5 %; ^{ns} = não significativo.

Resultados semelhantes para massa fresca e massa seca, da parte aérea e raiz, foram encontrados em outros trabalhos científicos.

Oliveira (2018), avaliando variáveis fenométricas do coentro, estudou três tipos de reposição de água da necessidade hídrica da cultura até o fim do ciclo, repondo 100, 75, e 50% da evapotranspiração de referência (ET_o), verificando que as médias do tratamento de 50% da ET_o apresentaram o maior valor da altura da parte aérea da planta (19,5 e 21,5 cm), peso total da massa fresca (23,2 e 31,2g), peso total da massa seca (3,6 g para ambos os canteiros) e peso da massa fresca da raiz (2,2 e 3,4 g), apresentando os menores valores nos tratamentos de 75 e 100% da ET_o. Quanto ao tamanho da raiz e peso da massa seca da raiz, obtiveram-se médias semelhantes nos tratamentos de 100, 75 e 50% da ET_o. Sendo assim, de modo geral o tratamento de 50% da ET_o apresentou características fenológicas da cultura bastante favorável, indicando que o aumento do volume de água na irrigação do coentro não proporciona aumento de suas principais variáveis de crescimento.

Cassimiro *et al.* (2019) avaliaram a eficiência de um sistema de irrigação subsuperficial de baixo custo, a partir da aplicação de lâminas decrescentes de água, para o desenvolvimento vegetativo de plantas de alface do grupo crespa. Tendo como tratamentos cinco lâminas de água (25, 50, 75, 100 e 125% da ET_o, estimada pela equação de Penman-Monteith), avaliando a massa seca da parte aérea, raiz e total e o número total de folhas por planta, constataram que a aplicação de 25% da ET_o proporcionou os menores valores de acúmulo de massa, não sendo, portanto, recomendada. Por sua vez, a aplicação de 50% proporcionou acúmulo de massa similar às maiores lâminas, 75, 100 e 125% da ET_o, o que comprova a eficiência do sistema em termos de economia de água para produção da alface. Concluíram ainda que, por se tratar

de um sistema de irrigação de baixo custo e de fácil operacionalização, ele seria essencial para a agricultura familiar vivente no semiárido brasileiro.

Desse modo, o SIMAS surge como importante ferramenta que pode facilitar uma produção de qualidade e com economia de recursos, uma vez que o sistema de monitoramento da umidade do solo indica a quantidade de água exata necessária para o desenvolvimento máximo das plantas. Portanto, o SIMAS pode economizar recursos hídricos e, consequentemente, reduzir gastos com energia elétrica, diminuindo os custos de produção sem baixar a qualidade e quantidade do produto final.

4.3 PERCENTAGEM DE MASSA SECA

Na Tabela 9, é mostrado o resumo da análise de variância para a percentagem de massa seca do coentro e da alface. É possível verificar que não houve diferença estatística entre os tratamentos e interação dos fatores para a variável percentagem de massa seca da parte aérea (%MSPA) na cultura do coentro, ao nível de 5% de significância, no entanto foi encontrada diferença estatística para essa variável após realização do desdobramento da interação dos fatores (Tabela 10). Para a variável percentagem de massa seca da raiz (%MSR) na cultura do coentro, não houve diferença estatística causada pelo fator lixiviação (SEM lixiviação e COM 10% de lixiviação). A interação entre os fatores Manejo x Lixiviação também não apresentou diferença de %MSR do coentro. Porém, os diferentes tipos de manejo da irrigação (via SIMAS e via clima) causaram diferença estatística nos resultados da %MSR do coentro, ao nível de 1% de significância, conforme demonstrado na Tabela 9.

Tabela 9. Resumo da análise de variância para a percentagem de massa seca da parte aérea (%MSPA) e percentagem de massa seca da raiz (%MSR) das culturas de coentro e alface em função de manejos de irrigação e lixiviação.

Fonte de Variação	GL	Pr>Fc			
		COENTRO		ALFACE	
		%MSPA	%MSR	%MSPA	%MSR
MANEJO	1	0,1917 ^{ns}	0,0048 ^{**}	0,8965 ^{ns}	0,0694 ^{ns}
LIXIVIAÇÃO	1	0,1894 ^{ns}	0,2758 ^{ns}	0,9308 ^{ns}	0,6573 ^{ns}
MANEJO*LIXIV	1	0,0795 ^{ns}	0,8916 ^{ns}	0,0174 [*]	0,2337 ^{ns}
Erro	12	-	-	-	-
CV (%)		22,38	10,26	12,15	9,26

Fonte: O autor (2026). GL= grau de liberdade; CV= coeficiente de variação; ** = Significativo a 1 %; * = Significativo a 5 %; ^{ns} = não significativo.

Após a realização do desdobramento da interação entre os fatores (Tabela 10), constatou-se por meio do teste t de Student (LSD) que houve diferença estatística ao nível de

5% de probabilidade entre as médias de %MSPA na cultura do coentro, por influência da interação dos fatores Manejo x Lixiviação.

Tabela 10. Valores médios para a percentagem de massa seca da parte aérea na cultura do coentro em função de manejos de irrigação e lixiviação.

FATORES	Com lixiviação (10%)	Sem lixiviação
Irrigação via SIMAS	7,75 aA	10,96 bB
Irrigação por parâmetros via clima	8,26 aA	7,75 aA

Fonte: O autor (2026). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% probabilidade.

Apenas o tratamento com manejo da irrigação via SIMAS sem a presença do fator de lixiviação apresentou diferença estatística com relação às médias dos outros tratamentos, obtendo-se a maior média de %MSPA na cultura do coentro (10,96%). Mais uma vez, este fato pode ser justificado pela menor umidade do solo e, consequentemente, uma menor percentagem de massa fresca. Essa característica pode ser interessante desde que o aumento da massa seca não esteja diretamente relacionado à acentuada diminuição da massa fresca, pois hortaliças folhosas com suculência e folhas crocantes são características procuradas pelo consumidor. Portanto, a umidade do solo deve estar sempre no ideal, nem abaixo do necessário, nem tampouco em quantidades elevadas.

