



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**LUAN VITOR PEREIRA DE OLIVEIRA**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA VIDEIRA COM SISTEMAS AUTOMATIZADOS NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**JUAZEIRO - BA**

**2022**

**LUAN VITOR PEREIRA DE OLIVEIRA**

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA VIDEIRA COM SISTEMAS AUTOMATIZADOS NO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada a Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, Campus Juazeiro, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Júlio Machado Guimarães  
Coorientador: Prof. Dr. Pedro Medeiros

**JUAZEIRO - BA**

**2022**

O48m Oliveira, Luan Vitor Pereira de  
Manejo da irrigação da videira com sistemas automatizados no semiárido brasileiro /  
Luan Vitor Pereira de Oliveira. – Juazeiro-BA. 2022.  
ixv, 65 f.: il.; 29 cm.

Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Agrícola - Universidade Federal do Vale  
do São Francisco, Campus Juazeiro, 2022.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Julio Machado Guimarães.

1. Irrigação agrícola. 2. Uva - cultivo. 3. Sondas. I. Título. II. Guimarães, Miguel J. M. III.  
Universidade Federal do Vale do São Francisco.

CDD 631.587

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF  
Bibliotecário: Márcio Pataro. CRB - 5 / 1369.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Luan Vitor Pereira de Oliveira

“MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA VIDEIRA COM SISTEMAS AUTOMATIZADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO”

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MIGUEL JULIO MACIADO GUIMARAES  
Data: 18/07/2022 16:33:45 0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Miguel Júlio Machado Guimarães, Prof.  
DSc. (PPGEA/IFMA)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** DIAN LOURENCONI  
Data: 20/07/2022 12:10:42 0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dian Lourençoni, Prof. DSc.  
(PPGEA/UNIVASF)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANDERSON SANTOS DA SILVA  
Data: 22/07/2022 22:01:03 0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Anderson Santos da Silva, Prof. DSc.  
(UFAPE)

Juazeiro-BA, 18 de julho de 2022.

## DEDICATÓRIA

À minha mãe, Maria Vilma Pereira e a meu pai, Florisvaldo Rodrigues de Oliveira.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pela força e determinação para realizar essa etapa muito importante para minha vida profissional.

À minha família e amigos, pelo apoio e encorajamento.

A minha companheira Ana Clara, pela compreensão e apoio, nos conselhos e por estar sempre ao meu lado.

Ao Prof. Dr. Miguel, pela orientação e dedicação a um excelente acompanhamento para a realização desse trabalho, apesar das dificuldades enfrentadas.

A Nutritechy® e a Agrosmart® pela disponibilização dos dados e ferramentas, fundamentais e que possibilitaram a realização desse trabalho.

A Fazenda São Pedro, na pessoa do Sr. Francisco Cavalcanti Junior, onde foi realizado o trabalho.

A secretaria do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola em nome da pessoa de Ana Carolina.

A Universidade Federal do Vale do São Francisco e ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola por oferecer uma excelente formação.

*“As pessoas costumam dizer que a motivação não dura sempre. Bem, nem o efeito do banho, por isso recomenda-se diariamente.” - Zig Ziglar*

OLIVEIRA, L.V.P. **Manejo da Irrigação da Videira com Sistemas Automatizados no semiárido brasileiro**. 2022. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

## RESUMO

A videira destaca-se como uma das mais importantes fruteiras da agricultura irrigada no submédio do Vale do São Francisco, devido as condições climáticas da região a irrigação torna-se essencial para a sua produção. A irrigação localizada associada a práticas de manejo da água e utilização de ferramentas tecnológicas pode aumentar a eficiência de aplicação. O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho do manejo da irrigação em função de um sistema automatizado que determina lâminas de reposição a partir das informações climáticas e umidade do solo. Também foi feito um estudo da utilização de uma rede neuro-fuzzy na determinação de lâminas de irrigação no cultivo da videira, baseado em informações de Evapotranspiração diária, Coeficiente cultural e leituras de umidade real do solo, feito por sondas de capacitância FDR em seis profundidades. Os resultados do primeiro artigo demonstram que a utilização de sondas para a determinação de lâminas de reposição se mostrou mais eficiente em relação a produtividade e a eficiência no uso da água, já os parâmetros qualitativos (comprimento dos cachos, comprimento e diâmetro de bagas, peso médio dos cachos, peso médio de bagas e °Brix), apresentaram melhores resultados com o a utilização do manejo climático, exceto para peso de cachos que não apresentou diferença significativa. No segundo estudo os resultados demonstraram que os modelos gerados pelas redes neurais comparados aos valores reais de reposição tiveram um erro de 26,52%, sendo assim, capazes de ser utilizadas para otimizar as quantidades de lâmina de irrigação a serem aplicadas nos cultivos. Os trabalhos demonstraram a importância da utilização de novas tecnologias para aumentar a eficiência do uso da água e eficiência produtiva.

**Palavras-chave:** Sondagens, FDR, neuro-fuzzy, eficiência



OLIVEIRA, L.V.P. **Management of Vine Irrigation with Automated Systems in the Brazilian semi-arid** 2022. 62f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Vale do São Francisco, UNIVASF, Juazeiro-BA.

### **ABSTRACT**

The vine stands out as one of the most important fruit trees in irrigated agriculture in the sub-medium of the São Francisco Valley, due to the climatic conditions of the region, irrigation becomes essential for its production. Localized irrigation associated with water management practices and the use of technological tools can increase application efficiency. The objective of this study was to evaluate the performance of irrigation management as a function of an automated system that determines replacement depths based on climatic information and soil moisture. A study was also carried out on the use of a neuro-fuzzy network in the determination of irrigation depths in vine cultivation, based on information on daily evapotranspiration, cultural coefficient and real soil moisture readings, made by capacitance probes. FDR at six depths. The results of the first article demonstrate that the use of probes to determine replacement blades proved to be more efficient in relation to productivity and efficiency in the use of water, whereas the qualitative parameters (length of bunches, length and diameter of ba -gas, average weight of bunches, average weight of berries and °Brix), showed better results with the use of climate management, except for bunch weight, which showed no significant difference. In the second study, the results showed that the models generated by the neural networks compared to the real replacement values had an error of 26.52%, thus being able to be used to optimize the amounts of irrigation depth to be applied in the crops. . The work demonstrated the importance of using new technologies to increase water use efficiency and productive efficiency.

**Key-words:** Probes, FDR, neuro-fuzzy, efficiency

## LISTAS DE FIGURAS

<b>Artigo 01</b>	p
<b>Figura 01</b> - Trado e cilindros utilizados para a retirada das amostras de solo.	33
<b>Figura 02</b> - Sonda FDR Sentek® DRILL & DROP	34
<b>Figura 03</b> - Dados gerais da Estação meteorológica observados na plataforma digital	35
<b>Figura 04</b> - Dados médios de Temperatura e Radiação Solar no período experimental.	35
<b>Figura 05</b> - Dados médios de Umidade do Ar e precipitação no período experimental.	36
<b>Figura 06</b> - Dados médios de Velocidade de Ventos no período experimental.	36
<b>Figura 07</b> - Balança de precisão, Refratômetro e Paquímetro utilizados para análises	38
<b>Figura 08</b> - Produção em kg por planta, manejo climático x manejo com sensores	39
<b>Figura 09</b> - Produtividade em toneladas por ha e número de cachos por planta, manejo climático x manejo com sensores	40
<b>Figura 10</b> - Eficiência do Uso da Água, manejo climático x manejo com sensores	40
<b>Figura 11</b> - Parâmetros qualitativos	41
<b>Artigo 02</b>	
<b>Figura 01</b> - Trado e cilindros utilizados para a coleta das amostras de solo.	50
<b>Figura 02</b> - Dados gerais da estação meteorológica observados na plataforma digital.	51
<b>Figura 03</b> - Dados médios de temperatura e radiação solar no período experimental	52
<b>Figura 04</b> - Dados médios de umidade do ar e precipitação no período experimental.	52
<b>Figura 05</b> - Dados médios da velocidade do vento no período experimental.	53

<b>Figura 06</b> - Evolução da calibração de erro ao longo de 50 épocas de treino	54
<b>Figura 07</b> - Validação entre os dados calculados e os dados estimados pelo modelo.	58
<b>Figura 08</b> - Gráfico de dispersão entre os valores do banco de dados e os valores preditos.	59

## LISTAS DE TABELAS

### Artigo 1

<b>Tabela 1 -</b>	Fases fenológicas e Kc para BRS Vitória	36
-------------------	---	----

### Artigo 2

<b>Tabela 1 -</b>	Valores médios dos dados de entrada (Eto diária, Kc por fase, Umidade por profundidade a 10-20-30-40-50-60 cm, lâmina de irrigação calculada e estimada pelo modelo, % erro do modelo.	55
-------------------	--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Atm	atmosfera
CC	Capacidade de campo
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ds	Densidade
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Et0	Evapotranspiração de referencia
EUA	Eficiência do uso da água
FDR	Reflectometria no Domínio da Frequência
VBP	valor bruto de produção
TDR	Reflectometria no domínio do tempo
Ha	hectare
Ka	constante dielétrica aparente
Kc	Coeficiente da cultura
PMP	Ponto de murcha permanente
MPa	Mega pascal
VWC	Conteúdo volumétrico de água
BHC	balanço hídrico climatológico
lot	Internet das coisas
SNF	sistema Neuro-fuzzy
ANN	Redes Neurais Artificiaise
FL	Lógica Fuzzy

## LISTA DE SÍMBOLOS

® Registered sign

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	19
2.1 Irrigação do Vale no São Francisco .....	19
2.2 A viticultura no Vale do São Francisco .....	20
2.3 Manejo da irrigação .....	22
2.4 Monitoramento da umidade do solo.....	23
2.5 Redes neurais artificiais, modelagem Neuro fuzzy .....	25
2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	26
3. ARTIGO 1.....	31
MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA VIDEIRA COM SISTEMAS AUTOMATIZADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	31
3.1 INTRODUÇÃO .....	34
3.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.2.1 Caracterização da área.....	35
3.2.2 Caracterização do solo .....	35
3.2.3 Sensores utilizados.....	36
3.2.4 Informações climáticas .....	37
3.2.5 Manejo da irrigação .....	39
3.2.6 Parâmetros quantitativos e qualitativos analisados .....	40
3.2.7 Análise estatística .....	41
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
3.4 CONCLUSÃO.....	45
5. REFERÊNCIAS.....	46
4. ARTIGO 2.....	48

MODELAGEM FUZZY NA DETERMINAÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM VIDEIRAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.....	48
4.1 INTRODUÇÃO .....	51
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	52
4.2.1 Descrição da área experimental .....	52
4.2.2 Análises físicas do solo.....	53
4.2.3 Sensores usados no solo.....	54
4.2.4 Dados dos parâmetros meteorológicos .....	54
4.2.5 Calibração e validação da modelagem neuro-fuzzy .....	56
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.3.1 Fase de calibração do modelo .....	57
4.3.2 Fase de validação e teste do modelo .....	59
4.4 CONCLUSÕES .....	62
4.5 REFERÊNCIAS.....	63



## 1 INTRODUÇÃO

A irrigação no Vale do São Francisco teve seu início na década de 60 com a chegada dos projetos irrigados, hoje além de gerar muitos empregos e movimentar a economia da região, a irrigação tem um grande papel na difusão de tecnologias para o melhor aproveitamento e uso consciente dos recursos naturais, sendo a água e o solo os fatores mais afetados pela exploração gerada pela agricultura. Sabe-se que a agricultura utiliza cerca de 70% da água potável do planeta, assim fazendo-se necessária uma conscientização sobre o seu uso sustentável afim de manter este recurso para as gerações futuras.

A videira destaca-se como uma das mais importantes fruteiras da agricultura irrigada no Vale do São Francisco, sendo que, em 2018, 31% da produção nacional e 14% da área cultivada estão concentrados no Submédio do Vale do São Francisco (IBGE 2020), contribuindo de forma significativa para o desenvolvimento econômico dessa região.

Vale ressaltar que, além do desenvolvimento econômico advindo da vitivinicultura, merece destaque sua importância social como a principal atividade agrícola na geração de empregos por área cultivada, em torno de quatro empregos diretos por hectare, como também a elevada rentabilidade alcançada em pequenas áreas cultivadas, o que viabiliza o cultivo da videira como um negócio atrativo e rentável para a agricultura familiar de base empresarial (LEÃO, 2018).

Na região produtora do Vale do São Francisco, a precipitação anual varia entre 107,20 e 1023,50 mm, com média de 496,83 mm, a cada dois anos é possível observar uma precipitação pluvial igual ou inferior a 462,92 mm (LOPES, 2017).

Ao avaliar o balanço hídrico para os distintos regimes pluviométricos obtidos, pode-se verificar que todos os regimes pluviométricos apresentaram uma deficiência que se estende por todo o ano, com exceção para anos chuvoso e muito chuvoso que apresentam reposição nos meses iniciais do ano. Com essas características de elevada evapotranspiração, precipitação anual baixa e irregular, a irrigação torna-se essencial para viabilizar a produção de culturas perenes. a grande maioria da produção consiste em áreas de cultivo de fruteiras (NASCIMENTO, 2017).

A irrigação é dividida em diferentes métodos e sistemas, que possuem características que se adequam a diferentes situações. Para a agricultura irrigada do Vale do São Francisco, se destacam a irrigação localizada fornecida por gotejadores,

difusores ou microaspersores, este método localizado de irrigação garante uma maior eficiência no fornecimento e distribuição de água para as culturas além de possibilitar a utilização da fertirrigação, que consiste em realizar a adubação junto com a irrigação, otimizando o fornecimento dos nutrientes necessário a produção. Devido a essa maior eficiência, a irrigação localizada consegue proporcionar uma utilização mais racional e com maior sustentabilidade (TESTEZLAF, 2017).

