

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO**

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO
CONTROLADO EM POMARES DE CITROS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA
DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO**

Valbério Paolilo dos Santos

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

2023

**ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO
CONTROLADO EM POMARES DE CITROS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA
DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO**

Valério Paolilo dos Santos

Mestre em Engenharia Agrícola – UFCG

Universidade Federal de Campina Grande, 2006

Tese submetida ao Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito parcial para obtenção do título de doutor em Engenharia Agrícola, Área de Concentração: Agricultura Irrigada e Recursos Hídricos.

Orientador: Dr. Maurício Antônio Coelho Filho

CRUZ DAS ALMAS - BAHIA

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S237e

Santos, Valbério Paolilo Dos.

Estratégias de manejo de irrigação com déficit hídrico controlado em pomares de citros para o aumento da eficiência de uso de água em clima subúmido / Valbério Paolilo Dos Santos. _ Cruz das Almas, BA, 2023.

93f.; il.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas, Doutorado em Engenharia Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho

1.Irrigação. 2. Manejo de Irrigação - Gotejamento. I.Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas. II.Título.

CDD: 631.587

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RECÔNCAVO DA BAHIA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, AMBIENTAIS E BIOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
CURSO DE DOUTORADO

ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO
CONTROLADO EM POMARES DE CITROS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA
DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO

Comissão Examinado da Defesa de Tese de Valbério Paolilo dos Santos


Data da defesa: 05/09/2023



Prof. Dr. Maurício Antônio Coelho Filho
Embrapa Mandioca e Fruticultura
(Orientador)

Prof. Dr. Tales Miler Soares

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB


 Documento assinado digitalmente
ANTONIO HELDER RODRIGUES SAMPAIO
Data: 06/11/2023 13:41:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antônio Hélder Rodrigues Sampaio

Instituto Federal Baiano – IF Baiano Bom Jesus da Lapa
(Examinador Externo)


Dr. Diego Magalhães de Melo

Engenheiro Agrônomo - Consultor Técnico
(Examinador Externo)

 Documento assinado digitalmente
DIEGO MAGALHAES DE MELO
Data: 06/11/2023 15:18:19-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Francisco de Assis Gomes Júnior

Universidade Estadual do Piauí - UESPI
(Examinador Externo)

 Documento assinado digitalmente
FRANCISCO DE ASSIS GOMES JUNIOR
Data: 06/11/2023 15:34:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sabedoria e força na busca dos objetivos;

À minha família, pelo amor e carinho, em especial a minha esposa Aclécya pelo companheirismo e apoio nos momentos difíceis;

Aos meus pais Agnaldo e Júlia, pelo incentivo e ensinamentos da vida;

Ao professor Mauricio Coelho, pela orientação, confiança, entusiasmo e competência;

À UFRB, ao PPGEA e todo o seu corpo docente pelo apoio e formação;

À EMDAGRO pela oportunidade de realização do curso;

À EMBRAPA Mandioca e Fruticultura pela infraestrutura e apoio durante a realização do trabalho;

Aos colegas de curso, pelas horas de convivência e aprendizado;

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO EM POMARES DE CITROS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO.