Na Tabela 11, está apresentado o teste de média pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 1% de significância. Pode-se observar que o sistema de manejo da irrigação via SIMAS, apresentou uma maior percentagem de massa seca da raiz (11,43%) nas plantas de coentro. Esse fato está diretamente ligado com a quantidade de massa fresca, isto é, como a irrigação via SIMAS (parâmetros via solo) apresenta maior controle da umidade sem desperdícios e com economia de água, a planta acaba produzindo mais massa seca do que massa fresca.

Tabela 11. Valores médios para percentagem de massa seca de raiz na cultura do coentro em função de sistemas de irrigação.

TRATAMENTO	MÉDIAS (%)
Irrigação via SIMAS	11,43 a
Irrigação por parâmetros via clima	9,57 b

Fonte: O autor (2026). Médias seguidas com a mesma letra na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 1% probabilidade.

Na cultura da alface, somente a interação entre os fatores (sistema de manejo da irrigação x fator de lixiviação) causou diferença estatística para a variável %MSPA, ao nível de 5% de probabilidade, conforme demonstrado no resumo da análise de variância (Tabela 9). No

entanto, após o desdobramento da interação pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% de probabilidade, constatou-se que não ocorreu diferença estatística entre as médias, conforme demonstrado na Tabela 12. Para a %MSR da alface, após do desdobramento da interação dos fatores, observou-se diferença estatística entre as médias (Tabela 13).

Tabela 12. Valores médios para a percentagem de massa seca na parte aérea na cultura da alface em função da manejos de irrigação e lixiviação.

FATORES	Com lixiviação (10%)	Sem lixiviação
Irrigação via SIMAS	5,03 aA	4,22 aA
Irrigação por parâmetros via clima	4,29 aA	5,04 aA

Fonte: O autor (2026). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% probabilidade.

Conforme podemos observar na tabela acima, não existe diferença estatística entre as médias de %MSPA da cultura da alface entre as interações dos fatores estudados.

Após a realização do desdobramento da interação entre os fatores (Tabela 13), constatou-se por meio do teste t de Student (LSD) que houve diferença estatística ao nível de 5% de probabilidade, entre as médias de %MSR na cultura da alface, por influência da interação dos fatores Manejo x Lixiviação.

Tabela 13. Valores médios para a percentagem de massa seca na raiz da cultura da alface em função da manejos de irrigação e lixiviação.

FATORES	Com lixiviação (10%)	Sem lixiviação
Irrigação via SIMAS	6,17 aA	5,94 aA
Irrigação por parâmetros via clima	6,39 aA	6,89 bA

Fonte: O autor (2026). Médias seguidas por letras minúsculas iguais na coluna e letras maiúsculas iguais na linha, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste t de Student (LSD) ao nível de 5% probabilidade.

Por meio dos dados da tabela acima, podemos constatar pequena variação entre as médias de %MSR na cultura da alface entre a interação dos fatores em estudo, sendo que a única diferença estatisticamente detectada aconteceu entre os manejos da irrigação via SIMAS e via clima, ambas sem a presença do fator de lixiviação, obtendo-se médias de 5,94 e 6,89%, respectivamente.

Zamora (2018), estudando diferentes lâminas de fertirrigação na cultura do coentro, observou uma resposta quadrática para a massa fresca e seca da parte aérea e raiz, sendo obtidos valores máximos quando se aplicou por pulsos uma lâmina de fertirrigação de 87% da evapotranspiração da cultura (ETc). A partir desse ponto, a produtividade decresce. Os acréscimos nas lâminas de fertirrigação reduziram linearmente a %MSPA e %MSR,

proporcionando maior massa fresca comercializável. O autor relata que a maior concentração de matéria seca se dá conforme o teor de água na planta vai diminuindo, no entanto aqueles tratamentos que recebem maior lâmina de reposição de ETc terão maior teor de água na planta, traduzindo-se em maior matéria fresca. Warner, Hoffman e Wilhoit (2009) relatam que um decréscimo excessivo da lâmina de irrigação pode comprometer a qualidade comercial da cultura, que é preferida pela turgência e frescor das folhas.

Portanto, um manejo da irrigação bem feito pode resultar sobretudo em qualidade do produto comercial, além, obviamente, da indispensável economia de recursos para os agricultores do semiárido, região caracterizada por escassez hídrica.

4.4 ALTURA DO COENTRO

Conforme mostrado na Tabela 14, a altura das plantas de coentro não foi afetada pelos fatores manejos de irrigação e lixiviação, tampouco pela interação entre os fatores, ao nível de 5% de significância.

Tabela 14. Resumo da análise de variância para a altura de plantas de coentro em função de manejos de irrigação e lixiviação.

Fonte de Variação	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
MANEJO	1	10,05	10,05	0,335	0,5737 ^{ns}
LIXIVIAÇÃO	1	3,17	3,17	0,105	0,7509 ^{ns}
MANEJO*LIXIV	1	32,66	32,66	1,087	0,3176 ^{ns}
Erro	12	360,41	30,03	-	-
CV = 25,17%					

Fonte: O autor (2025). GL= grau de liberdade; CV= coeficiente de variação; ** = Significativo a 1 %; * = Significativo a 5 %; ^{ns} = não significativo.

Pelo resultado da análise de variância, pode-se constatar que o manejo da irrigação e a presença ou ausência do fator de lixiviação não influenciaram no crescimento das plantas de coentro, mostrando que a cultura é bem adaptada às variações de ambientes e condições impostas às plantas. Esse resultado também mostra que o manejo da irrigação mais econômico não afeta a altura das plantas, sendo, portanto, mais recomendado devido à economia de recursos.

4.5 PRODUTIVIDADE MÉDIA

Por meio da análise de variância (Tabela 15), pode-se observar que os fatores Manejo, Lixiviação e a interação não apresentaram diferenças estatísticas entre si ao nível de 5% de significância nos tratamentos para a produtividade média do coentro e da alface. Portanto, no

que se refere exclusivamente à produtividade, poderia se utilizar qualquer combinação entre os fatores (qualquer tratamento), sendo aconselhável a escolha do mais econômico.

Tabela 15. Resumo da análise de variância para a produtividade média das culturas de coentro e alface em função de manejos de irrigação e lixiviação.