O manejo de irrigação, aliado a métodos mais modernos e precisos de fornecimento de água, é um fator essencial para uma utilização racional dos recursos hídricos. Entre as diferentes estratégias de manejo de irrigação estão: manejo através do balanço hídrico climatológico, manejo através da avaliação da umidade presente no solo, métodos que se baseiam no comportamento planta, como observação de sinais de estresse, dentre outros métodos. Todas essas estratégias buscam a melhor utilização da água, fornecendo em quantidade adequada e no tempo adequado para cada fase fenológica do desenvolvimento da cultura. Com o manejo adequado da água pode-se alcançar um padrão produtivo mais adequado, que cumpre um papel mais sustentável na produção de alimentos e conseqüentemente gerando um maior cuidado com o meio ambiente, esse tipo de ação já é uma exigência de alguns mercados, que só aceitam a importação de produtos que passaram por um processo produtivo sustentável (PIRES et al, 1999).

As principais variáveis envolvidas para o estudo da economia de água, tais como a função de produção água-cultura, preços dos insumos e custo da água de irrigação, são obtidas e/ou determinadas para cada situação específica. Entretanto, esses estudos podem ser perfeitamente regionalizados, desde que essas variáveis possam ser obtidas e/ou consideradas representativas para toda a área de abrangência de um perímetro de irrigação, microbacia hidrográfica ou, até mesmo, região geográfica (CAMARGO, 2016).

Nesse contexto, a utilização de sensores de solo, podem ajudar na melhoria da eficiência do manejo de irrigação. Dessa forma, o FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência) é uma técnica que fornece medições com alta precisão em diferentes profundidades, apresentando vantagens no momento de adquirir dados mais rapidamente, com bastão introduzido em tubos de acesso instalados no campo (ALGHOBARI et al., 2016).

Assim, o presente trabalho busca relacionar a utilização do manejo de irrigação, com sensores de umidade do solo, comparados a estratégia de balanço climático utilizado pelos produtores da região produtora do vale do São Francisco, a fatores produtivos, economia de água e qualidade dos frutos, para comprovação da eficácia dessas estratégias.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Irrigação do Vale no São Francisco**

Existe no mundo atual, cerca de 1,6 bilhão de hectares de solos em produção agrícola com cultivos permanentes e temporários, dos quais cerca de 310 milhões de hectares de solos estão dotados de infraestruturas hídricas dedicadas a irrigação. A produção agrícola dessa área irrigada, que corresponde a cerca de 20% da superfície agricultada no mundo, e responsável por mais de 40% da produção agrícola mundial (ANA, 2017).

Nos últimos 54 anos, a área sob irrigação aumentou 2,2 vezes no mundo, passando de 139 milhões de hectares (que existiam em 1961) para os 310 milhões de hectares. Entretanto, a área em que se pratica a agricultura tradicional, de sequeiro, elevou-se apenas de 26 milhões de hectares (2,1%) acima dos 1.230 milhões de hectares que eram cultivados sem irrigação e que existiam no início da década de 1960 (CHRISTOFIDIS, 2002).

A fruticultura irrigada do Vale do Submédio do São Francisco é um projeto de grande impacto no processo de modernização agrícola do Sertão nordestino. A atividade possibilitou ao longo dos últimos anos impactos na estrutura urbana e rural, dotando o território de capacidade produtiva, fato este que assegura ser esse um dos maiores espaços geográficos com potencial agroexportador do país (ARRUDA, 2017).

O Submédio Vale do São Francisco tem se notabilizado pela produção de frutas para exportação. Mais de R\$ 3 bilhões em valor bruto de produção (VBP) – isto é, a estimativa do valor total obtido pelos agricultores com a venda da produção agrícola – e cerca de 249 mil empregos diretos e indiretos. Esse foi o saldo alcançado, em 2019, pelos projetos públicos de irrigação implantados pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf) na bacia do rio São Francisco. Aproximadamente 3,7 milhões de toneladas de itens agrícolas, sobretudo

frutas, foram produzidos nesses projetos. A área cultivada em 2019 foi de 99,6 mil hectares, favorecendo 11,4 mil famílias, a maioria produtores familiares, que representam mais de 10 mil. No período, o carro-chefe da produção agrícola continuou sendo a fruticultura irrigada, com destaque para uva, manga e banana, principais culturas do Vale do São Francisco, de acordo com o valor bruto de produção. (CODEVASF)

O crescimento do vale do São Francisco deve-se originalmente ao forte apoio recebido do estado, a partir dos anos 60 ocorreu uma concentração de investimentos federais para criação de infraestrutura de irrigação e geração de energia elétrica, o que provocou novos investimentos voltados para o fortalecimento da infraestrutura socioeconômica. Os projetos de irrigação lançaram-se no ramo da fruticultura que se tornou quase uma especialização desse território, contribuindo para mudanças na estrutura econômica local e criando uma nova organização territorial da produção regional (CAVALCANTI, 1995).

## **2.2 A viticultura no Vale do São Francisco**

O Vale do Submédio São Francisco está localizado na região sertaneja no semi-árido do Nordeste do Brasil, tem uma produção anual de mais de um milhão de toneladas de frutas. A produção de uva de mesa e de manga representam 80% dessa produção. É uma das regiões agrícolas mais dinâmica no nordeste brasileiro (LIMA et al, 2017).

A uva é a terceira fruta na pauta de exportações do Brasil, atrás da manga e do melão, e o Submédio do Vale do São Francisco responde por 99% do total das exportações brasileiras dessa fruta desde o ano de 2002, com volumes que atingiram 49,3 mil toneladas em 2020, o que representou um aumento de 9% em relação à 2019 (COMEXSTAT, 2021). Segundo o IBGE (2020), os volumes produzidos na região passaram de 232,8 mil toneladas em 2004 para 469,8 mil toneladas em 2018, um incremento de mais de 50%, enquanto a área cultivada, que em 2018 foi 10.068 ha, apresentou um crescimento neste mesmo período de 23%.

As temperaturas elevadas o ano inteiro, a alta insolação e a baixa umidade relativa aliadas à disponibilidade de água para irrigação favorecem o desenvolvimento de uma viticultura com características peculiares, em relação às demais regiões produtoras de uvas do País. A ocorrência de doenças é reduzida, os frutos podem ser colhidos

com alto teor de sólidos solúveis totais durante todo o ano, e as plantas apresentam redução na duração do ciclo fenológico de 50 a 30 dias em relação a outras regiões de produção do país (LEÃO, 2018).

A viticultura do Vale do São Francisco está concentrada na espécie *V. vinifera* L., para a produção de uvas finas para consumo *in natura* e elaboração de vinhos e espumantes, e uvas da espécie *Vitis labrusca* e híbridas para elaboração de sucos. Novas cultivares estrangeiras procedentes de diferentes empresas privadas de melhoramento do mundo, tais como, entre as mais importantes: Arra 15®, Sugar Crispy®, Sweet Globe® (uvas brancas) e Midnight Beauty®, Sweet Sapphire®, Sweet Celebration® e Sweet Jubille® (uvas tintas), além das novas cultivares de uvas de mesa lançadas pela Embrapa em 2013 – ‘BRS Vitória’, ‘BRS Ísis’ (sem sementes) e ‘BRS Núbia’ (com sementes) – foram adotadas pelos produtores, com ampliação das áreas cultivadas nos últimos anos (LEÃO, 2018).

Aspectos do sistema de produção como sistema de condução, cultivo protegido, espaçamento, porta-enxerto, tipos de poda, densidade de brotos e de cachos, uso de reguladores de crescimento, manejo de água e nutrientes, controle fitossanitário, determinação do ponto de colheita, e uso de tecnologias para aumentar a vida de prateleira precisam ser ajustados para cada uma das cultivares de uvas de mesa (LEÃO, 2021).

No contexto de produção e utilização de terras agrícolas, Britto, 2016, discute a sustentabilidade nos sistemas produtivos que, nos últimos tempos, está sendo mais abordado, devido à crescente conscientização humana sobre as questões essenciais aos problemas socioambientais. O crescimento econômico, fundamentado em uma economia extrativista e consumista tem sido questionado, não apenas no campo acadêmico, mas também pela sociedade. A degradação do ambiente, causada pela extração de excessivos recursos naturais, a utilização de agrotóxicos e a geração de resíduos decorrentes da produção de bens, está despertando questionamentos referentes à qualidade de vida, e à sobrevivência das gerações futuras.

A utilização de práticas conservacionistas na produção de uvas pode influenciar positivamente na qualidade e conservação dos solos, influenciando na disponibilidade de nutrientes. A compostagem é um processo que pode ser utilizado para transformar diferentes tipos de resíduos orgânicos em adubo que, quando adicionado ao solo, melhora as suas características físicas, físico-químicas e biológicas (PINTO, 2017).

### 2.3 Manejo da irrigação

Para atingir os exigentes mercados internacionais a qualidade na produção de frutas é uma exigência mundial, não basta ter um produto de qualidade, mas um sistema de monitoramento da produção, com sustentabilidade, enfatizando a proteção ao meio ambiente, segurança alimentar, condições de trabalho, saúde humana e viabilidade econômica.

A questão relacionada ao consumo de água de uma cultura depende estreitamente da demanda energética e atmosférica do conteúdo de água no solo e da resistência da planta à perda de água para a atmosfera. No que tange a questão do manejo de irrigação, a quantidade de água a ser aplicada em determinada cultura encontra-se associada ao seu ciclo e aos processos de evaporação do solo e de transpiração da planta (LOPES, 2019).

A quantidade e frequência das irrigações devem ser determinadas por meio de pesquisas e não podem ser baseadas em práticas de manejo bem sucedidas em outras condições edafoclimáticas. Uma boa estratégia de irrigação deve aplicar a lâmina de irrigação, baseada em informações do solo, planta, clima e o sistema de irrigação para definir o momento e quantidade ideal das irrigações, maximizando a produção e qualidade do produto (CRUZ, 2019).

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. Isso envolve a decisão de irrigar em quantidades que possam ser armazenadas no solo, na camada correspondente à zona radicular, e em intervalos suficientes para atender à demanda de água das plantas (SOUSA, 2011).

Dentre os potenciais benefícios da irrigação, pode-se destacar: aumento da produtividade da ordem de 2 a 3 vezes em relação à agricultura de sequeiro; redução do custo unitário de produção; utilização do solo durante todo o ano com até três safras ao ano; utilização intensiva de máquinas, implementos e mão-de-obra; aplicação de agroquímicos e fertilizantes por meio do mesmo equipamento da irrigação (quimigação); aumento na oferta e na regularidade de alimentos e outros produtos agrícolas; atenuação do fator sazonalidade climática e dos riscos de produção associados; preços mais favoráveis para o produtor rural; maior qualidade e padronização dos

produtos agrícolas; abertura de novos mercados, inclusive no exterior; produção de sementes e de culturas nobres; elevação da renda do produtor rural; regularidade na oferta de empregos; modernização dos sistemas de produção, estimulando a introdução de novas tecnologias; plantio direto com sementes selecionadas; e maior viabilidade para criação de polos agroindustriais (ANA & Embrapa, 2016; Mendes, 1998).

SEGUNDO, 2011, citando BERNADO, relaciona que a aplicação de água em excesso pode ocasionar, muitas vezes, elevação do lençol freático, salinização do solo e lixiviação dos nutrientes. Por outro lado, quando a quantidade do necessário água é subestimada, há o sub dimensionamento do sistema de irrigação e, como uma consequência, baixo rendimento ou mais frequentemente a incapacidade do sistema de irrigar toda a área de o projeto, ou seja, redução da área a ser irrigada.

Assim, o manejo racional da irrigação significa aplicar a água no momento correto e no volume necessário para a cultura, determinando, assim, a garantia de maior produtividade, aumento da eficiência e redução dos custos de operação do sistema. Uma consequência quase cotidiana do manejo incorreto da irrigação são as aplicações excessivas de água, que acarretam desperdícios e perdas dos recursos hídricos da propriedade e da energia utilizada no bombeamento. É possível ainda afirmar que a maioria dos produtores não faz uso de nenhuma técnica de manejo, aplicando a água baseada na sua experiência diária com o cultivo irrigado. Algumas ações veem sendo tomadas por empresas e universidades que desenvolveram programas computacionais de auxílio ao manejo da irrigação que permitem o acompanhamento das variações climáticas e respeitam as características da propriedade para quantificar a necessidade real de água para as culturas. Adicionalmente, redes meteorológicas vêm sendo implantadas em alguns estados e municípios, visando contribuir para a efetivação de procedimentos mais eficazes no controle da irrigação. (TESTEZLAF, 2017).

Ainda se relacionando o manejo da irrigação com os problemas de disponibilidade de água, erosão e assoreamento dos leitos dos rios, GIL, 2020, estudando o aumento do risco de escassez hídrica em um reservatório da região seca brasileira, concluiu que se não houver uma melhora significativa da eficiência dos sistemas de irrigação a garantia de disponibilidade hídrica pode ser altamente afetada em uma projeção até o ano de 2040.

## **2.4 Monitoramento da umidade do solo**

Segundo Bassoi (2019), atualmente, a inovação é o grande motor do desenvolvimento econômico e dos ganhos de produtividade e sustentabilidade. A capacidade

de inovar é decisiva para a obtenção e manutenção da competitividade em um mercado global. Isso é particularmente verdade no setor agropecuário, no qual novas tecnologias têm proporcionado aumentos significativos de produtividade com sustentabilidade.

O controle da irrigação com base no estado da água do solo é um dos métodos mais úteis de programação devido à sua praticidade e baixo custo (SEGUNDO, 2011). Existem métodos diretos e indiretos para se obter o teor de água no solo. No método direto, gravimétrico é o padrão, sendo preciso e de baixo custo. No entanto, é destrutivo e não pode ser automatizado, o que o torna pouco adequado para monitoramento. Dentre os métodos indiretos, temos a tensiometria, que apresenta baixo custo de instalação e manuseio simples, além disso, nos últimos anos os métodos de TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) e FDR (Reflectometria no Domínio da Frequência) têm se destacado pela precisão dos dados a fim de maximizar a produtividade no campo (SANCHES, 2020).