RESUMO

A citricultura brasileira se destaca por sua importância social e econômica na geração de emprego e renda. No entanto, a região Nordeste do Brasil vem sofrendo perdas significativas na produção ao longo dos anos, em função da escassez e de irregularidades das chuvas. O déficit hídrico é agravado pela ocorrência de secas recorrentes que atingem a região, sob a predominância do cultivo sem o uso da irrigação. Diante desta situação, com o objetivo de mitigar os efeitos abióticos na produção de citros e aumentar a eficiência de uso de água e eficiência produtiva de plantas, dois experimentos foram conduzidos no município de Rio Real-BA, maior produtor do Brasil em extensão da citricultura por unidade municipal. No experimento 1, Capítulo I, avaliou-se o manejo de irrigação com déficit controlado e a interação com o uso do protetor solar, em laranjeira ‘Pera’. No experimento 2, Capítulo II, foram testadas diferentes disposições das linhas de gotejadores e estratégias de manejo de água, em pomar de limeira ácida ‘Tahiti’, analisando indicadores fisiológicos, de crescimento, produtivos e de distribuição radicular. No pomar de laranjeira ‘Pera’, o protetor solar mitigou os estresses ambientais, tornando as plantas de citros mais resilientes, implicando em aumento de 11% na produção de laranja, independentemente dos tratamentos aplicados. Plantas irrigadas sem déficit controlado (100% ETc), combinado com o uso do protetor solar, foram mais produtivas. Nesse experimento, o maior ganho proporcionado pelo seu uso, incremento de 18% na produção, foi no cultivo sem o uso da irrigação. Considerando os ganhos na produção de laranja, relacionados ao uso protetor solar, foi observado que houve ganhos independente do manejo de água adotado. No experimento com limeira ácida ‘Tahiti’, houve impacto do déficit hídrico nas trocas gasosas, no potencial hídrico foliar e aspectos produtivos. Plantas foram mais produtivas ao serem irrigadas com uso de estratégia PRD e 100% da lâmina recomendada (100% ETc); e para irrigação plena (100% ETc) com arranjo de duas linhas de gotejadores. O tratamento PRD com déficit de irrigação de 50% superou a produção em 10% comparado ao tratamento com irrigação total com uma linha de gotejador (100%1Lin). A irrigação com déficit de 50% da ETc melhorou a eficiência do uso da água em 72% (24,86 Kg.m⁻³ de água x 14,45 Kg.m⁻³ de água). O ganho produtivo da lima ácida ‘Tahiti’ resultante da utilização de duas linhas de gotejadores é otimizado com o uso do PRD que associado à irrigação com déficit, melhora a eficiência de uso da água em 81% (27,08 Kg.m⁻³ de água) em relação ao tratamento

irrigação 100% e com duas linhas de gotejadores (14,95 Kg.m⁻³ de água), podendo ser recomendado a partir de uma análise detalhada de custo da água e sistema de irrigação.

Palavras Chave: gotejamento, protetor solar, PRD, déficit de irrigação, citros, eficiência do uso da água.

IRRIGATION MANAGEMENT STRATEGIES WITH CONTROLLED WATER DEFICIT IN CITRUS ORCHARDS TO INCREASE WATER USE EFFICIENCY IN SUB-HUMID CLIMATE

ABSTRACT

Brazilian citriculture stands out for its social and economic importance in generating employment and income. However, the Northeast region of Brazil has suffered significant losses in production over the years, due to scarcity and irregular rainfall. The water deficit is aggravated by the occurrence of recurrent droughts that affect the region, under the predominance of cultivation without the use of irrigation. Given this situation, aiming to mitigate abiotic effects on citrus production and to increase water use efficiency and productive efficiency of plants, two experiments were performed in Rio Real City in the State of Bahia, Brazil's biggest producer in citrus extension per municipal unit. In the experiment 1, Chapter I: we evaluated the management of irrigation with controlled deficit and the interaction with the use of sunscreen, in 'Pera' sweet orange. In experiment 2, Chapter II: different arrangements of driplines and water management strategies were tested in a 'Tahiti' acid lime orchard, analyzing physiological, growth, productivity and root distribution indicators. In the 'Pera' orange orchard, sunscreen mitigated environmental stresses, making citrus plants more resilient, resulting in an 11% increase in orange production, regardless of the treatments applied. Plants irrigated without controlled deficit (100% ETc), combined with the use of sunscreen, were more productive. In this experiment, the greatest gain provided by its use, an increase of 18% in production, was in cultivation without the use of irrigation. In the experiment with 'Tahiti' acid lime tree, there was an impact of water deficit on gas exchange and productive aspects. There was a reduction in the length, diameter and weight of the fruits. Plants were more productive when irrigated using the PRD strategy and 100% of the recommended level (100% ETc); and for full irrigation (100% ETc) with a two-line arrangement of drippers. However, the PRD treatment with irrigation deficit of 50% outperformed by 10% compared to the treatment with full irrigation with a drip line (100%1Lin). Irrigation with a deficit of 50% ETc improved water use efficiency by 72% (24.86 Kg.m⁻³ of water x 14.45 Kg.m⁻³ of water). Considering the gains in orange production, related to the use of sunscreen, it was observed that there are gains regardless of the water management adopted. The productive gain of 'Tahiti' lime resulting from the use of two lines of drippers is optimized with the use of PRD which, associated with deficit irrigation, improves water use efficiency by 81% (27.08 Kg.m⁻³ of water) in relation to the