Fonte de Variação	GL	Pr>Fc	
		PRODUTIVIDADE	
		COENTRO	ALFACE
MANEJO	1	0,0970 ^{ns}	0,6522 ^{ns}
LIXIVIAÇÃO	1	0,9238 ^{ns}	0,4847 ^{ns}
MANEJO*LIXIV	1	0,6834 ^{ns}	0,9286 ^{ns}
Erro	12	-	-
CV (%)		44,12	13,31

Fonte: O autor (2026). GL= grau de liberdade; CV= coeficiente de variação; ** = Significativo a 1 %; * = Significativo a 5 %; ^{ns} = não significativo.

Oliveira *et al.* (2015) relacionaram os fatores lâminas de água (L) e níveis de salinidade (NS) na cultura do coentro, sendo as lâminas L1 (50% da ETc), L2 (100% da ETc) e L3 (150% da ETc) equivalentes à evapotranspiração da cultura (ETc). Para níveis de sais, foram usados os seguintes tratamentos: NS1 (0,1 dS m⁻¹); NS2 (1,1 dS m⁻¹); NS3 (2,1 dS m⁻¹); NS4 (3,1 dS m⁻¹). Os fatores lâminas de água (L) e níveis de salinidade (NS) e suas correlações (L x NS) não responderam significativamente na produtividade da cultura em matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e altura de plantas (AP).

Silva *et al.* (2019), avaliando a cultura do coentro com tipo de gotejamento (contínuo e por pulsos) associado com lâminas crescentes de reposição da ETc (40, 60, 80, 100 e 120%), observaram que os melhores resultados para as variáveis Lucro Operacional, Efetivo e Total aconteceram com o gotejamento por pulsos e lâmina de reposição da ETc de 85%. Isso comprova a informação de que irrigar demais também pode ser prejudicial para o desenvolvimento da cultura. Além disso, o manejo correto da irrigação geralmente resulta em maiores lucros, pois ocorrem menores gastos e maior produção.

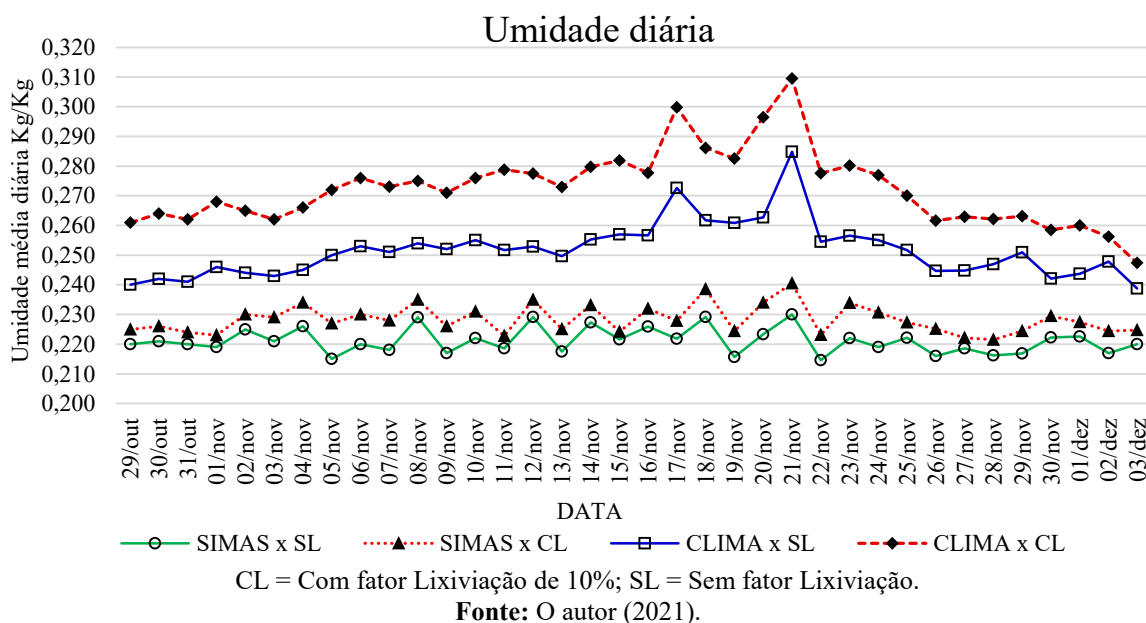
Portela (2017), avaliando diferentes lâminas de irrigação na cultura da alface, não encontrou diferença estatística nos componentes de produção: altura da planta, comprimento do caule, diâmetro do caule, número de folhas, massa fresca da parte aérea, massa seca da parte aérea, massa fresca da raiz, massa seca da raiz, comprimento da raiz e massa total da planta. Esse resultado demonstra que a cultura da alface também não responde a aumentos na lâmina de irrigação acima da quantidade ideal, não ocorrendo aumento na produção e desenvolvimento da planta.

4.6 COMPARAÇÃO DE UMIDADE: IRRIGAÇÃO VIA SIMAS X IRRIGAÇÃO POR PARÂMETROS VIA CLIMA

Os gráficos a seguir mostram o comparativo da umidade do solo entre os dois métodos de manejo da irrigação. Ao analisar os gráficos, é perceptível a expressiva diferença de umidade existente entre os dois métodos.