O tensiômetro que é um aparelho que mede a tensão de água ou potencial matricial do solo, que pode ser convertido para teor de água no solo. Com o auxílio deste aparelho, podemos determinar o teor de água atual no solo, na profundidade de interesse e, conseqüentemente, a quantidade de água armazenada no perfil do solo. A técnica da tensiometria possibilita o monitoramento do uso correto das práticas de irrigação e, também, na tomada de decisão de quando e quanto irrigar (BRAGA, 2010). Apesar de ser um equipamento de baixo custo e de fácil instalação, o uso do tensiômetro requer alguns cuidados, principalmente na hora da instalação e manutenção.

Um sensor é um dispositivo eletrotécnico que responde a um estímulo físico/químico de maneira específica, e que pode ser transformado em uma grandeza física ou um sinal, para fins de medição e/ou monitoramento por um instrumento (Lehmann *et al.* 2012). Os sensores capacitivos fazem uso da Reflectometria do Domínio da Frequência (FDR) para a quantificação do conteúdo de água no solo (SENA, 2020), enquanto que os sensores TDR, fazem uso da Reflectometria do Domínio do Tempo. Ambos se baseiam na constante dielétrica da matriz do solo (ar-solo-água), conhecida como constante dielétrica aparente ( $K_a$ ), conhecendo-se essa variável pode-se determinar a umidade volumétrica do solo indiretamente. Vale destacar que a presença de íons livres, variações na temperatura podem alterar o meio dielétrico e, conseqüentemente o valor da constante dielétrica aparente (SOUZA, 2016).



O conhecimento e monitoramento do conteúdo de água no solo é uma importante ferramenta para o fornecimento de informações destinadas a gestão da agricultura, como manejo da irrigação; estudos hidrológicos e calibração e validação de modelos de água no solo. Em resposta a deficiências no monitoramento do solo, o uso de sensores apresenta-se como uma alternativa viável, uma vez que estes podem fornecer e registrar valores atuais de conteúdo de água de forma instantânea, levando a uma melhor utilização dos recursos hídricos além de uma redução significativa do uso da água enquanto mantém ou aumenta os rendimentos da cultura (SENA, 2020).

## **2.5 Redes neurais artificiais, modelagem Neuro fuzzy**

As redes neurais artificiais são modelos computacionais inspirados no sistema nervoso de seres vivos. Possuem capacidade de aquisição do conhecimento (baseado em informações fornecidas pelo ser humano) e podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento, caracterizadas por neurônios artificiais interligados por um grande número de interconexões (sinapses artificiais), sendo representadas por vetores/matrizes de pesos sinápticos (SILVA et al, 2010).

Segunda Silva (2010), as redes neurais podem ser utilizadas em diversas áreas, como por exemplo: Controle de processos, reconhecimento de padrões, sistema de previsão, otimização de sistemas, memórias associativas, etc.

A lógica *fuzzy*, baseada na teoria dos conjuntos *fuzzy*, permite a representação de problemas que tratam de conhecimento impreciso, diferentemente dos conceitos bem definidos da lógica clássica. A teoria dos conjuntos *fuzzy*, lógica nebulosa ou lógica *fuzzy*, concebida por Zadeh (1965), é um conjunto de elementos com graus ou níveis contínuos de pertinência que representam em termos matemáticos a informação imprecisa do mundo real. O conceito da lógica *fuzzy* é amplamente entendido no mundo real, no qual expressões imprecisas e ambíguas são comumente utilizadas, tais como “muito”, “pouco”, “alto”, “baixo”, “jovem”, “adulto”, e assimiladas pelo raciocínio humano (TANSCHKEIT; GOMIDE; TEIXEIRA, 2007).

A modelagem *fuzzy* é um método que permite descrever as características de um sistema usando regras de inferência *fuzzy* (TAKAGI; SUGENO, 1985).

Os sistemas de inferência *fuzzy* (FIS) são também conhecidos como sistemas baseados em regras, modelos *fuzzy*, memórias associativas *fuzzy* (FAM), ou

controladores *fuzzy* quando usados em controle (JANG, 1995). Esses sistemas precisam do conhecimento de um especialista para definir os valores das variáveis linguísticas e das regras.

O modelo de um sistema de inferência *fuzzy* é composto por 5 partes (JANG, 1993):

1. Interface de fuzzificação que transforma as informações de entrada em conjuntos *fuzzy*;
2. A base de regras que contém as regras do tipo “se ... então” elaboradas pelos especialistas;
3. A base de dados que contém as funções de pertinência dos conjuntos *fuzzy* usados nas regras. Normalmente a base de dados e a base de regras são unificadas formando a base de conhecimento.
4. O método de inferência para saída *fuzzy*;
5. Uma interface de defuzzificação, cuja função é converter os valores *fuzzy* em valores precisos.

## 2.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AL-GHOBARI, H. M.; EL MARAZKY, M. S.; ABOUKARIMA, A. M.; MINYAWI, M. **Calibration of Soil Water Content Data from EnviroSCAN System Using Artificial Neural Network**. American Journal of Experimental Agriculture, v. 12, n. 5, 2016.

ARRUDA A.C. **A fruticultura irrigada do Vale do Submédio do São Francisco e a modernização agrícola do Sertão**. Boletim 02/17. Sebrae, 2017.

BASSOI et al. **Agricultura de precisão e agricultura digital**. teccogs n. 20, jul./dez. 2019.

BRAGA [ET AL.]. **Irrigação na produção integrada de uvas finas de mesa: PI-Uva** — Petrolina: Embrapa Semiárido, 2011. 45 p.: il. color. (Embrapa Semiárido. Documentos, 241).

BRAGA, MARCOS BRANDÃO. **Uso da tensiometria no manejo da irrigação** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. 28 p.: il. (Embrapa Semiárido. Documentos, 235). ISSN 1808-9992.

BRITTO, J. C. **Estratégia de criação de valor compartilhado na atividade vitivinícola orgânica: um estudo de caso da cooperativa vitivinícola Garibaldi LTDA**. Tese (Pós-graduação em Ambiente e Desenvolvimento) /Centro universitário UNIVATES. Lajeado: 2016. Disponível em: <https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1103/1/2016JoaoCarlosBritto.pdf>

CAMARGO, DÉBORA COSTA. **Manejo da Irrigação: como, quando e quanto irrigar?** Fortaleza: INOVAGRI/IFCE, 2016. 26p. : il. ; 27cm.

CAVALCANTI, JOSEFA SALETE BARBOSA & FERREIRA IRMÃO, JOSÉ. (1995). **“Globalização, integração regional e seus impactos sobre a agricultura familiar: um estudo sobre os sistemas de produção do Vale do São Francisco, Nordeste-Brasil”** In: Encontro Nacional do Pipsa, 17, Anais, 1994. Porto Alegre, UFRGS, v. 1, p. 59-72.

COMEXSTAT. **Sistema de Estatísticas do Comércio Exterior. Exportação e importação geral**. Disponível em <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>.

EMBRAPA. 2011. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

GIL M.M.L. et al. **INCREASE IN WATER-SCARCITY RISK IN A BRAZILIAN DRY-REGION RESERVOIR**. Rev. Caatinga, Mossoró, v. 33, n. 4, p. 1025 – 1036, out. – dez., 2020

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Pesquisa Produção Agrícola Municipal**. In: **Sidra: sistema IBGE de Recuperação Automática**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> . Acesso em: Abril de 2021.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Pesquisa Produção Agrícola Municipal**. In: **Sidra: sistema IBGE de Recuperação Automática**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Pesquisa Produção Agrícola Municipal**. In: **Sidra: sistema IBGE de Recuperação Automática**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas> . Acesso em: Abril de 2021.

JANG, J. R. ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, New York, v. 23, n. 3, p. 665-685, 1993.

LEAO, P. C. de S. **Estado atual da cultura da videira no Vale do São Francisco**. Embrapa Semiárido - Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092832> Acesso em: Abril de 2020.

LEHMANN, R. J.; REICHE, R.; SCHIEFER, G. **Future internet and the agrifood sector: state-of-the-art in literature and research**. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 89, p. 158-174, 2012.

LEÃO, P. C. de S. **Avanços e perspectivas da produção de uvas de mesa no Vale do Submédio São Francisco**. Todafruta. Boletim Frutícola Nº15, 2021.

LEAO, P. C. de S. **Estado atual da cultura da videira no Vale do São Francisco. Embrapa Semiárido** - Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1092832> Acesso em: Abril de 2020

LOPES I. et al. **BALANÇO HÍDRICO EM FUNÇÃO DE REGIMES PLUVIOMÉTRICOS NA REGIÃO DE PETROLINA-PE**. Irriga, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 443-457, julho-setembro, 2017

LOPES L. C. L. et al. **PROJETO DE APLICATIVO MÓVEL CAPAZ DE FORNECER INFORMAÇÕES PARA O MANEJO DE IRRIGAÇÃO DO CAFÉ CONILON**. Irriga, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 874-889, outubro-dezembro, 2019

LIMA M. S. M. C. et al. **VITICULTURA NO DESENVOLVIMENTO REGIONAL: PRODUÇÃO, EMPREGO E RENDA NO SUBMÉDIO VALE DO SÃO FRANCISCO**. ISBN 978-989-8780-05-8 | Proceedings 24th APDR CONGRESS. pag 279-289, 2017.

NASCIMENTO et al. **Caracterização de atributos físicos de solos cultivados com videira e mangueira no Submédio São Francisco**. JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 12., 2017, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.

PIRES, R.C. de M et al. **MÉTODOS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO**. Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agrônomo, 1999.

PINTO et al. **COMPOSTAGEM COM DIFERENTES FONTES DE ESTERCOS ENRIQUECIDAS COM YORIN PARA POTENCIALIZAÇÃO DA FERTILIDADE DO SOLO**. Colloquium Agrariae, vol. 13, n. Especial, Jul-Dez, 2017, p. 59-64

Projetos de irrigação da Codevasf produziram mais de 3,7 milhões de toneladas de itens agrícolas em 2019. **CODEVASF**, 2020. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/noticias/2020/projetos-de-irrigacao-da-codevasf-produziram-mais-de-3-7-milhoes-de-toneladas-de-itens-agricolas-em-2019> . Acesso em Maio de 2021.

SANCHES A. C. et al. **CAPACITIVE PROBE CALIBRATION IN EUTROFERRIC LATOSOL RED NITOSOL CULTIVATED WITH IRRIGATED FORAGES.** Irriga, Botucatu, v. 25, n. 1, pág. 38-45, janeiro-março, 2020.

SEGUNDO A.K. R. et al. **DEVELOPMENT OF CAPACITIVE SENSOR FOR MEASURING SOIL WATER CONTENT.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.2, p.260-268, mar./abr. 2011.

SENA C. C. R. et al. **Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.4,p.17228-17240 apr. 2020.

SILVA, I. N.; SPATTI, S. H.; FLAUZINO, R. A. **Redes neurais artificiais: para engenharia e ciências aplicadas.** São Paulo: Artliber, 2010. 399 p.

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, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 5, p. 158-232.

TAKAGI, T.; SUGENO, M. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, New York, v. 15, n. 1, p. 116-132, 1985.

TANSCHKEIT, R.; GOMIDE, F.; TEIXEIRA, M. C. M. Modelagem e controle nebuloso. In: AGUIRRE, L. A. (Ed.). **Enciclopédia de automática**, São Paulo: Edgard Blucher, v. 3, n. 1, p. 283-324, 2007.

ZADEH, L.A. Fuzzy sets. **Information and Control**. New York, v. 8, n. 3, p. 338-353, 1965.

### **3. ARTIGO 1**

## **MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA VIDEIRA COM SISTEMAS AUTOMATIZADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

## MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA VIDEIRA COM SISTEMAS AUTOMATIZADOS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

### RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar o desempenho do manejo de irrigação em videiras utilizando um sistema automático de determinação de lâmina de reposição a partir de informações climáticas e informações de umidade do solo aferidas por sondas de capacitância do tipo FDR, que se configurou em dois tratamentos: T1 manejo climático, considerando parâmetros de coeficiente da cultura e evapotranspiração diária para determinação da lâmina de reposição e T2 manejo com sondas, que levou em consideração além do coeficiente da cultura e evapotranspiração, os valores reais de umidade do solo aferidos pelas sondas. Foram feitas comparações de desempenho dos tratamentos avaliando parâmetros de produtividade em ton/ha, eficiência do uso da água e parâmetros de qualidade, utilizando uma amostragem de quatro cachos por planta, duas plantas por bloco, avaliando o comprimento dos cachos, comprimento e diâmetro de bagas, peso médio dos cachos e bagas e °Brix. Os resultados demonstram que a utilização de sondas para a determinação de lâminas de reposição se mostrou mais eficiente em relação aos parâmetros produtivos e de eficiência no uso da água, os parâmetros qualitativos apresentaram melhores resultados com o a utilização do manejo climático, exceto para peso de cachos.

**Palavras-chave:** coeficiente da cultura, sondas, fdr, eficiência do uso da água



## MANAGEMENT OF VINE IRRIGATION WITH AUTOMATED SYSTEMS IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the performance of irrigation management in vines using an automatic system to determine the replacement depth from climatic information and soil moisture information measured by FDR-type capacitance probes, which were configured in two treatments: T1 climate management, considering parameters of crop coefficient and daily evapotranspiration to determine the replacement blade and T2 management with probes, which took into account, in addition to crop coefficient and evapotranspiration, the real values of soil moisture measured by the probes. Treatment performance comparisons were made, evaluating productivity parameters in ton/ha, water use efficiency and quality parameters, using a sampling of four clusters per plant, two plants per block, evaluating the length of the clusters, length and diameter of berries, average weight of bunches and berries and °Brix. The results demonstrate that the use of probes for the determination of replacement blades was more efficient in relation to the productive parameters and efficiency in the use of water, the qualitative parameters showed better results with the use of climate management, except for weight of curls.