100% irrigation treatment with two lines of drippers (14.95 Kg.m^{-3} of water), which can be recommended based on a detailed analysis of the cost of the water and irrigation system.

Keywords: dripping, sunscreen, PRD, production, irrigation deficit, citrus, water use efficiency.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem da área de estudo na propriedade rural, Sítio São João, Rio Real-BA.	33
Figura 2. Precipitação e temperatura média mensal, durante o período de estudo, setembro de 2021 a maio de 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.	38
Figura 3. Condutância estomática e transpiração foliar da laranjeira ‘Pêra’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	39
Figura 4. Concentração interna de carbono e fotossíntese da laranjeira ‘Pêra’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	40
Figura 5. Eficiência de uso da água (EUA) da laranjeira ‘Pêra’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	41
Figura 6. Volume de copa de laranjeira ‘Pêra’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água (A) e altura de plantas para os diferentes manejos de água (B). Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	42
Figura 7. Eficiência de uso da água da laranjeira ‘Pêra’, para o manejo de irrigação de 100% de reposição da ETc e de 65% da ETc (A) e eficiência de uso da água da laranjeira ‘Pêra’, para o manejo de irrigação de 100% de reposição da ETc e de 65% da ETc, com e sem o uso do protetor solar (B), Sítio São João, Rio Real-BA.	43
Figura 8. Produção total média de frutos de laranja ‘Pêra’, com e sem o uso do protetor solar (A) e para os tratamentos de manejo de água (B), Os tratamentos manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA. ...	44
Figura 9. Produção total média (A) e produção média de três colheitas de frutos de laranja ‘Pêra’ (B) para os tratamentos de manejo de água, com e sem o uso do protetor solar. Os tratamentos manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	45
Figura 10. Produção média de frutos de laranja ‘Pêra’, contabilizada separadamente para cada período de colheita, relacionada aos tratamentos: com e sem o uso do protetor solar e os diferentes manejos de água. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	46
Figura 11. Diâmetro, comprimento e peso de frutos de laranja ‘Pêra’, para os diferentes manejos de água. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	47
Figura 12. Imagem da área na propriedade Sítio São João, onde está sendo conduzido o estudo com a cultura da lima ácida Tahiti, município de Rio Real-BA.	56
Figura 13. Plantas com 2 anos, antes do início do estudo, conduzidas em regime de sequeiro, Sítio São João, Rio Real-BA.	59
Figura 14. Plantas de lima ácida Tahiti com 3 anos de plantada, início do experimento.	59
Figura 15. Precipitação e temperatura média mensal, durante o período de estudo, agosto de 2020 a maio de 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.	65
Figura 25. Umidade do solo em função do manejo de água e da disposição de gotejadores, obtidas por TDR, nas profundidades 0,20m e 0,60m (A) e umidade do solo nos dois lados da planta (B), lado direito (LD) e lado esquerdo (LE), para os tratamentos irrigados com PRD, Sítio São João, Rio Real-BA.	67