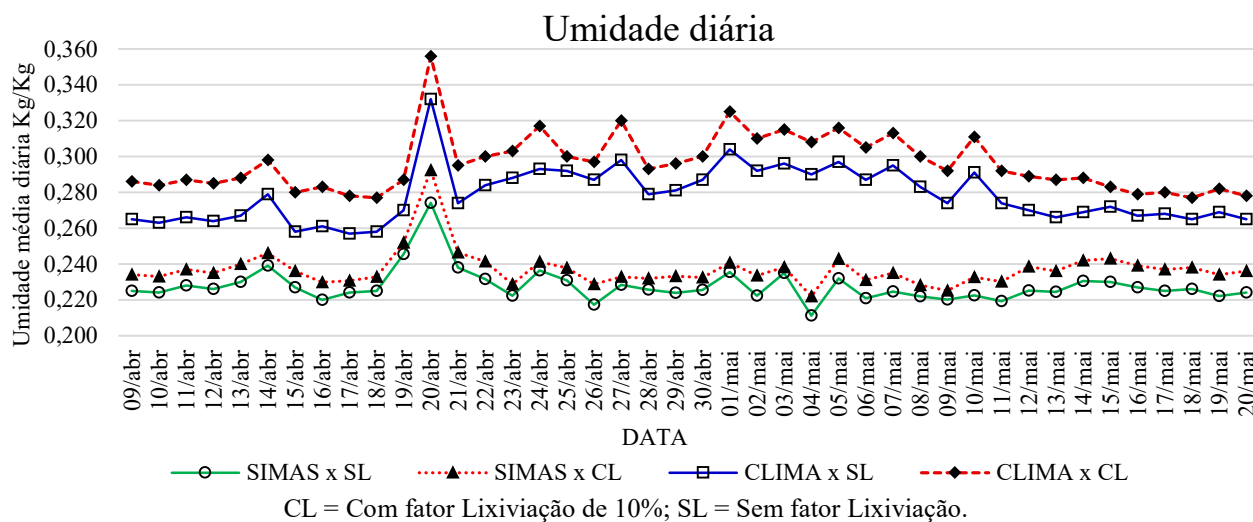
Analisando o gráfico a seguir (Figura 11), é possível verificar que o SIMAS manteve a umidade média do solo próxima da umidade ideal para manter o solo em sua capacidade de campo. No manejo da irrigação por parâmetros via clima, o solo se manteve com umidade acima do ideal, estando próximo de uma condição de solo saturado ou encharcado, o que não é benéfico para o desenvolvimento pleno das plantas de coentro.

Figura 11: Variação de umidade nos dois métodos de manejo da irrigação no experimento com coentro.



Cenário semelhante aconteceu no experimento com alface, demonstrando, na Figura 12, que o manejo da irrigação com o auxílio do SIMAS apresenta maior controle na aplicação de água, quando comparado com o manejo via clima. O SIMAS leva em consideração a precipitação diária, a umidade relativa do ar, a temperatura média diária e outros fatores ambientais que influenciam diretamente na evapotranspiração diária e, consequentemente, na umidade do solo. Portanto, o SIMAS verifica a umidade do solo e aplica a quantidade necessária para colocar o solo na capacidade de campo.

Figura 12: Variação de umidade nos dois métodos de manejo da irrigação no experimento com alface.



Fonte: O autor (2021).

No manejo via clima, os fatores ambientais diários de horas e/ou minutos antes das irrigações não são levados em consideração. Em outras palavras, se ocorre uma chuva qualquer, o sistema vai aplicar a mesma quantidade de água pré-definida no calendário de irrigação pelo manejo via clima. Desse modo, quando acontece uma chuva, podemos verificar o grande desbalanço da umidade do solo, ficando bem acima da umidade ideal (capacidade de campo) e ultrapassando inclusive a umidade do solo em dias que não chove.

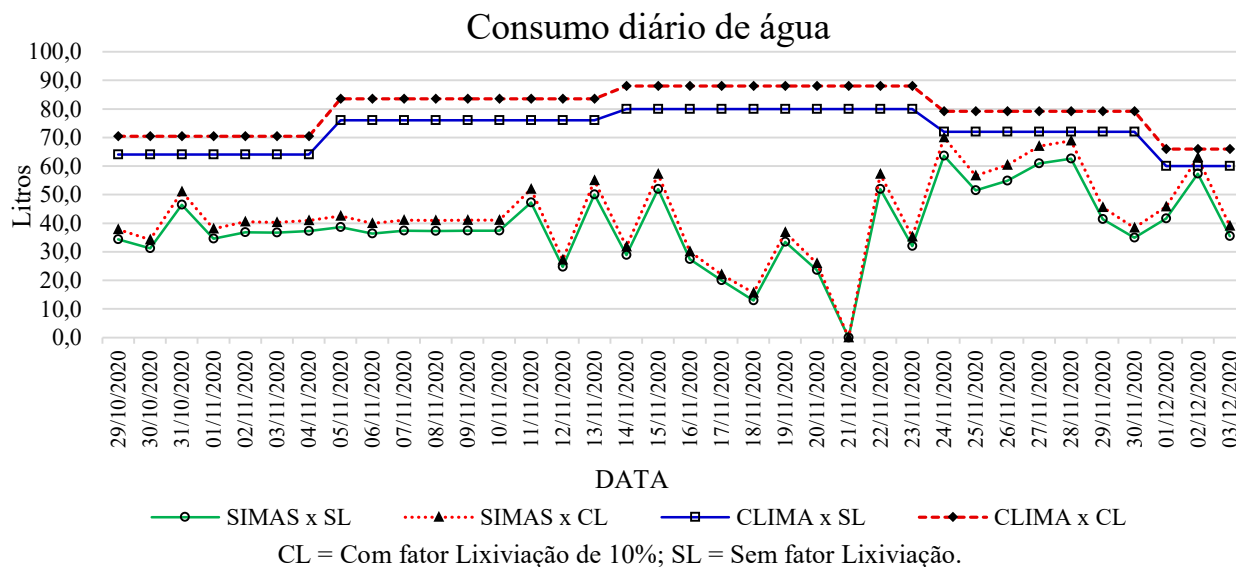
4.7 COMPARAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA: IRRIGAÇÃO VIA SIMAS X IRRIGAÇÃO POR PARÂMETROS VIA CLIMA

O consumo de água é uma importante variável em qualquer atividade agrícola. Uma irrigação ineficiente com alto consumo de água resultará numa menor receita líquida para o agricultor, pois quanto maior for o desperdício de água, mais energia será gasta na irrigação. Além disso, a água no semiárido é um recurso bastante escasso, como já foi mencionado nesse trabalho. Portanto, a preservação desse recurso também é uma importante prática ambiental que pode possibilitar a continuação das atividades agrícolas nas regiões secas.

Nos gráficos a seguir (Figura 13 e 14), é mostrado um comparativo entre o consumo diário de água utilizada no manejo de irrigação por parâmetros via clima com o manejo de irrigação via SIMAS. Em cada dia dos experimentos, está apresentado o consumo em litros de água utilizada na irrigação em todas as parcelas de cada tratamento. Por exemplo: no dia 29 de outubro de 2020, foram utilizados 70,4 litros de água para irrigar todas as parcelas com o manejo da irrigação por parâmetros via clima e com fator lixiviação de 10%, no experimento I (cultura do coentro).