**Key-words:** crop coefficient, probes, fdr, water use efficiency

### 3.1 INTRODUÇÃO

A videira destaca-se como uma das mais importantes fruteiras da agricultura irrigada no Submédio do Vale do São Francisco, sendo que, 31% da produção nacional e 14% da área cultivada estão concentrados no Submédio do Vale do São Francisco (IBGE 2020).

Com uma precipitação anual que varia entre 107,20 e 1023,50 mm, com média de 496,83 mm, na região do Vale do São Francisco, a cada dois anos é possível observar uma precipitação pluvial igual ou inferior a 462,92 mm (LOPES, 2017). Com essas características de precipitação anual baixa e irregular aliada a uma elevada evapotranspiração, a irrigação torna-se essencial para viabilizar a produção de culturas perenes, sendo que a grande maioria da produção consiste em áreas de cultivo de fruteiras (NASCIMENTO, 2017).

A irrigação é dividida em diferentes métodos e sistemas, que possuem características que se adequam a diferentes situações. Para a agricultura irrigada do Vale do São Francisco, se destacam a irrigação localizada fornecida por gotejadores, difusores ou microaspersores, estes métodos localizados de irrigação garantem uma maior eficiência no fornecimento e distribuição de água para as culturas, além de possibilitar a utilização da fertirrigação, que consiste em realizar a adubação junto com a irrigação, otimizando o fornecimento dos nutrientes necessários a produção. Devido a essa maior eficiência, a irrigação localizada consegue proporcionar uma utilização mais racional e com maior sustentabilidade (TESTEZLAF, 2017).

O manejo de irrigação, aliado a métodos mais modernos e precisos de fornecimento de água, é um fator essencial para uma utilização racional dos recursos hídricos. Entre as diferentes estratégias de manejo de irrigação estão: manejo através do balanço hídrico climatológico, manejo através da avaliação da umidade presente no solo, métodos que se baseiam no comportamento planta, como observação de sinais de estresse, dentre outros (PIRES et al, 1999).

Os sensores capacitivos fazem uso da Reflectometria do Domínio da Frequência (FDR) para a quantificação do conteúdo de água no solo (SENA, 2020) esses sensores se baseiam na constante dielétrica da matriz do solo (ar-solo-água), conhecida como constante dielétrica aparente ( $K_a$ ), conhecendo-se essa variável pode-se determinar a umidade volumétrica do solo indiretamente.

Todas essas estratégias buscam a melhor utilização da água, fornecendo em quantidade adequada e no tempo adequado para cada fase fenológica do desenvolvimento da cultura.

Com isso o objetivo desse trabalho foi avaliar a eficiência do uso de sondas FDR no manejo irrigação de videiras na região semiárida brasileira.

## **3.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.2.1 Caracterização da área**

O experimento foi realizado em uma propriedade comercial no perímetro irrigado na região de Petrolina-PE, durante os meses de julho a novembro de 2021. A variedade utilizada para o estudo foi a BRS Vitória. O local encontra-se nas coordenadas geográficas 9°18'10.7"S 40°34'59.4"W e 407m de altitude. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como BSw<sup>h</sup>, ou seja, seco, vegetação xerófito, inverno seco e temperatura no mês mais frio, apresentando em média, superior a 18°C. A temperatura média anual é de 26,0 °C. Na caracterização pluviométrica observou-se um quantitativo anual, variando entre 107,20 e 1023,50 mm, com média de 496,83 mm, a cada dois anos é possível observar uma precipitação pluvial igual ou inferior a 462,92 mm (LOPES et al. 2017).

### **3.2.2 Caracterização do solo**

Para o conhecimento dos parâmetros físicos das áreas, foram coletadas amostras de solos com estrutura preservada para as análises de densidade do solo (Ds) (Embrapa 2011), por meio de anel volumétrico com 0,053 m de altura e 0,05 m de diâmetro, que foram coletadas no centro da camada amostrada, nas profundidades entre 10cm e 20cm, entre 20cm e 40cm, entre 40cm e 60cm, amostras retiradas com o auxílio de um trado (Figura 01). A densidade do solo (Ds) foi calculada pela relação entre a massa do solo seco em estufa a 105 °C e volume da amostra. Também foram determinados a capacidade de campo (CC) a 0.3 atm e ponto de murcha permanente (PMP) a 15 atm através do método descrito por Richards (1947) em que o ponto de murchamento permanente (Pmp) corresponde à água retida no solo a um potencial matricial de -1,500 MPa e à capacidade de campo (Cc) a retida a um potencial de -0,030 MPa.

**Figura 01.** Trado e cilindros utilizados para a retirada das amostras de solo.



**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

### **3.2.3 Sensores utilizados**

Os sensores utilizados para a aferição da umidade do solo foram sensores de capacitância Sentek® DRILL & DROP do tipo FDR (Reflectometria do Domínio da Frequência), que fazem leituras em %VWC (Conteúdo volumétrico de água) a cada 5 minutos e que foram instalados nas parcelas até uma profundidade de 60 cm, sendo que cada sonda é composta por um bastão com 6 sensores, um a cada 10 cm (Figura 02). Os dados obtidos pelos sensores foram coletados e enviados via satélite para o banco de dados, que pode ser acessado através de plataforma digital.

**Figura 02.** Sonda FDR Sentek® DRILL & DROP



**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

### 3.2.4 Informações climáticas

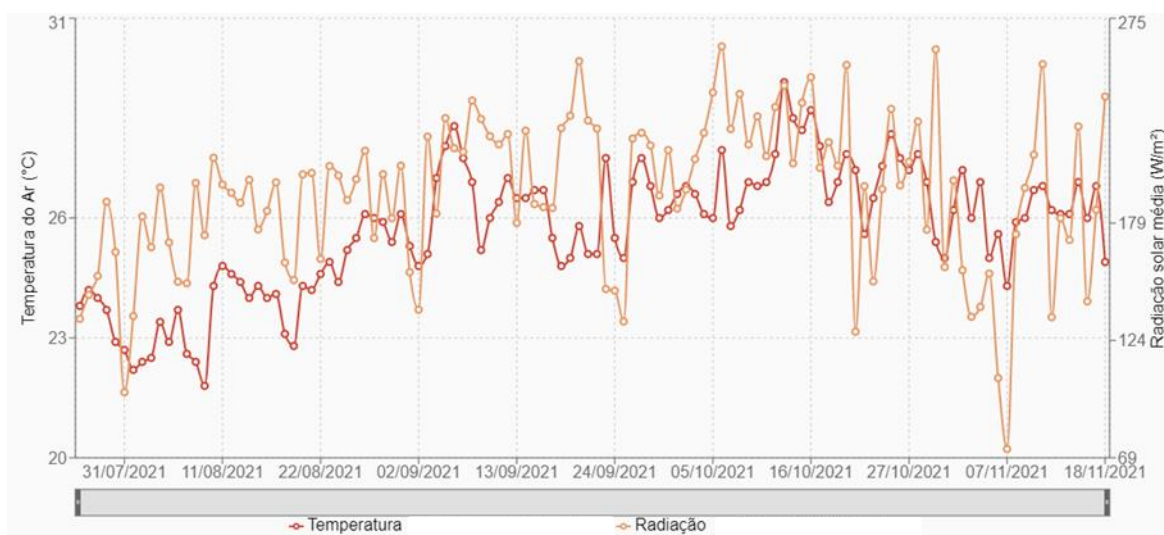
A estação meteorológica que fornece os dados climáticos para a propriedade é uma estação automática Davis® conectada via satélite ao banco de dados da empresa, fornecendo informações de temperatura média (°C), umidade relativa do ar média (%), velocidade média do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ) como mostra a figura 03. Esses dados foram utilizados para determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) em mm, através da equação Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). No período experimental avaliado foram coletadas todas as informações climáticas para a determinação da Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>). As informações de temperatura média (°C) e radiação solar ( $\text{W m}^{-2}$ ), representados da figura 04, umidade relativa do ar média (%), representados na figura 05 e velocidade média do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ), representado na figura 06, foram coletadas pela estação meteorológica automática da empresa parceira.

**Figura 03.** Dados gerais da Estação meteorológica observados na plataforma digital.

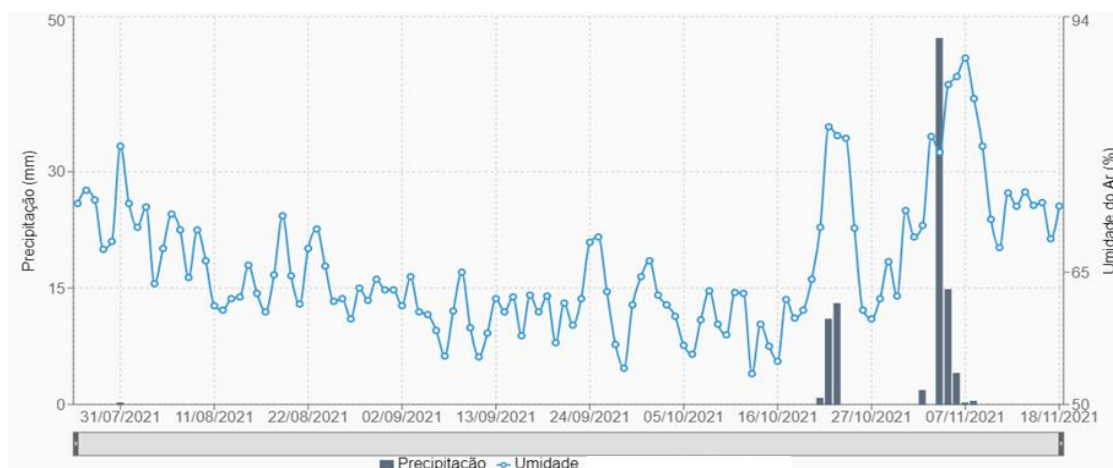


Fonte: Oliveira et al. 2022.

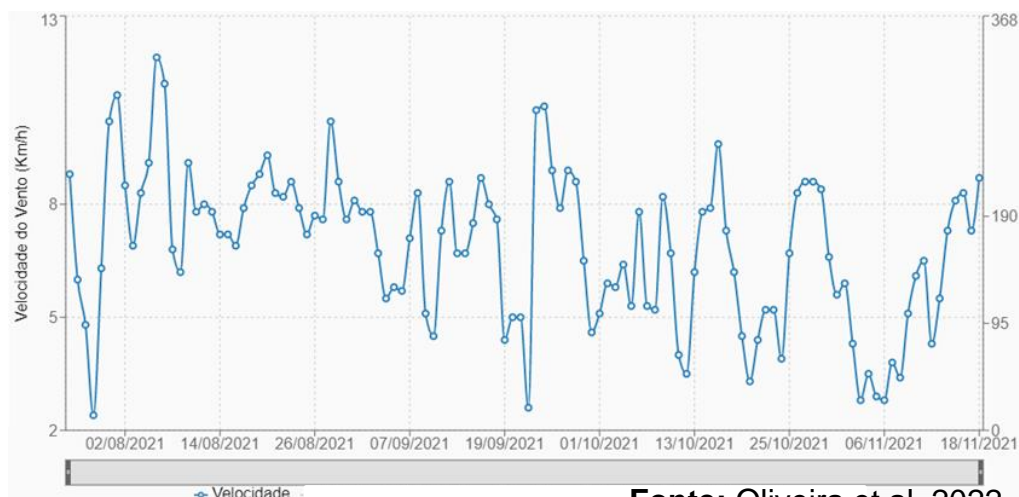
**Figura 04.** Dados médios de Temperatura e Radiação Solar no período experimental.



Fonte: Oliveira et al. 2022.

**Figura 05.** Dados médios de Umidade do Ar e precipitação no período experimental.

**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

**Figura 06.** Dados médios de Velocidade de Ventos no período experimental.

**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

### 3.2.5 Manejo da irrigação

O manejo de irrigação da propriedade utiliza a metodologia do balanço climático, juntamente com os parâmetros de  $K_c$  para a cultura da Uva de acordo com a literatura sugerida pela Embrapa (Embrapa 2016), adequado para cada fase fenológica (Tabela 1). Esses dados, junto com as informações de umidade do solo coletadas pelos sensores FDR, foram utilizados para determinar as lâminas de reposição diárias para cada fase fenológica da cultura.

**Tabela 01.** Fases fenológicas e Kc para BRS Vitória

FASE	IDADE (dias)	Kc
Desenvolvimento vegetativo	0 - 18	0,8
Floração – Chumbinho	19 - 35	0,5
Crescimento de frutos	36 - 70	1
Amolecimento	71 -90	0,8
Maturação	91 -110	0,5

### 3.2.6 Parâmetros quantitativos e qualitativos analisados

Foram coletados os dados de produção por planta, colhendo duas plantas por bloco, com o total de quilos produzidos e comercializados, obtendo-se o valor de produção/ha média e também foi feito o cálculo de eficiência do uso da água utilizando a equação 1.

$$EUA=(\text{Produtividade})/(\text{Irrigação}+ \text{ Chuva efetiva}) \quad (1)$$

Para o cálculo da chuva efetiva foi utilizado a equação (2), considerando a condição (3) e (4). Utilizou-se a profundidade efetiva do sistema radicular de 0,60 m.

$$NAC=(\text{prof.}-AD/100 \times \text{prof.}) \quad (2)$$

Em que:

Produtividade – toneladas por hectare;

Nac - necessidade de água até a capacidade de campo (mm);

Prof - profundidade efetiva do sistema radicular (mm);

AD - água disponível (%);

Ctotal - chuva total (mm);

Cefetiva - chuva efetiva (mm).

$$\text{Se } C_{\text{total}} > N_{\text{ac}}, \text{ então } C_{\text{efetiva}} = N_{\text{ac}} \quad (3)$$

$$\text{Se } C_{\text{total}} < N_{\text{ac}}, \text{ então } C_{\text{efetiva}} = C_{\text{total}} \quad (4)$$



Foram analisados os parâmetros de qualidade e produtividade dos tratamentos, com uma amostragem de quatro cachos por planta, duas plantas por bloco, avaliando o comprimento dos cachos, comprimento e diâmetro de bagas, utilizando um paquímetro de precisão, peso médio dos cachos, peso médio de bagas, utilizando uma balança de precisão e °Brix, utilizando um refratômetro. (Figura 07)

**Figura 07.** Balança de precisão, Refratômetro e Paquímetro utilizados para análises.

A.