Figura 16. Potencial hídrico foliar médio da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.....	68
Figura 17. Condutância estomática (A) e transpiração foliar (B) da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.	70
Figura 18. Assimilação de CO ₂ (A) e concentração intercelular de CO ₂ (B) da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.	71
Figura 19. Correlação entre a transpiração foliar e a assimilação de CO ₂ da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, do ano de 2021 (A) e do ano 2023 (B), Sítio São João, Rio Real-BA.....	72
Figura 20. Eficiência de uso da água (A), eficiência intrínseca de uso da água (B) e eficiência de carboxilação (C) da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.....	73
Figura 21. Taxa de crescimento do volume de copa da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-BA.....	76
Figura 22. Taxa de crescimento da altura da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-BA.	77
Figura 23. Taxa de crescimento do diâmetro do caule da copa da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-BA.....	79
Figura 24. Taxa de crescimento de fruto da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, avaliadas à partir da floração de setembro 2021, Sítio São João, Rio Real-BA.....	83
Figura 26. Média e erro padrão do comprimento total de raiz na linha de plantio (A) e na linha de gotejadores (B) para os diferentes tratamentos, em função do manejo de água e da disposição de gotejadores, ao longo do perfil do solo, Sítio São João, Rio Real-BA.....	85
Figura 27. Média e erro padrão do diâmetro de raiz na linha de plantio (A) e na linha de gotejadores (B) para os diferentes tratamentos, em função do manejo de água e da disposição de gotejadores, ao longo do perfil do solo, Sítio São João, Rio Real-BA.....	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química do solo, em duas profundidades 0,0-0,20 e 0,20-0,40m, Sítio São João, Rio Real-BA.	35
Tabela 2. Análise granulométrica do solo e classificação textural, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.	35
Tabela 3. Densidade do solo (Ds), retenção de água e água disponível do solo, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.	35
Tabela 4. Tratamentos referentes ao manejo da irrigação e uso de filtro solar nas plantas de laranja 'Pêra, Sítio São João, Rio Real-BA.	36
Tabela 5. Produção de frutos de laranja, volume de copa (VC), altura de plantas (A), eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água (EUA), durante o período de junho de 2022 a maio de 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.	43
Tabela 6. Diâmetro, comprimento e peso de frutos de laranja 'Pêra', para os diferentes tratamentos referentes ao manejos de água e a aplicação do filtro solar. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	47
Tabela 7. Resultado da análise química do solo, em duas profundidades 0,0-0,20 e 0,20-0,40m, Sítio São João, Rio Real-BA.	58
Tabela 8. Análise granulométrica do solo e classificação textural, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.	58
Tabela 9. Densidade do solo (Ds), retenção de água e água disponível do solo, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.	58
Tabela 10. Tratamentos em função da disposição dos gotejadores e do manejo da irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.	61
Tabela 11. Potencial hídrico foliar médio, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.	68
Tabela 12. Média da eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), leitura realizada no período seco de 2021, para os diferentes tratamentos, Sítio São João, Rio Real-BA.	74
Tabela 13. Valores médios volume de copa da lima ácida 'Tahiti' sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-BA.	75
Tabela 14. Valores médios de altura da lima ácida 'Tahiti' sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-BA.	77
Tabela 15. Valores médios do diâmetro do caule da copa de plantas de lima ácida 'Tahiti' sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-BA.	78
Tabela 16. Produção anual, acumulada (PA) e média de dois anos (PM) da lima ácida 'Tahiti' sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, de 2021 e 2022, Sítio São João, Rio Real-BA.	80
Tabela 17. Produção anual (P), peso médio de frutos (PF), volume de copa (VC), eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água de irrigação (EUAI) da lima ácida 'Tahiti' sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, no ano de 2021, Sítio São João, Rio Real-BA.	81
Tabela 18. Produção anual (P), peso médio de frutos (PF), volume de copa (VC), eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água de irrigação (EUAI) da lima ácida 'Tahiti' sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, no ano de 2022, Sítio São João, Rio Real-BA.	82