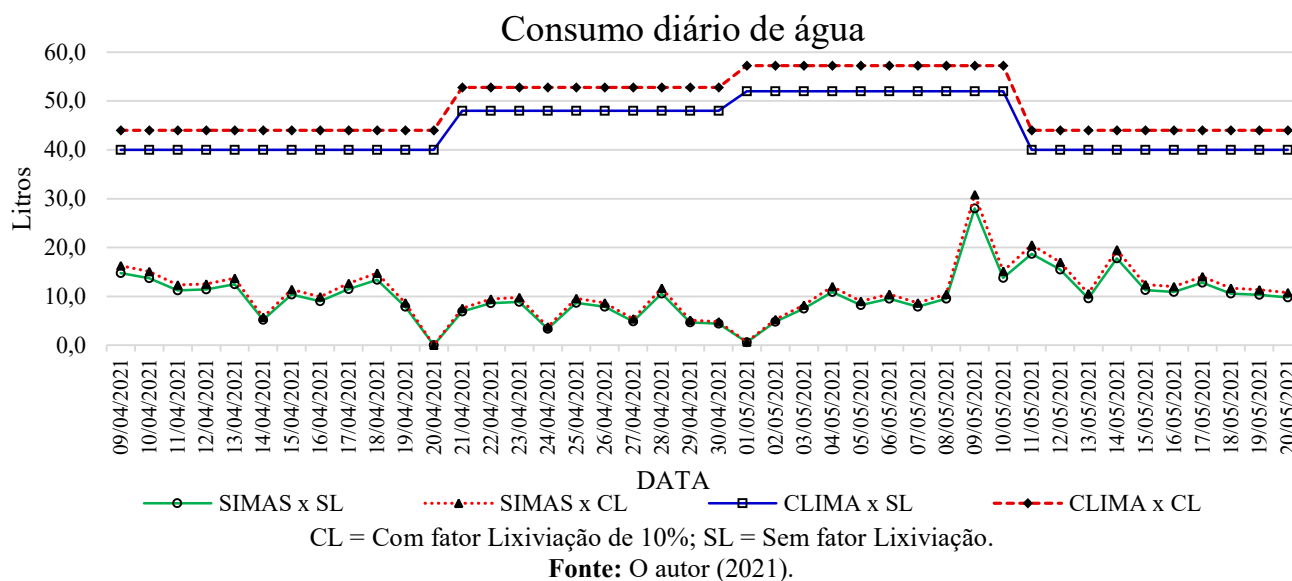
Vale ressaltar que em alguns momentos é difícil verificar nos gráficos a diferença entre o consumo diário de água do manejo via SIMAS com 10% de fator lixiviação e via SIMAS sem fator lixiviação. Isso acontece porque a quantidade de água consumida no manejo via SIMAS é geralmente uma quantidade reduzida, portanto 10% acabam sendo uma diferença muito pequena para ser ilustrada nos gráficos.

Figura 13: Consumo diário de água no experimento com coentro.



Fonte: O autor (2021).

O gráfico do consumo diário de água para a irrigação do experimento II (cultura da alface) segue o mesmo padrão do gráfico anterior, onde cada ponto refere-se ao consumo diário de água (em litros) para cada tratamento. O consumo diário em ambos os experimentos ocorreu de forma semelhante, onde o manejo via clima apresentou maior consumo diário de água que o manejo via SIMAS, durante praticamente todo o experimento com coentro e com alface.

Figura 14: Consumo diário de água no experimento com alface.

Observando as Figuras 13 e 14, é possível constatar que no manejo da irrigação via SIMAS se obteve mais controle e eficiência nas irrigações das culturas, resultando, assim, em uma economia de água considerável. A irrigação por parâmetros via clima segue o calendário de irrigação pré-definido antes do início das irrigações, razão pela qual o consumo diário na irrigação por parâmetros via clima praticamente não varia entre dois dias seguidos.

Nas duas figuras a seguir, é possível observar a precipitação durante os períodos dos experimentos. Os dados de precipitação foram medidos às 7h00. Esses dados de precipitação justificam a redução do consumo de água pelo método automático (via SIMAS) em alguns dias. Ao comparar os gráficos de consumo de água e de precipitação diária, é possível observar que nos dias em que choveu houve redução do consumo de água no manejo da irrigação via SIMAS.