**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

B.



### 3.2.7 Análise estatística

Os dados finais obtidos foram submetidos à análise de variância com nível de significância de 5%. Após a verificação da significância da ANOVA, foi utilizado o teste de F para comparações entre as médias de tratamentos.

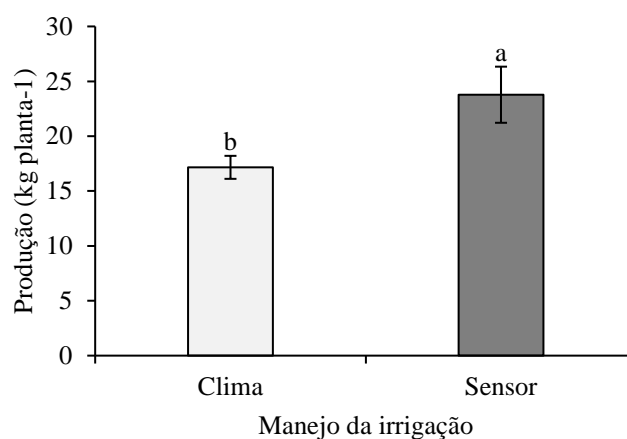
## 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os aspectos produtivos observados mostram bons resultados quando comparados os manejos de irrigação utilizando os dados climáticos e os dados obtidos pelas sondas de umidade do solo.

Na figura 08, observa-se que a produção obteve um resultado maior, com média de 23,78 kg/planta, no manejo realizado utilizando o parâmetro da umidade presente no solo como peso maior para a reposição de água, contra 17,16 kg/planta, no

manejo utilizando os valores de Eto e Kc para a determinação da reposição de lâmina de irrigação.

**Figura 08.** Produção em kg por planta, manejo climático x manejo com sensores

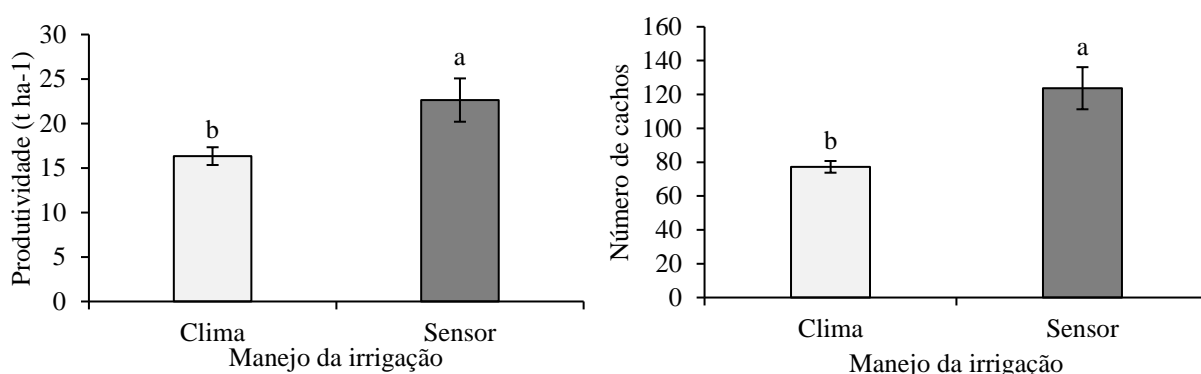


Leão 2020, estudando oito ciclos produtivos da variedade BRS Vitória com diferentes porta enxertos registrou uma produção média de 16,6 kg.planta<sup>-1</sup>, já Marinho et al 2009 em seu estudo com déficit hídrico em videiras da variedade “Superior Seedless” obteve valores entre 17 e 24 kg.planta<sup>-1</sup>.

Para a produtividade foi observado um valor maior para as áreas que utilizaram o manejo de irrigação com sensores, obtendo uma média de 22,63 t ha<sup>-1</sup>, nas áreas que utilizaram o manejo climático para reposição das lâminas de irrigação a média foi de 16,33 t ha<sup>-1</sup>, esses dados produtivos superaram os encontrados por Nunes et al 2015, que registrou produções entre 19 e 11 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente, considerando dois semestres produtivos. Leão e Lima 2016 obtiveram um resultado de 29 t ha<sup>-1</sup> para o primeiro semestre e 44 t ha<sup>-1</sup> para o segundo semestre.

O número de cachos por planta também foi maior no tratamento que utilizou os dados de umidade de solo, onde teve uma média de 123,71 cachos, já o manejo climático obteve uma média de 77,22 cachos por planta, esses dados corroboram em parte com o número médio de cachos por planta descritos por Leão 2020, Leão e Lima 2016 e Nunes et al 2015. Os valores podem ser visualizados na figura 09.

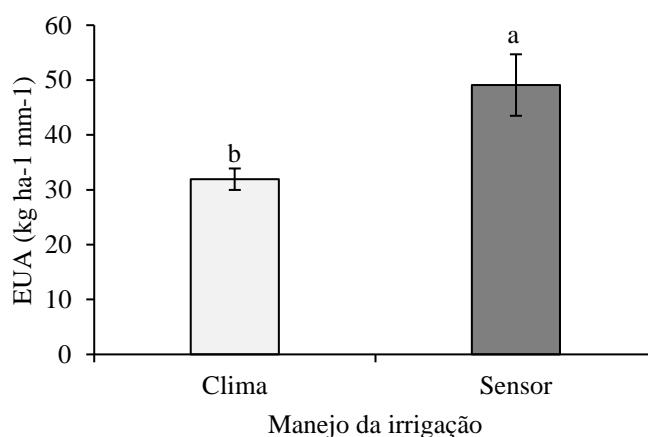
**Figura 09.** Produtividade em toneladas por ha e número de cachos por planta, manejo climático x manejo com sensores



O consumo hídrico nos dois tratamentos foi de 497,73 mm para o manejo de irrigação baseado apenas no clima e de 462,90 mm para o manejo utilizando os sensores. Netto 2000, registrou um consumo de 333,6 mm durante um ciclo produtivo na variedade Itália, já Teixeira et al 1999, obteve um resultado de 503 mm por ciclo produtivo, se aproximando mais dos resultados obtidos nesse estudo.

Os resultados de eficiência no uso da água (EUA) demonstraram uma maior eficiência quando se utilizou dados de umidade real do solo através dos sensores, obtendo valores médios de  $49,09 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , enquanto que o manejo que utilizou o clima teve uma média de  $31,93 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , os valores podem ser observados na figura 10. Marinho et al 2009 obteve uma eficiência que variou entre  $6,42 \text{ kg.m}^{-3}$  a  $9,32 \text{ kg.m}^{-3}$ , regulando o déficit hídrico na fase de maturação com a variedade “Superior Seedless”, já Silva 2013 estudando déficit hídrico na variedade Syrah na região de Petrolina alcançou uma eficiência de 3 a  $4,9 \text{ kg.m}^{-3}$ .

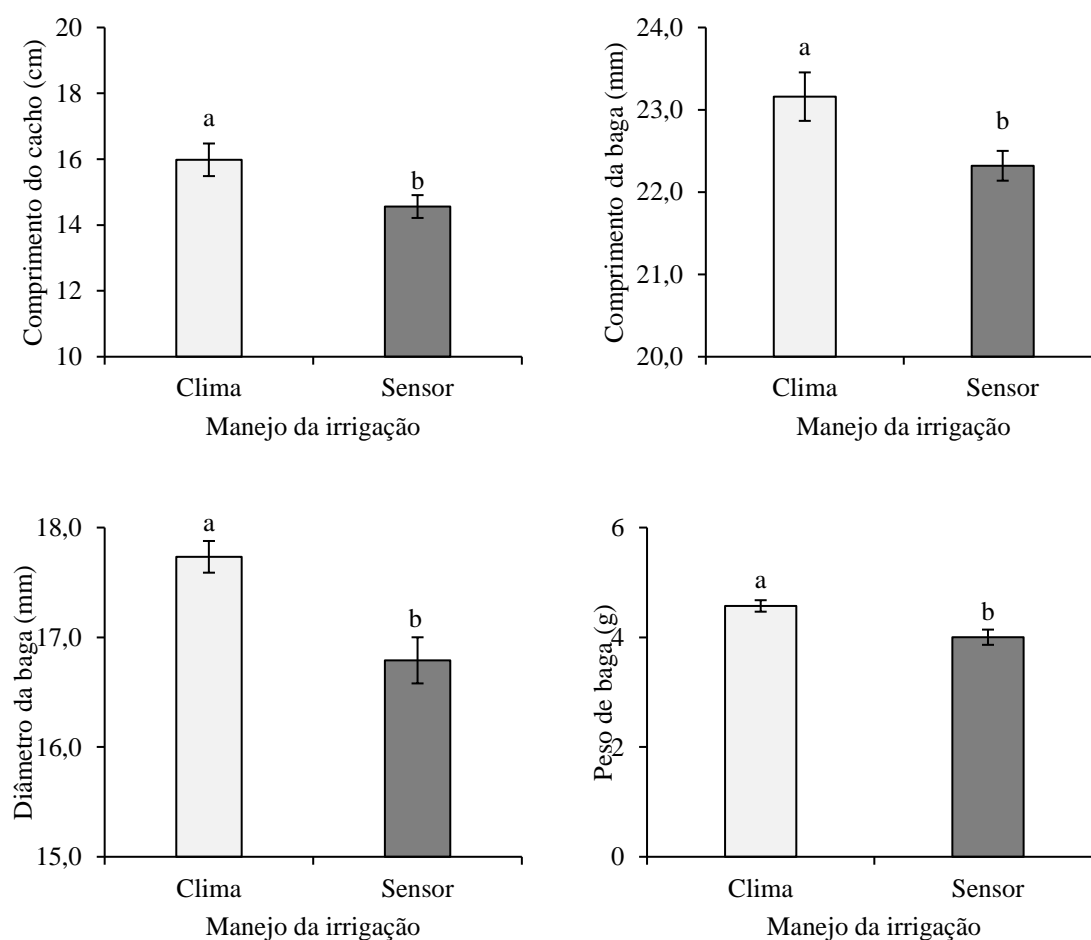
**Figura 10.** Eficiência do Uso da Água, manejo climático x manejo com sensores

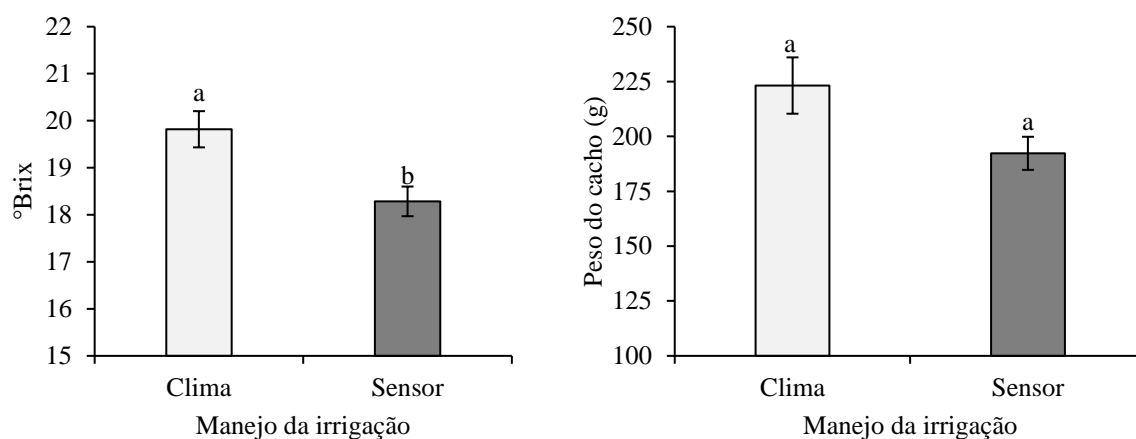


Enquanto aos aspectos qualitativos, pode-se observar um desempenho maior nas áreas onde foi utilizado o manejo climático em relação ao manejo com sensores. O tratamento 01, que utilizou apenas as recomendações baseados no clima, apresentaram médias de comprimento de cachos de 15,98 cm, comprimento de bagas com média de 23,16 mm, diâmetro de bagas, com média de 17,73 mm, peso de bagas, com média de 4,57 g, e °Brix, com média de 19,82. O tratamento 02, que utilizou os dados climáticos e os valores de umidade aferidos por sondas, obtiveram as médias de comprimento de cachos de 14,56 cm, comprimento de bagas de 22,32 mm, diâmetro de bagas de 16,79 mm, peso de bagas de 4 g e °Brix de 18,29 (figura 11).

Os valores médios de peso dos cachos não apresentaram diferença estatística (figura 11). Valores qualitativos semelhantes foram encontrados por Leão 2020, Leão e Lima 2016, Nunes et al 2015, Maia et al 2012, corroborando com este estudo.

**Figura 11.** Parâmetros qualitativos.





O melhor desempenho do manejo climático pode ser explicado devido a menor quantidade de cachos por planta desse tratamento em comparação a tratamento realizado com sensores. A maior quantidade de cachos exige uma maior quantidade de fotoassimilados, o que pode influenciar na qualidade dos frutos, como observado por Junior et al 2007.

Vale destacar que para o presente estudo só foi possível realizar as estimativas produtivas para um semestre, devido a condições adversas causadas pela forte incidência de doenças no segundo ciclo que seria avaliado, comprometendo assim os parâmetros produtivos e qualitativos do experimento.

### 3.4 CONCLUSÃO

- 1- O manejo de irrigação utilizando sensores de solo para a determinação das lâminas de irrigação teve um melhor desempenho tanto da produtividade quanto na eficiência do uso da água.
- 2- O manejo climático obteve melhores parâmetros qualitativos, principalmente pela menor quantidade de cachos por planta.