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1. A CITRICULTURA NO BRASIL	15
2.2. A CULTURA DA LARANJA	16
2.3. A CULTURA DA LIMA ÁCIDA TAHITI.....	17
2.4. IRRIGAÇÃO EM CITROS.....	19
2.5. NECESSIDADE HÍDRICA E MANEJO DA IRRIGAÇÃO	20
2.6. IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO	20
2.7. INDICADORES FISIOLÓGICOS	22
2.8. MONITORAMENTO DA ÁGUA NO SOLO	23
2.9. PROTETOR SOLAR	24
3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
CAPÍTULO I	29
RESUMO	30
ABSTRACT	31
1. INTRODUÇÃO	32
2. MATERIAL E MÉTODOS	33
3. RESULTADOS	37
4. DISCUSSÃO	48
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
CAPÍTULO II	52
RESUMO	53
ABSTRACT	54
1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAL E MÉTODOS	56
3. RESULTADOS	64
4. DISCUSSÃO	88
5. CONCLUSÕES	91
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91

ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO EM POMARES DE CITROS PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO.

1. INTRODUÇÃO

A citricultura tem um papel de grande relevância na economia do país, gerando emprego e renda, com efetiva contribuição para o PIB brasileiro, tendo um volume considerável da produção destinada à exportação, seja de frutas frescas ou industrializadas na forma de suco. No entanto, a participação da atividade não se dá apenas no setor do agronegócio, mas também tem importância na agricultura familiar, propiciando melhoria na condição de vida dos agricultores familiares, fato que atribui a essa atividade a necessidade de uma maior atenção.

A citricultura da região Nordeste do Brasil vem sofrendo perdas significativas na produção ao longo dos anos em função do período de seca que a região enfrenta, muitas vezes acarretando não só perda de produção como também morte das plantas, gerando sérios prejuízos econômicos aos agricultores. Na região do Litoral Norte da Bahia, praticamente, a totalidade da citricultura é conduzida sem o uso da irrigação, em um regime climático no qual o período de chuvas se concentra nos meses de abril a setembro, ocorrendo um longo período seco e em solos dos tabuleiros costeiros, com a presença de camada coesa, cenário em que as plantas sofrem déficit hídrico mesmo em anos de chuvas acima da média.

Mesmo em regiões que apresentam taxas de precipitações pluviométricas bem mais elevadas e de melhor distribuição anual, em comparação com a região Nordeste, a irrigação é amplamente utilizada e difundida entre os agricultores. Portanto, a região Nordeste tem como um grande fator limitante, para bom desenvolvimento competitivo da citricultura, a disponibilidade de água, situação que poderá ser superada com o uso correto da irrigação, através de um manejo adequado, visando o uso eficiente de água.

Nesse cenário, a adoção da irrigação pelos agricultores de citros da região tem despertado um interesse cada vez maior. Necessitando de acompanhamento técnico e estudos locais para prevenir o incremento do uso da técnica da irrigação, de forma desordenada, sem planejamento adequado do manejo da irrigação e, em muitos casos, sem a elaboração de um projeto técnico, portanto impossibilitando a prática de uma agricultura irrigada de forma racional com uso da água, o que torna impossível uma produção sustentável.

Diante dos fatos acima mencionados, dois experimentos foram conduzidos, em região subúmida (Rio Real - BA), município que é o maior produtor do Brasil em extensão da

citricultura por unidade municipal, envolvendo pomar de laranjeira ‘Pera’ e pomar de limeira ácida ‘Tahiti’, com o objetivo de mitigar os efeitos abióticos na produção e na qualidade de frutos, e aumentar a eficiência de uso de água (Kg.m^{-3} de água) e a eficiência produtiva das plantas (Kg.m^{-3} de copa).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A CITRICULTURA NO BRASIL

Os citros compreendem um grupo de fruteiras considerado como mais importante para o Brasil, não apenas pelo valor nutritivo dos frutos e grande representatividade no consumo interno, como também pelo expressivo papel social e econômico como produto de exportação, gerando empregos e renda para o país (COELHO et al., 2011).