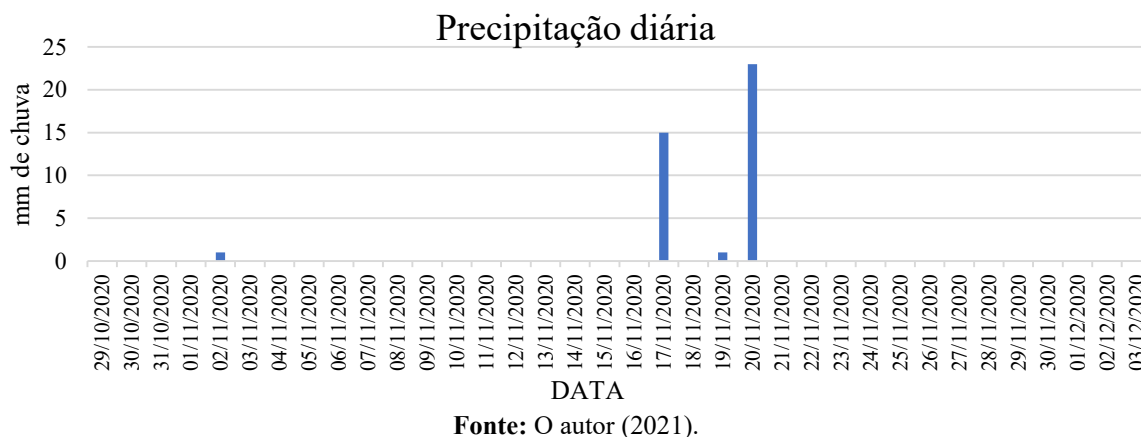
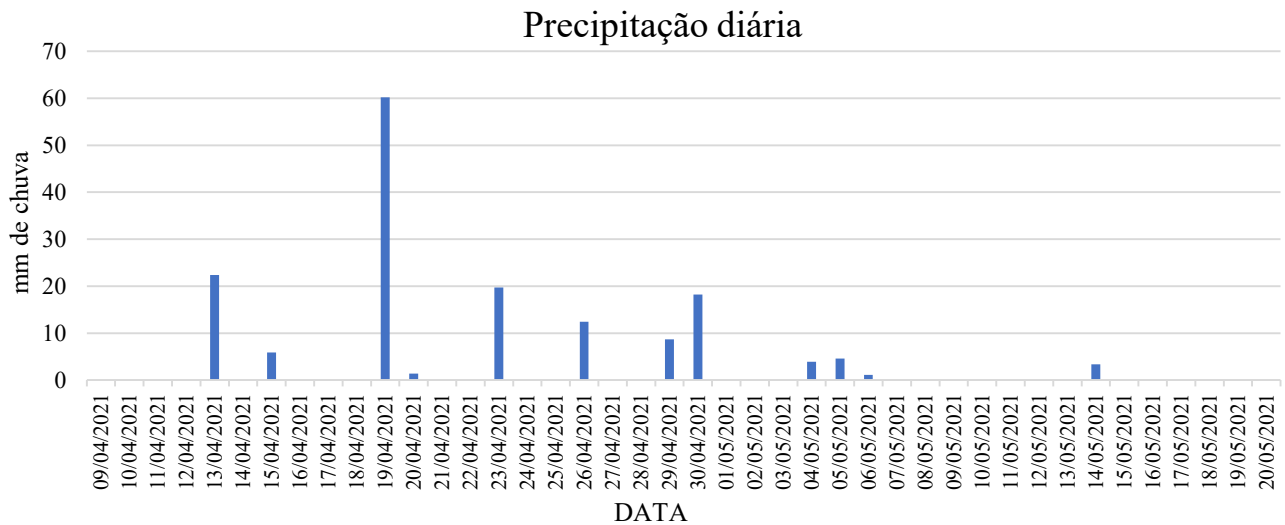
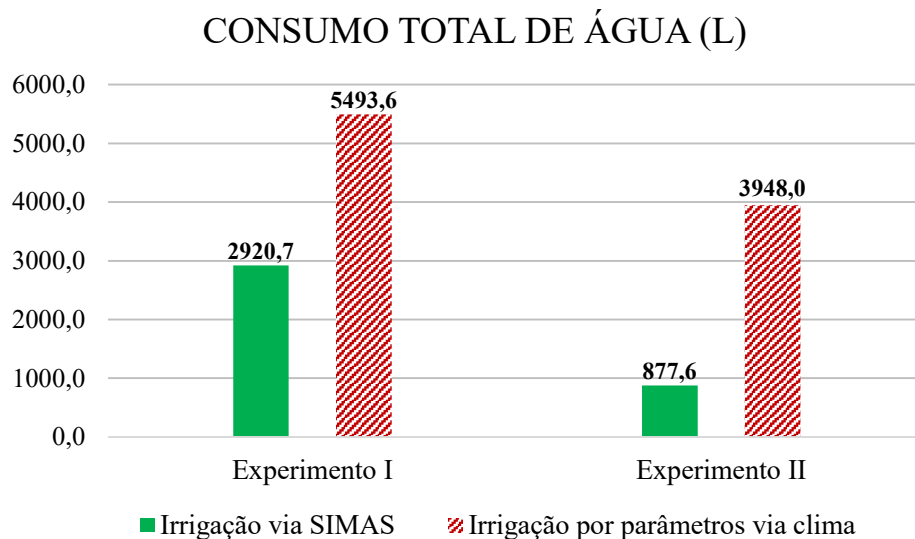
Figura 15: Precipitação durante o experimento com coentro.

Figura 16: Precipitação durante o experimento com alface.

Fonte: O autor (2021).

As Figuras 15 e 16 comprovam uma das características presentes no semiárido, que diz respeito à má distribuição pluviométrica além da baixa precipitação em determinadas épocas do ano.

É possível verificar que no manejo da irrigação via SIMAS ocorreu mais economia de água comparando-se ao manejo da irrigação via clima. Pelo meio da Figura 17, podemos observar e mensurar essa economia.

Figura 17: Comparativo do consumo total de água no experimento I (coentro) e II (alface).

Fonte: O autor (2021).

Foi possível verificar grande economia no consumo de água com a utilização do SIMAS para execução do manejo da irrigação por meio de parâmetros da umidade do solo. No experimento I (coentro), conduzido no período não chuvoso, o sistema de irrigação via SIMAS obteve redução de 46,8% comparando-se à quantidade de água consumida na irrigação via

clima. Por sua vez, no experimento II (alface), conduzido justamente no período chuvoso, a irrigação automática (via SIMAS) obteve incrível redução de 77,8% comparando-se à quantidade de água utilizada na irrigação via clima. Essa economia é muito importante quando se tem recursos hídricos limitados, além de influenciar na sempre necessária economia de energia elétrica, reduzindo os gastos de produção e, conseqüentemente, aumentando os lucros da produção agrícola.

5 CONCLUSÕES

O fator lixiviação não afetou estatisticamente nenhuma variável de produção na cultura do coentro e da alface, afetando apenas a umidade do solo e o consumo de água da irrigação.

A interação entre os fatores MANEJO x LIXIVIAÇÃO teve pouca influência nas variáveis produtivas do coentro e da alface, destacando-se com importância comercial a %MSPA da cultura do coentro, onde o manejo via SIMAS sem a aplicação do fator lixiviação obteve resultados superiores aos demais tratamentos.

O tipo de manejo utilizado para realização das irrigações também teve pouca influência nas variáveis de produção do coentro, influenciando apenas na massa fresca da raiz e na percentagem de massa seca da raiz, sendo que a raiz do coentro não apresenta valor comercial. Para a cultura da alface, não foi encontrada nenhuma influência significativa.

O manejo da irrigação via SIMAS sem a aplicação do fator lixiviação é recomendado por não apresentar diferença estatística nas principais variáveis produtivas do coentro e da alface: massa fresca da parte aérea, produtividade média e altura do coentro, comparando-se aos outros tratamentos analisados.