## 5. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Pesquisa Produção Agrícola Municipal**. In: **Sidra: sistema IBGE de Recuperação Automática**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

EMBRAPA. 2011. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 2011. 230p.

JÚNIOR, M. J. P. et al. **Influência do sistema de condução no microclima, na produtividade e na qualidade de cachos da videira 'niagara rosada', em Jundiá-sp**. Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 29, n. 2, p. 313-317, Agosto 2007.

LEÃO, P. C. de S. et al. **Rootstocks for the new seedless table grape 'BRS Vitória' under tropical semi-arid conditions of São Francisco Valley**. Ciência e Agrotecnologia, 44:e025119, 2020.

LEÃO, P., LIMA, M. **Uva de mesa sem sementes 'BRS Vitória': comportamento agrônômico e qualidade dos frutos no Submédio do Vale do São Francisco**. Comunicado técnico 168, ISSN 1808-9984, 2016.

LOPES I. ET AL. **Balanço Hídrico Em Função De Regimes Pluviométricos Na Região De Petrolina-Pe**. Irriga, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 443-457, julho-setembro, 2017.

PIRES, R.C. de M et al. **MÉTODOS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO**. Centro de Eco-fisiologia e Biofísica do Instituto Agrônômico, 1999.

MAIA, J. et al. **'BRS Vitória'Nova cultivar de uva de mesa sem sementes com sabor especial e tolerante ao míldio**. Bento Gonçalves: EMBRA PA-CNPUV. Comunicado técnico ISSN 1516-8093. Outubro, 12 p. 2012

MARINHO, L. B et al. **Produção e qualidade da videira 'Superior Seedless' sob restrição hídrica na fase de maturação.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.44, n.12, p.1682-1691, dez. 2009

NASCIMENTO et al. **Caracterização de atributos físicos de solos cultivados com videira e mangueira no Submédio São Francisco.** JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 12., 2017, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.

NETTO, J. et al. **Exigências hídricas da videira na região do submédio são francisco.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.35, n.8, p.1559-1566, ago. 2000

NUNES B.T. G. et al. **Produção, Características Agronômicas e Qualidade da Uva 'BRS Vitória' Durante o Primeiro e Segundo Ciclos de Produção no Submédio do Vale do São Francisco.** X Jornada de Iniciação Científica da Embrapa Semiárido, Petrolina, PE, 2015.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações.** Ed. Revisada. Não publicada. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP 2017.

TEIXEIRA, A.H. de C. et al. **Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de petrolina, pe.** Revista Brasileira Eng. Agríc. Ambiental, Campina Grande, v.3, n.3, p.413-416, 1999.

RICHARDS, L.A. **Pressure-membrane apparatus, construction and use.** Agronomy Engineering, Madison, n.28, p.451-4, 1947.

SENA C. C. R. et al. **Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.4,p. 17228-17240 apr. 2020.

SILVA, J. **Estratégias de irrigação para economia de água em videira cv. Syrah no Vale do Submédio São Francisco.** XI.; 56f.; il.29 cm. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2013.

#### **4. ARTIGO 2**

**MODELAGEM FUZZY NA DETERMINAÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM  
VIDEIRAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**



## MODELAGEM FUZZY NA DETERMINAÇÃO DE LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM VIDEIRAS NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO

### RESUMO

O objetivo desse estudo foi avaliar a aplicação de uma rede neuro-fuzzy na determinação de lâminas de irrigação no cultivo da videira, baseado em informações de evapotranspiração diária, coeficiente de cultura e leituras de umidade real do solo a partir das sondas de capacitância FDR em seis profundidades. A cultura da videira destaca-se como uma das mais importantes fruteiras da agricultura irrigada presente no Vale do São Francisco, devido às condições climáticas da região essencial ao desenvolvimento da cultura. Entre os diferentes métodos de irrigação, a irrigação localizada destaca-se devido à maior eficiência de aplicação. A utilização de sondas de capacitância para a determinação da umidade do solo, aliado às redes neurais artificiais, como os modelos neuro-fuzzy, pode determinar a condição e a quantidade ideal para a reposição de água nos sistemas irrigados, tornando a atividade mais sustentável. Os resultados demonstram que os modelos gerados pelas redes neurais comparados aos valores reais de reposição, tiveram um erro de 26,52%, sendo assim, podem ser utilizadas para otimizar o volume de água via lâmina de irrigação a serem aplicadas nos cultivos.

**Palavras-chave:** sensoriamento remoto, umidade do solo, coeficiente da cultura, semiárido, nordeste.

## FUZZY MODELING IN THE DETERMINATION OF IRRIGATION LEVELS IN VINEYARDS IN THE BRAZILIAN SEMI-ARID

### ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate a neuro-fuzzy network in the determination of irrigation depths in the cultivation of the vine, based on information of daily evapotranspiration, crop of coefficient and readings of real soil moisture, made by FDR capacitance probes in six depths. The vine stands out as one of the most important fruit trees in irrigated agriculture in the São Francisco Valley, due to the climatic conditions of the region, irrigation is essential for production. Of the different irrigation methods, spot irrigation is among the methods with the highest application efficiency. The use of capacitance probes to determine soil moisture, combined with artificial neural networks, such as neuro-fuzzy models, can determine the ideal condition and amount for water replacement in irrigated systems, making the activity more sustainable. The results demonstrate that the models generated by the neural networks compared to the real values of replacement had a error of 26,52%, therefore, they can be used to optimize the amounts of irrigation depth to be applied in the crops.

**Keywords:** remote sensing, soil moisture, crop coefficient, semiarid, northeast.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A videira destaca-se como uma das mais importantes fruteiras da agricultura irrigada no Vale do São Francisco, sendo que, 31% da produção nacional e 14% da área cultivada estão concentrados no Submédio do Vale do São Francisco (IBGE, 2020).

Na região produtora do Vale do São Francisco, a precipitação anual varia entre 107,20 e 1023,50 mm, com média de 496,83 mm, a cada dois anos é possível observar uma precipitação pluvial igual ou inferior a 462,92 mm (LOPES et al., 2017).

Com essas características de precipitação anual baixa e irregular aliada a uma elevada evapotranspiração, a irrigação torna-se essencial para viabilizar a produção de culturas perenes, sendo que a grande maioria da produção consiste em áreas de cultivo de fruteiras (NASCIMENTO et al., 2017).

A irrigação é dividida em diferentes métodos e sistemas, que possuem características que se adequam a diferentes situações e no Submédio Vale do São Francisco, se destacam a irrigação localizada fornecida por gotejadores, difusores ou microaspersores, estes métodos localizados de irrigação garantem uma maior eficiência no fornecimento e distribuição de água para as culturas, além de possibilitar a utilização da fertirrigação, que consiste em realizar a adubação junto com a irrigação, otimizando o fornecimento dos nutrientes necessários a produção. Devido a essa maior eficiência, a irrigação localizada consegue proporcionar uma utilização mais racional e com maior sustentabilidade (TESTEZLAF, 2017).

O manejo de irrigação, aliado aos métodos mais modernos e precisos de fornecimento de água, é um fator essencial para uma utilização racional dos recursos hídricos atualmente, pois diferentes estratégias de manejo de irrigação estão sendo implementados como o uso do balanço hídrico climatológico (BHC), manejo através da umidade presente no solo, métodos baseados no comportamento planta a partir dos sinais de estresse, sensores e infraestrutura computacionais para aplicações em “internet das coisas” (IoT) embarcada com métodos e tecnologias inovadoras, objetivando reduzir o consumo hídrico das culturas, aumentando a eficiência e diminuindo as perdas. (EMBRAPA, 2020)

Outra estratégia usada no campo para otimização dos recursos hídricos, são os sensores capacitivos que utilizam a Reflectometria do Domínio da Frequência (FDR) para a quantificação do conteúdo de água no solo, baseando-se na constante

dielétrica da matriz do solo (relação: ar-solo-água), conhecida como constante dielétrica aparente ( $K_a$ ), que esta variável poderá determinar a umidade volumétrica do solo indiretamente (SENA et al., 2020).

Um sistema Neuro-fuzzy (SNF), é um tipo de sistema híbrido incorporado constituído pela combinação de duas técnicas de modelagem, as Redes Neurais Artificiais (ANN) e a Lógica Fuzzy (FL), onde essa última vem mostrando superioridades quando comparado com modelos estatísticos aplicados em dados biométricos quando submetidos a diferentes lâminas de irrigação. (BOSO et al. 2021)

A utilização de sensores de solo para identificação de umidade e de estação meteorológica no cômputo da evapotranspiração real, associada à utilização de inteligência artificial através de modelagem fuzzy e neuro-fuzzy, pode ser uma ferramenta utilizada para otimizar os processos de irrigação em diferentes manejos agrônômicos, fornecendo a quantidade adequada de água para as culturas. (BOSO et al. 2021)

Diante do exposto, objetivou-se com o presente trabalho, avaliar a utilização de modelagem neuro-fuzzy na determinação de lâminas de reposição de água, baseadas em valores de evapotranspiração, coeficiente de cultura e umidade do solo coletadas por sonda FDR.

## **4.2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.2.1 Descrição da área experimental**

O experimento foi realizado em uma propriedade comercial no perímetro irrigado na região de Petrolina-PE, no Submédio do Vale do São Francisco, durante os meses de julho a novembro de 2021. O local encontra-se nas coordenadas geográficas: 9°18'10,7"S; 40°34'59,4"O, à 407 m de altitude, aproximadamente. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é classificado como BSw<sup>h</sup>, ou seja, seco, vegetação xerófila, inverno seco e temperatura no mês mais frio, apresentando em média, superior a 18°C, mas a temperatura média anual é de 26,0 °C.

Na caracterização pluviométrica observou-se um quantitativo anual, variando entre 107,20 e 1023,50 mm, com média de 496,83 mm, a cada dois anos é possível observar uma precipitação pluvial igual ou inferior a 462,92 mm (LOPES et al. 2017).

#### 4.2.2 Análises físicas do solo

Para o conhecimento dos parâmetros físicos das áreas, foram coletadas amostras de solos com estrutura preservada para análise de Densidade do Solo ( $D_s$ ), em laboratório, conforme metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2011). Dispondo de um anel volumétrico dimensionado com 0,053 m de altura por 0,05 m de diâmetro, foram coletadas amostras no centro da camada amostrada nas profundidades obedecendo os intervalos de 10 a 20 cm, 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm, em seguida essas amostras foram retiradas com o subsídio de um trado (Figura 1).

**Figura 1.** Trado e cilindros utilizados para a coleta das amostras de solo.



**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

A Ds foi obtida entre a relação da massa do solo seco (MSS) em estufa a 105 °C e o volume da amostra. Também foram determinados a capacidade de campo (CC) a 0,3 atmosferas (atm) e ponto de murcha permanente (PMP) a 15 atm através do método descrito por Richards (1947), onde o PMP corresponde à água retida no solo a um potencial matricial de -1,500 MPa e à CC retida a um potencial de -0,030 MPa.

#### 4.2.3 Sensores usados no solo

Na aferição da umidade do solo foram usados os sensores de capacitância Sentek® DRILL & DROP do tipo FDR, que fazem leituras do conteúdo volumétrico de água (VWC %) a cada 5 minutos e que foram instalados nas parcelas até uma profundidade de 60 cm, sendo que cada sonda estava composta por um bastão com 06 sensores, um a cada 10 cm. Os dados obtidos pelos sensores foram coletados e enviados via satélite para o banco de dados, que pode ser acessado a partir de uma plataforma digital.

#### 4.2.4 Dados dos parâmetros meteorológicos

A estação meteorológica que fornece os dados meteorológicos para a propriedade é uma estação automática da fornecedora Davis® que é conectada via satélite ao banco de dados da empresa, fornecendo informações de temperatura média (°C), umidade relativa do ar média (%), velocidade média do vento ( $m s^{-1}$ ) e radiação solar ( $W m^{-2}$ ), conforme ilustra a Figura 2.

**Figura 2.** Dados gerais da estação meteorológica observados na plataforma digital.



Fonte: Oliveira et al. 2022.

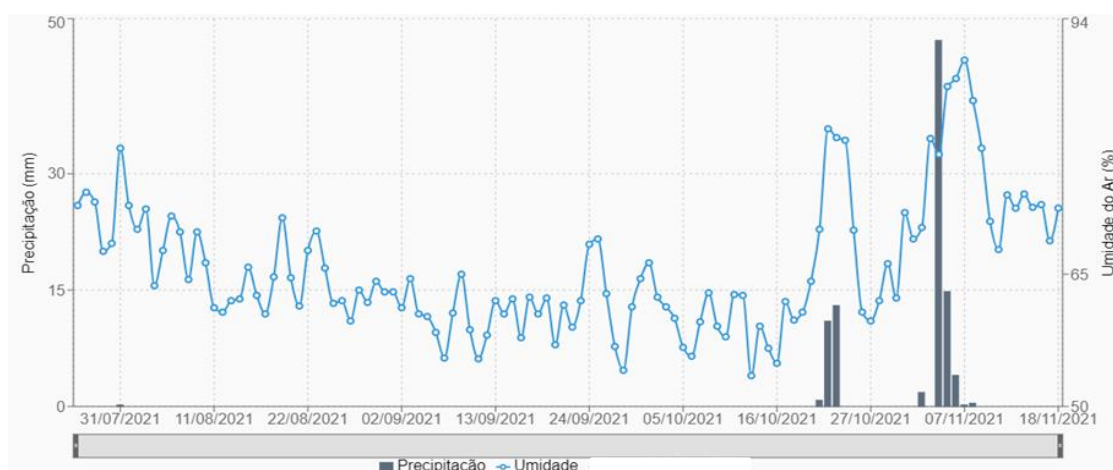
Esses dados citados anteriormente foram utilizados para determinação da Evapotranspiração de Referência (ET<sub>o</sub>) em mm, através da equação Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998). No período experimental avaliado foram coletadas todas as informações meteorológicas para a determinação da Eto. As informações de temperatura média (°C) e radiação solar ( $W m^{-2}$ ), representados da Figura 3; umidade relativa do ar média (%) ilustrado na Figura 4; e velocidade média do vento ( $m s^{-1}$ ), proposto na Figura 5; dados esses que foram coletados pela estação meteorológica automática da empresa parceira.