O manejo da irrigação via SIMAS se mostrou mais eficiente do que a irrigação por parâmetros via clima, pois apresentou uma alta economia de água usada na irrigação, reduzindo o consumo em 46,8% no experimento com coentro e 77,8% no experimento com alface, comparando-se à quantidade de água utilizada na irrigação via clima.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. 56. ed. Roma: FAO, Irrigation and Drainage Paper, 1998.
- AZEVEDO, J. A. de; DA SILVA, E. M. **Tensiômetro**: dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. 33 p. (EMBRAPA Cerrados. Circular Técnica, 001). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/76016/1/cirtec-01.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021.
- BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. de C.; BRAGA, M. B.; SIMÕES, W. L.; CALGARO, M.; BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611 p.
- BRAGA, M. B. Considerações sobre manejo de irrigação em hortaliças. *In*: **EMBRAPA**. Recursos naturais. Brasília, 1 abr. 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/22866705/consideracoes-sobre-manejo-de-irrigacao-em-hortalicas#>. Acesso em: 14 jun. 2021.
- BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; ROSSO, R. B.; TORRES, R. R.; NUNES, M. S. Avaliação do desempenho do método das pesagens para a determinação da umidade do solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 7, n. 6, p. 340-348, 2013.
- BUSKE, T. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; TORRES, R. R.; ROSSO, R. B.; BRAGA, F. de V. A. Determinação da umidade do solo por diferentes fontes de aquecimento. **Irriga**, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 315-324, 2014.
- CAI, J.; LIU, Y.; LEI, T.; PEREIRA, L.S. Estimating reference evapotranspiration with the FAO Penman–Monteith equation using daily weather forecast messages. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 145, n. 1-2, p. 22-35, 2007.
- CAJAZEIRAS, C. C. de A. **Análise da vulnerabilidade e risco à escassez hídrica no semiárido - caso de estudo Ibareta/CE**. 2020. 136 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/21826/tese_claudio_cajazeiras.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 04 jun. 2021.
- CAMARGO, D. C. **Conservação, uso racional e sustentável da água: Manejo da Irrigação: Como, Quando e Quanto Irrigar?**. Fortaleza: ANA - Agência Nacional de Águas, 2016. 26 p. Disponível em: https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/bitstream/ana/2129/4/Manejo_da_Irrigacao-4h.pdf. Acesso em: 09 jul. 2021.
- CAMPBELL, G. S.; MULLA, D. J. Measurement of soil water content and potential. *In*: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (ed.). **Irrigation of agricultura crops**. Madison: ASA, 1990, p. 127-141.

CASSIMIRO, C. A. L.; OLIVEIRA FILHO, F. S.; SILVA, E. A.; FEITOSA, S. S.; SIQUEIRA, E. C.; SILVA, M. G. Lâminas de água múltiplas via sistema de irrigação subsuperficial no cultivo de alface do grupo crespa. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, Pombal-PB, v. 13, n. 1, p. 08-12, 2019.

DA SILVA, P. C. G. *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ, I. B.; DA SILVA, P. C. G. (org.). **Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18-48.

DA SILVA, V. de P. R. *et al.* Evapotranspiration, water use efficiency and crop coefficient of three lettuce varieties grown in a tropical region. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 798-805, 2018.

DE CASTRO, C. N. **Sobre a agricultura irrigada no semiárido: Uma análise histórica e atual de diferentes opções de política**. Texto para Discussão, n. 2369. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília, 2018. 49 p. Disponível em: <https://www.econstor.eu/handle/10419/177585>. Acesso em: 11 jul. 2021.

DESCHEEMAER, K.; MAPEDZA, E.; AMEDE, T.; AYALNEH, W. Effects of integrated watershed management on livestock water productivity in water scarce areas in Ethiopia. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 35, n. 13-14, p. 723-729, 2010.

EZZAHAR, J. *et al.* The use of the scintillation technique for monitoring seasonal water consumption of olive orchards in a semi-arid region. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 173-184, 2007.

GAVILAN, P.; BERENGENA, J.; ALLEN, R. G. Measuring versus estimating net radiation and soil heat flux: Impact on Penman–Monteith reference ET estimates in semiarid regions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 275-286, 2007.

GHEYI, H. R. Problemas de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (org.). **Agricultura, sustentabilidade e o semiárido**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 329-46.

GOMES, F. H. F.; CUNHA, F. N.; LOPES FILHO, L. C.; VIDAL, V. M.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B. Calibração de um sensor de umidade do solo de baixo custo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 11, n. 4, p. 1509-1516, 2017.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Semiárido Brasileiro**. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15974-semiarido-brasileiro.html?t=sobre>. Acesso em: 15 set. 2021.

INMET- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos históricos de Caicó**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em 20 out. 2020.

KLEIN, V. A. **Física do Solo**. 1ª ed. Passo Fundo: EDIUPF, 2008. .

KLEIN, V. A. Uma proposta de irrigação automática controlado por tensiômetros. **Rev. Bras. de AGROCIÊNCIA**, v.7, n 3, p. 231-234, 2001.

LOPES FILHO, R. P. **Controle da Irrigação de Hortaliças usando Tensiômetro com Manômetro de Vácuo**. 1. ed. Macapá: EMBRAPA Amapá, 45 p. 2011.

LOPES, J. L. W.; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Qualidade de mudas de eucalipto produzidas sob diferentes lâminas de irrigação e dois tipos de substrato. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 835-843, 2007.

MAROUELLI, W. A.; GUIMARÃES, T. G. **Irrigação na cultura da batata**. Itapetininga: Associação Brasileira da Batata: EMBRAPA Hortaliças, 2006. 66 p.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, A. S. de; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. de. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2011. cap. 5, p. 158-232.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C.; DA SILVA, H. R. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1996.

MOURA, M. S. B. de; GALVINCIO, J. D.; BRITO, L. T. de L.; SOUZA, L. S. B. de; SÁ, I. I. S.; DA SILVA, T. G. F. Clima e água de chuva no Semi-Árido. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (org.). **Potencialidades da água de chuva no Semi-Árido brasileiro**. Petrolina: EMBRAPA Semiárido, 2007. p. 37-59.

OLIVEIRA, A. B. **Consumo hídrico e calibração/validação do modelo AquaCrop para a cultura do coentro submetido à irrigação localizada**. 2018. 50 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

Disponível em:

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/2391/1/ANDR%c3%89%20BEZERRA%20OLIVEIRA%20-%20DISSERTA%c3%87%c3%83O%20PPGMET%202018.pdf>

Acesso em: 19 jul. 2021.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. A.; SILVA, W. G.; REZENDE, F. C.; GOMES, L. A. A.; JESUS, M. C. N. Análise produtiva e econômica do pepino japonês submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 702-708, 2011.

OLIVEIRA, F. de A. *et al.* Resposta da cultura do coentro (*Coriandrum Sativum* L.) em função da quantidade e qualidade da água de irrigação. In: **XXV CONIRD–Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. São Cristóvão, UFS. 2015.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Agências da ONU lançam Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. 2021. Disponível em:

<https://brasil.un.org/pt-br/123077-agencias-da-onu-lancam-relatorio-mundial-sobre-o-desenvolvimento-dos-recursos-hidricos>. Acesso em: 19 ago. 2021.

ONU - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Escassez de água, desafio à sustentabilidade**. 2017. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/76113-artigo-escassez-de-agua-desafio-sustentabilidade>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ORTEGA-FARIAS, S.; IRMAK, S.; CUENCA, R. Special issue on evapotranspiration measurement and modeling. **Irrigation Science**, New York, v. 28, n. 1, p. 1-3, 2009.

PINTO, J. M. Uso da água em agricultura irrigada no Semiárido brasileiro. In: SÁ, I. B.; DA SILVA, P. C. G. (org.). **Semiárido Brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: EMBRAPA Semiárido, 2010. cap. 10, p. 353-372.

PIZETTA, S. C.; RODRIGUES, R. R.; PEREIRA, G. M.; PACHECO, F. E. D.; VIOLA, M. R.; LIMA, L. A. Calibração de um sensor capacitivo para estimativa da umidade em três classes de solos. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 458-468, 2017. Disponível em: <https://energia.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2297/1744>. Acesso em: 11 maio 2021.

PORTELA, D. da S. **Desempenho da alface (*Lactuca sativa* L.) em diferentes lâminas de irrigação**. 2017. 33 f. Monografia (Graduação em Agronomia), Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2017. Disponível em: <https://rosario.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/1376/1/Danylo%20Portela.pdf>. Acesso em: 29 jun. 2021.

QUINTINO, A.; ANDRADE, P. de J.; DA SILVA, T. J.; CANEPPELE, M. A.; ABREU, J. G. de. Métodos de determinação de umidade nos solos de cerrado. **Enciclopédia biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 22, p. 2202- 2213, 2015. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2015c/agrarias/metodos%20de%20%20%20determinacao.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2021.

ROJA, M.; DEEPTHI, Ch.; DEVENDER REDDY, M. Estimation of Crop Water Requirement of Maize Crop Using FAO CROPWAT 8.0 Model. **Indian Journal of Pure and Applied Biosciences**, v. 8, n. 6, pág. 222-228, 2020.

SANTOS, M. M. dos. **Sistema de manejo inteligente da água no solo: desenvolvimento e calibração**. 2021. 61 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

SANTOS, M. M. dos. **Sistema inteligente de baixo custo para o monitoramento automatizado da umidade do solo**. 2018. 44 f. Monografia (Curso Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos-RN, 2018.

SANTOS, R. M.; OLIVEIRA, A. S. de; VELLAME, L. M.; BRANDÃO, F. J. C. Montagem e acurácia de um sistema experimental de pesagem para calibração de sensores de umidade de solo. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1162-1169, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/5w4GcqsDPBrjGpdZCXhGfyB/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Métodos de Irrigação em Hortaliças**. 2015.

SEGOVIA, J. F. O.; LOPES FILHO, R. P. Irrigação de hortaliças no Estado do Amapá. *In: EMBRAPA - Circular Técnica*. Macapá, 1ª impressão, 2004. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/348926/1/Circular200433.PDF>. Acesso em: 03 ago. 2021.

SILVA, A. H. S.; DA SILVA, M. M.; ZAMORA, V. R. O.; DA SILVA, G. F.; JÚNIOR, J. A. S.; FREIRE, M. M. Viabilidade econômica da cultura do coentro sob gotejamento por pulsos e lâminas crescentes de irrigação. *In: V INOVAGRI International Meeting*, 2019.

SILVA, D. O. M. da. **Validação de um sensor de determinação da umidade do solo para o manejo da irrigação**. 2013. 63f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, 2013. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~cpgea/files/teses/6.pdf>. Acesso em: 17 set. 2021.

SOARES, R. B.; CAMPOS, K. C. Uso e disponibilidade hídrica no Semiárido do Brasil. **Revista de política agrícola**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 48-57, 2013. Disponível em: http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/27483/1/2013_art_rbsoares.pdf. Acesso em: 05 ago. 2021.

SOUZA, N. G. de M.; DA SILVA, J. A.; MAIA, J. M.; SILVA, J. B.; JÚNIOR, E. D. S. N.; MENESES, C. H. S. G. Tecnologias sociais voltadas para o desenvolvimento do semiárido brasileiro. **Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management**, v. 12, n. 3, 2016.

SURENDRAN, U.; SUSHANTH, C. M.; MAMMEN, G.; JOSEPH, E.J. Modelling the crop water requirement using FAO-CROPWAT and assessment of water resources for sustainable water resource management: A case study in Palakkad district of humid tropical Kerala, India. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 1211-1219, 2015.

VOZHEHOVA, R. A. *et al.* Assessment of the CROPWAT 8.0 software reliability for evapotranspiration and crop water requirements calculations. **Journal of Water and Land Development**, p. 147-152, 2018.

WARNER, R.; HOFFMAN, O.; WILHOIT, J. The effects of pulsing drip irrigation on tomato yield and quality in Kentucky. **Fruit and Vegetable Crop Research Report**, v. 1, p. 39-40, 2009.

WIDMOSER, P. A discussion on and alternative to Penman–Monteith equation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, n. 4, p. 711–721, 2009.

XING, Z.; CHOW, L.; MENG, F. R.; REES, H. W.; STEVE, L.; MONTEITH, J. Validating evapotranspiration equations using bowen ratio in New Brunswick, Maritime, Canada. **Sensors**, Lausanne, v. 8, n. 1, p. 412-428, 2008.

ZAMORA, V. R. O. **Gotejamento por pulsos sob cinco lâminas de fertirrigação na produtividade da cultura do coentro**. 2018. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural do Pernambuco, Recife-PE, 2018. Disponível em: <http://www.tede2.ufpe.br:8080/tede2/bitstream/tede2/7638/2/Valentin%20Ruben%20Orcon%20Zamora.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2021b