**Figura 3.** Dados médios de temperatura e radiação solar no período experimental



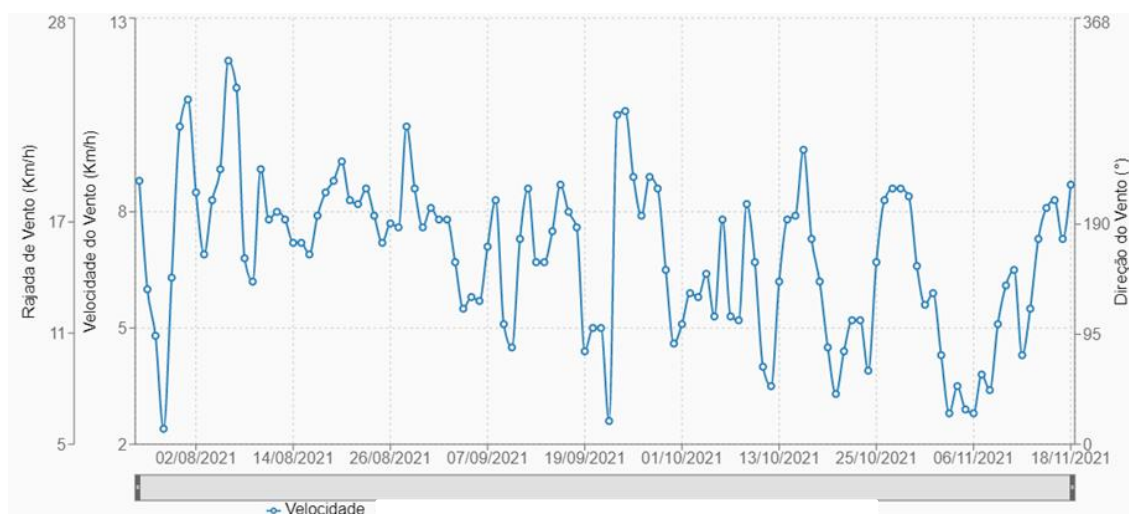
Fonte: Oliveira et al. 2022.

**Figura 4.** Dados médios de umidade do ar e precipitação no período experimental.



Fonte: Oliveira et al. 2022.

**Figura 5.** Dados médios da velocidade do vento no período experimental.



**Fonte:** Oliveira et al. 2022.

O manejo de irrigação da propriedade utiliza a metodologia do balanço hídrico climatológico (BHC), juntamente com os parâmetros de coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para a cultura da uva de acordo com a literatura sugerida pela EMBRAPA (2016), ideal à cada fase fenológica. Esses dados, junto com as informações de umidade do solo coletadas pelos sensores FDR, foram utilizados para determinar as lâminas de irrigação e reposição diárias para cada fase fenológica da cultura.

#### 4.2.5 Calibração e validação da modelagem neuro-fuzzy

A modelagem neuro-fuzzy foi baseada no sistema de inferência difusa do tipo Takagi-Sugeno (FIS). Neste sistema, as estruturas de entrada e saída são baseadas em regras; no entanto, as respostas das regras são formadas por funções quebradas (não fuzzy) (TAKAGI & SUGENO, 1985), em seguida o banco de dados foi implementado através da função `anfisedit` da toolbox fuzzy logic do software MATLAB (Mathworks®-Fuzzy Logic Toolbox, 2002).

Para calibração, validação e teste dos modelos baseados em neuro-fuzzy, foi utilizado o banco de dados coletado durante o período experimental. Utilizou-se oito variáveis de entrada, sendo elas: os valores do  $K_c$  da videira por fase fenológica, a  $E_{To}$  diária do período avaliado, % VWC médio diário para as profundidades de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 cm. Já a variável de saída, foi o valor da lâmina de irrigação ou reposição diária da água em milímetros (mm).



Cada conjunto de dados foi dividido em três subgrupos (calibração, validação e testes), que foram usados para modelar as neuro-fuzzy. De todos os dados, 70% do conjunto foram utilizados para calibração e 30% dos dados utilizados para validação e testes.

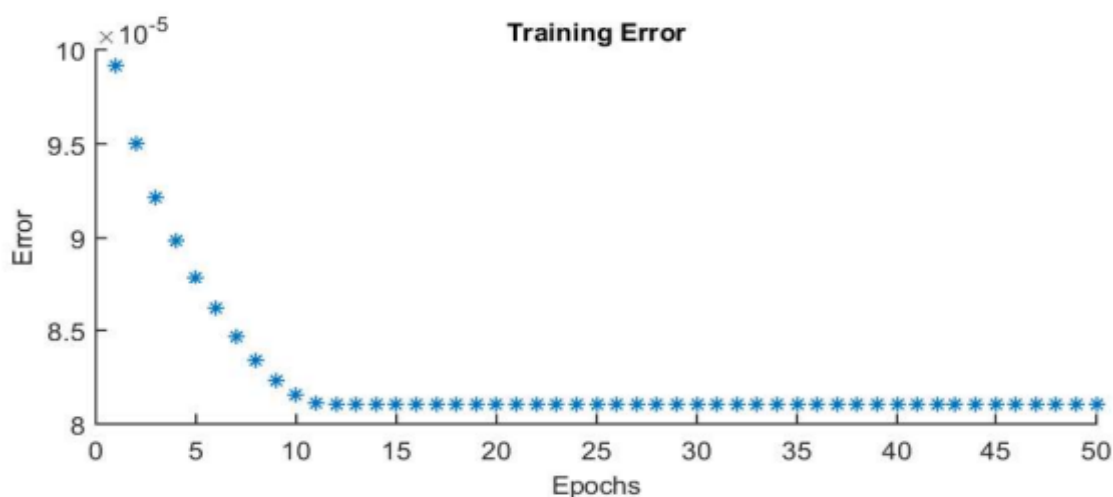
Foram utilizadas 50 épocas e o método de otimização híbrido para realizar a calibração do modelo neuro-fuzzy, onde a calibração foi interrompida quando o erro e validação estiveram estabilizados.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.3.1 Fase de calibração do modelo

Na fase de calibração do modelo, observou-se uma queda do erro à medida que se foi avançando nas épocas de treinamento, com uma queda e estabilidade do erro após a 10ª época de treino, como podemos observar na Figura 6.

**Figura 6.** Evolução da calibração de erro ao longo de 50 épocas de treino.



Em um estudo abordado por Putti et al. (2022), constataram que as simulações e treinamentos a partir da modelagem fuzzy proporcionaram uma acurácia importante nos resultados obtidos assim como na predição de certas variáveis, trazendo confiabilidade nos dados propostos na objetividade de uma determinada pesquisa, ao aplicar essa metodologia no comportamento da irrigação com água salina na cultura do rabanete, onde apesar dos resultados, perceberam que a modelagem inferiu pontos

não descobertos experimentalmente, corroborando com os resultados obtidos nesse estudo.

Já Maziero et al. (2021) observou em seu trabalho com modelagem neuro-fuzzy da evapotranspiração baseada no método de Camargo, em um treinamento de 100 épocas, perceberam uma redução do erro foi à medida que se avançaram as épocas de calibração, saindo de 0,07 na primeira interação para 0,015 a partir da época 98.

Na Tabela 1 são mostrados os valores de coeficiente de cultura usados em cada fase fenológica da cultura, a evapotranspiração média e os valores médios umidades do solo para cada profundidade, além dos valores calculados das lâminas de irrigação em função dos valores preditos pelo modelo.

**Tabela 1.** Valores médios dos dados de entrada (Eto diária, Kc por fase, Umidade por profundidade a 10-20-30-40-50-60 cm, lâmina de irrigação calculada e estimada pelo modelo, % erro do modelo.

Fase fenológica	Kc	ETo (mm)	Umidade do solo (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )						Lâmina calculada (mm)	Lâmina estimada (mm)	Erro %
			Profundidade (cm)								
			10	20	30	40	50	60			
Poda	0,6	2,0	13,6	17,3	25,1	25,5	26,4	26,3	1,20	0,910	24,196
	0,6	2,9	14,4	18,1	25,5	26,0	27,2	27,4	1,74	1,912	9,901
	0,6	2,8	13,5	17,0	24,8	25,2	26,0	25,6	1,68	1,185	29,436
	0,6	2,6	14,2	17,6	25,0	25,2	26,3	25,8	1,56	1,166	25,240
	1,0	5,1	8,10	11,1	16,8	20,2	22,1	22,2	5,10	5,080	0,383
Brotação	1,0	4,9	8,60	11,3	16,9	20,2	22,2	22,3	4,90	4,901	0,028
	1,0	6,3	9,20	11,7	17,0	20,4	22,3	22,4	6,30	4,594	27,087
	1,0	5,7	10,3	12,6	17,1	20,4	22,4	22,4	5,70	2,563	55,028
	1,0	5,0	11,0	12,8	17,2	20,6	22,4	22,5	5,00	2,210	55,809
	1,0	5,4	8,50	11,3	17,3	20,7	22,6	22,6	5,40	5,080	5,917
	1,2	4,8	11,1	13,0	22,2	22,9	23,8	24,0	5,76	5,774	0,243
	1,2	4,1	11,0	14,7	23,2	23,0	23,8	24,0	4,92	4,934	0,292
	1,2	5,0	12,6	16,6	23,8	23,0	23,8	24,0	6,00	5,206	13,239
	1,2	5,1	13,0	17,0	23,6	22,8	23,8	24,0	6,12	4,835	20,997
	1,2	4,5	11,8	15,0	21,5	22,7	23,9	24,1	5,40	5,208	3,548
Crescimento de frutos	1,2	4,7	9,50	11,7	19,6	22,7	24,0	24,2	5,64	3,310	41,311
	1,2	5,4	8,90	11,9	20,5	22,9	24,1	24,3	6,48	5,753	11,225
	0,7	4,5	13,3	18,5	26,4	26,0	26,7	26,3	3,15	1,743	44,674
	0,7	4,3	14,1	19,1	26,6	26,2	26,8	26,1	3,01	1,001	66,733
	0,7	3,3	13,4	18,4	26,3	25,6	25,8	25,8	2,31	2,865	24,035
Amolecimento	0,7	3,6	13,5	18,4	26,1	25,4	25,8	25,9	2,52	2,599	3,133
	0,7	4,3	13,4	18,3	26	25,4	25,9	26,0	3,01	2,509	16,634

	0,7	3,9	13,2	18,1	25,9	25,6	26,2	26,3	2,73	2,166	20,668
	0,7	4,0	13,1	18,2	25,9	25,8	26,6	26,6	2,80	1,764	36,988
	0,7	4,3	13,6	18,6	26,1	26,1	27,1	27,0	3,01	0,893	70,341
	0,5	3,7	13,5	18,1	25,5	25,1	25,3	25,4	1,85	1,869	1,026
Matura- ção	0,5	3,7	13,0	17,7	25,2	24,9	25,2	25,4	1,85	1,366	26,166
	0,5	3,7	12,3	17,3	25,0	25,0	25,4	25,4	1,85	1,306	29,430
	0,5	4,1	12,6	17,5	25,0	25,0	25,4	25,4	2,05	1,346	34,363
	0,8	3,3	12,9	17,4	25,0	25,0	25,5	25,6	2,64	2,278	13,707
	0,8	3,4	13,6	17,8	25,5	25,7	26,2	26,0	2,72	1,700	37,490
Colheita	0,8	3,1	13,6	17,7	25,4	25,7	26,6	26,3	2,48	0,523	78,901
	0,8	3,1	12,9	17,7	25,6	26,0	27,2	26,7	2,48	2,070	16,523
	0,8	3,0	13,6	18,0	25,3	25,9	27,1	25,9	2,40	1,030	57,076

Levando em consideração diferentes lâminas de irrigação mas apresentando a melhor predição da produtividade àquela em função de 100% da ETc na cultura do rabanete, quando comparados com o modelo de regressão polinomial a modelagem fuzzy apresentou melhor desempenho na predição da produtividade, menor erro, melhor correlação entre as variáveis além do comportamento da sua curva fuzzy quando correlacionou a produtividade em função das lâminas nas diferentes produtividade, resultados estes constatados por Boso et al. (2021).

#### 4.3.2 Fase de validação e teste do modelo

Na validação do modelo, comparando os dados reais de volume de irrigação com os valores estimados pelo modelo, observa-se um erro médio de 26,5226%. Os dados estimados variaram para mais ou para menos de acordo com os valores de umidade do solo coletados pelos sensores (Tabela 1). Essa variação torna a recomendação mais ajustada, pois leva em consideração as umidades reais do solo, na profundidade de 10 a 60 cm em um intervalo de 10 cm, indicando se o solo está mais próximo da CC ou mais próximo do PMP, além dos dados de Kc e Eto.

Segundo Soares et al. (2014), a utilização de redes neurais artificiais para a estimativa da curva de retenção da água em solos mostrou-se altamente eficiente nas predições proposta pela modelagem, influenciando diretamente no conhecimento sobre o cômputo da CC e do PMP no manejo de perímetros irrigados.

De acordo com Lins et al. (2021), estudando temperaturas oculares em frangos, observaram que o sistema de lógica fuzzy previu a temperatura ocular dos animais, com desvio padrão médio de 0,5 °C e erro percentual médio de 1,71 % para

modelagem utilizando dados de temperatura de bulbo seco e umidade relativa do ambiente externo.

Os resultados obtidos nesse estudo corroboram com os encontrados por Vivekanandhan et al. (2021), onde foi observado erros de até 12,3%, com precisão acima de 80% ao avaliar a aplicação de sistemas neuro-fuzzy para o manejo da irrigação de forma inteligente.

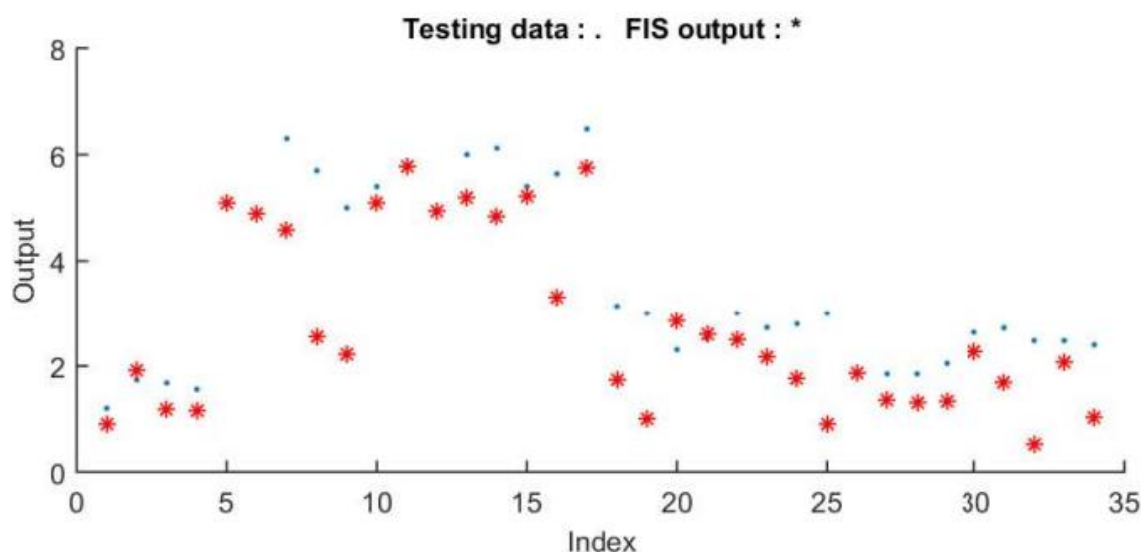
Segundo Boso et al. (2021) validaram a aplicação da modelagem fuzzy e outros modelos de regressão na cultura do rabanete, buscando respostas no desenvolvimento biométrico da planta em função da variabilidade percentual da evapotranspiração da cultura (ETc) submetida à diferentes lâminas de irrigação e constataram a superioridade analítica desta modelagem em relação aos outros modelos no que diz respeito às variáveis biométrica e a percepção de significativas produtividades utilizando lâminas de irrigação de 75% da ETc, otimizando os recursos hídricos.

Gabriel Filho et al. (2022) testaram em casa de vegetação, a modelagem fuzzy na cultura da beterraba (cultivar Early Wonder) em função dos níveis de irrigação baseado no intervalo percentual crescente da ETc e observaram respostas distintas no diâmetro e comprimento do bulbo impactando diretamente na produtividade, mostrando sensibilidade à disponibilidade hídrica onde seu melhor desempenho foi com irrigação à 100% da ETc, com exceção de outra cultivar (Itapuã 202) por ser resistente ao estresse hídrico, apresentou resultados satisfatório em lâminas de irrigação inferiores à 100% da ETc proporcionando uma opção em regiões com limitações hídricas.

Resultados promissores ao utilizar lógica neuro-fuzzy para estimar parâmetros de distribuição de água no solo em sistemas de irrigação localizada por pulso, nos quais, verificaram melhorias de até 30% na distribuição da água no solo ao realizar o manejo da irrigação com lógica neuro-fuzzy (KISI et al., 2021).

Na Figura 7 observamos o comportamento dos valores de entrada comparados aos valores estimados pelo modelo. Na validação, os pontos representados por (\*) foram os valores gerados pelo modelo e os valores usados como dados de entrada foram representados por (O).

**Figura 7.** Validação entre os dados calculados e os dados estimados pelo modelo.



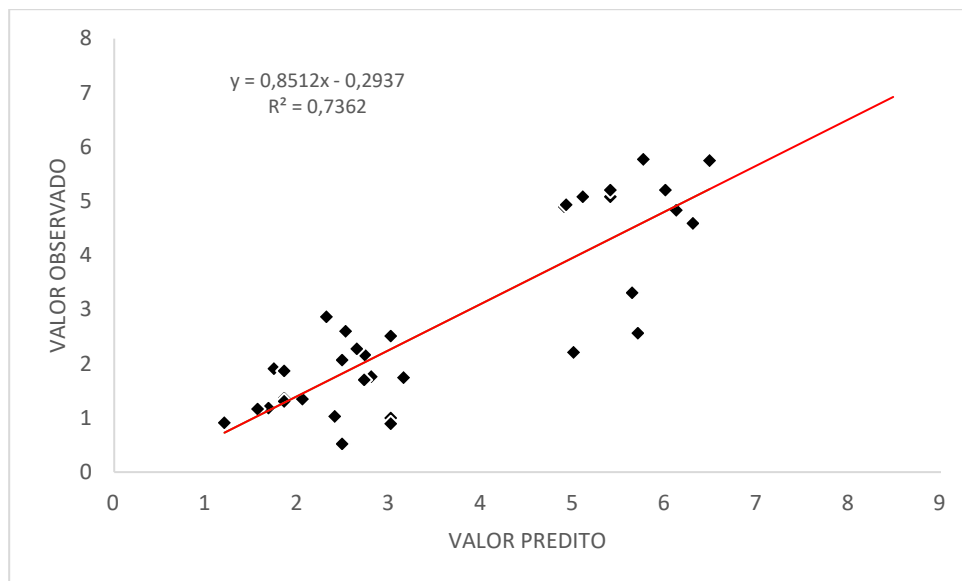
Os valores demonstram a variação entre os valores calculados e preditos pelo modelo neuro-fuzzy. Foi observado por Ferrari (2018), a melhor predição de resultados para estimativa do desenvolvimento e produtividade do rabanete, quando submetido a irrigação com água convencional e tratada magneticamente sob diferentes lâminas de irrigação, baseados na evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>), utilizando a modelagem neuro-fuzzy.

Para os estudos realizados por Coelho (2014) que indicam que a abordagem neuro-fuzzy apresenta desempenho superior às redes neurais, com erro relativo médio de 0,05% e pode ser utilizada para a correção da medida dos sensores de nitrogênio foliar em tempo real no cultivo de cana-de-açúcar.

Um controlador preditor adaptativo neuro-fuzzy Smith, para controle efetivo da distribuição de vazão de canais de irrigação foi proposto por Calderón et al. (2016) os valores preditos pelo modelo tiveram desempenho e robustez superior quando comparado aos controladores padrões.

Na Figura 8, mostra-se o gráfico de dispersão relacionando o banco de dados utilizados, com as predições geradas pelo modelo. O gráfico demonstrou uma correlação positiva e um coeficiente de correlação  $R^2 = 0,7362$ .

Figura 8. Gráfico de dispersão entre os valores do banco de dados e os valores preditos.



Maziero et al. (2021) verificou um ajuste nos dados de seu modelo com um  $R^2 = 0,9999$ . Da Silva et al. (2014) utilizando à modelagem neuro-fuzzy, mostraram que é uma técnica apropriada para estimar a produtividade do trigo em função da adubação nitrogenada, considerando os valores das doses de N, nesse estudo os modelos chegaram a um  $R^2 = 0,87$ .

#### 4.4 CONCLUSÕES

- 1- O erro gerado pelo modelo neuro-fuzzy, com relação as medidas preditas e calculadas, demonstrou uma variação dos valores, que foram para mais ou para menos dependendo das leituras dos sensores, o que implica no ajuste das previsões dos valores;
- 2- A utilização do modelo neuro-fuzzy para a determinação da lâmina de irrigação, baseado nos dados de Eto e Kc em conjunto com a utilização de leituras de umidade do solo feita por sondas, pode otimizar as lâminas de reposição a serem aplicadas por sistema de irrigação.

#### 4.5 REFERÊNCIAS

ANA C. DE S. S. LINS, INGRID J. S. SOUZA, DIAN LOURENÇONI, ET AL. **Fuzzy Logic Modeling Of The Ocular Temperature Of Cattle In Thermal Stress Conditions**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.41, n.4, p.418-426, jul./aug. 2021.

ANA C. DE S. S. LINS, DIAN LOURENÇONI, TADAYUKI YANAGI JÚNIOR, et al. **Neuro-Fuzzy Modeling Of Eyeball And Crest Temperatures In Egg-Laying Hens**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.41, n.1, p.34-38, jan./feb. 2021.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

BOSO, A. C. M. R.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. **Fuzzy modeling of the effects of different irrigation depth in radish crop part. I: Productivity analysis**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.41, n. 3, p.319-329, 2021.

BOSO, A. C. M. R.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. **Fuzzy modeling of the effects of different irrigation depth in radish crop part. II: biometric variables analysis**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.41, n. 3, p.319-329, 2021.

CALDERÓN E.M., RIVAS R., SOTOMAYOR J. J. **Design of an Adaptive Neuro-Fuzzy Controller of an Irrigation Main Canal Pool**. Ieee latin america transactions, vol. 14, no. 2, p 471-476, feb. 2016.

COELHO, S. S. **Aplicação de sistema neuro-fuzzy e espectrometria no infravermelho próximo para a identificação do teor de Nitrogênio foliar em cana-de-açúcar**. Orientador: José Alfredo Covolan Ulson.2014 152f. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2014.

DA SILVA A., SILVA I., FILHO M et al. **Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.2, p. 180-187, 2014.

EMBRAPA (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA). **Brasil avança em tecnologia de irrigação de precisão com o uso de Internet das Coisas**. Campinas-SP, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/54293512/brasil-avanca-em-tecnologia-de-irrigacao-de-precisao-com-uso-de-internet-das-coisas>

FERRARI, J. M. S. **Análise da produtividade e das variáveis biométricas do rabanete sob diferentes lâminas de irrigação com água tratada magneticamente utilizando modelagem neuro-fuzzy**. Orientador: Camila Pires Cremasco Gabriel. 2018 103p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018.

GABRIEL FILHO, L. R. A.; SILVA, A. O.; CREMASCO, C. P.; PUTTI, F. F. **Fuzzy modeling of the effect of irrigation depths on beet cultivars**. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.42, n. 1, e20210084, 2022.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Pesquisa Produção Agrícola Municipal**. In: **Sidra: sistema IBGE de Recuperação Automática**. Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

KARTHICK RAGHUNATH K. M., ANANTHA RAMAN G. R. **Neuro-Fuzzy-Based Smart Irrigation System and Multimodal Image Analysis in Static-Clustered Wireless Sensor Network for Marigold Crops**. 10.4018/978-1-7998-3591-2.ch015, Copyright © 2020, IGI Global.

LOPES I. et al. **Balanco Hídrico Em Função De Regimes Pluviométricos Na Região De Petrolina-Pe**. Irriga, Botucatu, v. 22, n. 3, p. 443-457, julho-setembro, 2017.

MAZIERO L. FREDERICK S. CRESMOSCO C. et al. **Modelagem Neuro-Fuzzy Da Evapotranspiração De Referência Baseada No Método De Camargo**. Irriga, Botucatu, Edição especial – Sudeste, v. 1, n 3, p.489-505, dezembro, 2021.



NASCIMENTO et al. **Caracterização de atributos físicos de solos cultivados com videira e mangueira no Submédio São Francisco.** JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA EMBRAPA SEMIÁRIDO, 12, 2017, Petrolina. Anais... Petrolina: Embrapa Semiárido, 2017.

PUTTI, F. F.; CREMASCO, C. P.; SILVA JUNIOR, J. F.; GABRIEL FILHO, L. R. A. **Fuzzy modeling of salinity effects on radish yield under reuse water irrigation.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.42, n. 1, e215144, 2022.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações.** Ed. Revisada. Não publicada. Campinas, SP: Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP 2017.

RICHARDS, L. A. **Pressure-membrane apparatus, construction and use.** Agronomy Engineering, Madison, n.28, p.451-4, 1947.

SENA C. C. R. et al. **Calibração do sensor capacitivo de umidade do solo EC-5 em resposta a granulometria do solo.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n.4,p. 17228-17240 apr. 2020.

SOARES, F. C.; ROBAINA, A. D.; PEITER, M. X.; RUSSI, J. L.; VIVAN, G. A. **Redes neurais artificiais na estimativa da retenção de água no solo.** Revista Ciência Rural, Santa Maria-RS, v. 44, n. 2, p.293-300, 2014.

VIVEKANANDHAN et al. **Adaptive neuro fuzzy inference system to enhance the classification performance in smart irrigation system.** 2021 Wiley Periodicals LLC. Computational Intelligence. 2022;1–15.

KISI O. et al. **Modeling wetting front redistribution of drip irrigation systems using a new machine learning method: Adaptive neuro- fuzzy system improved by hybrid particle swarm optimization – Gravity search algorithm.** Agricultural Water Management 256 (2021) 107067

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de ferramentas tecnológicas como sensores de solo e plataformas de monitoramento climático são de extrema importância para aumentar a eficiência produtiva. O presente trabalho demonstrou que a utilização dessas tecnologias da chamada agricultura 4.0 trazem vantagens como: maior eficiência do uso da água e maiores produtividades, contribuindo também para a sustentabilidade. Devido a condições adversas causadas pela forte incidência de doenças no ano de 2021-22 no presente estudo só foi possível realizar as estimativas produtivas para um semestre, comprometendo o segundo ciclo que seria avaliado, sendo assim, essa temática deve ser mais explorada, avaliando mais ciclos produtivos para reafirmar as respostas obtidas.

A utilização da inteligência artificial é uma nova alternativa para otimizar a utilização de ferramentas digital na agricultura. A modelagem neuro-fuzzy utilizada nesse estudo, é uma opção muito interessante e foi observado um ajuste das lâminas de irrigação com variações dos valores, que foram para mais ou para menos dependendo das leituras dos sensores instalados em campo, tornando o manejo da irrigação ainda mais ajustado. A aplicação da modelagem neuro-fuzzy para a agricultura ainda é pouco explorada em trabalhos científicos e tem um grande potencial de crescimento e aplicação futura.