No Brasil há uma predominância no consumo dos frutos de citros in natura ou na forma de suco, devido ao fácil acesso às frutas nas diversas regiões do país. Entretanto, em países que não produzem ou que a sua produção não atende à demanda do mercado consumidor, o suco processado é a forma mais expressiva de consumo. Os frutos dos citros são considerados como alimentos importantes para saúde humana, devido à sua composição química, com diversos artigos científicos publicados, comprovando o efeito das propriedades antioxidantes na prevenção de enfermidades degenerativas, como o câncer e doenças cardiovasculares, além de possuírem propriedades anti-inflamatórias e antialérgicas. Entre as substâncias antioxidantes, a vitamina C, caratenóides e flavonóides estão presentes em grandes quantidades nos citros (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2016).

A citricultura brasileira tem a laranja como principal fruta cítrica produzida, colocando o Brasil na posição de maior produtor mundial de laranja, sendo que a maior parte dessa produção se destina à indústria para processamento de suco. No entanto a base da citricultura brasileira não se dá apenas com a produção de laranja, mas se destacam também a produção de tangerina e de limão, incluindo-se as limas ácidas (ESTER, 2014). Apesar da grande relevância da cultura do limão no país, sua produção é bastante inferior à da laranja, o Brasil produz 1,3 milhões de toneladas de limão ocupando uma área de 48,2 mil hectares, enquanto que a área ocupada com a cultura da laranja é de 638 mil hectares (IBGE, 2017).

2.2. A CULTURA DA LARANJA

A formação da maioria dos pomares se dá através da utilização de plantas enxertadas, buscando-se os atributos favoráveis da combinação copa com o porta-enxerto; no entanto ainda se utiliza um número restrito de variedades copa com um número ainda menor de porta-enxertos (CARVALHO et al., 2016). A copa é responsável pelas características dos frutos e a sua escolha vai de encontro a exigência do mercado consumidor, com análise se o maior consumo é in natura da fruta ou é para ser processada na indústria de suco.

O porta-enxerto é que condiciona a copa as características de vigor, produtividade, precocidade de produção, composição de folhas e frutos, absorção de nutrientes, tolerância a salinidade, resistência a seca, tolerância a doenças, influenciando ainda na qualidade e pós-colheita dos frutos. No Brasil, cerca de 80% dos pomares de citros utilizam o porta-enxerto limoeiro cravo (*C. limonia* Osbeck), pelo seu vigor, tolerância ao estresse hídrico, fácil obtenção de sementes, grande vigor no viveiro, bom pegamento de mudas no plantio, rápido crescimento, produção alta e precoce, com frutos de qualidade regular (BASTOS, et al., 2014).

O Brasil responde por 34% da produção de laranja e mais da metade do suco produzido no mundo, sendo, portanto, uma atividade de grande importância econômica para o país e somado a isso está o fato da citricultura ser uma atividade exigente em grande quantidade de mão-de-obra, gerando emprego, especialmente no período da colheita, desencadeando impacto na economia não só dos municípios produtores, como também nos municípios que se encontram nos arredores (NEVES; TROBIN, 2017).

A citricultura brasileira, de maneira geral, ainda apresenta uma produtividade média baixa que está atrelada a um conjunto de fatores, e entre estes estão adubações insuficientes e a deficiência hídrica, ocorrida em função de precipitações aquém do necessário e/ou com distribuição irregular durante o ano (COELHO, et al., 2011). A região Nordeste apresenta a pior média de produtividade na produção de laranja que é de 12,4 toneladas por hectare, situação bastante diferente da região Sudeste que apresenta a melhor média nacional com aproximadamente 32,2 toneladas por hectare, seguida da região Sul com aproximadamente 25,1 toneladas por hectare (IBGE, 2017).

Entre os fatores que têm ocasionado um aumento na preocupação do setor citrícola, está a queda no consumo do suco de laranja, fato que vem sendo atrelado a vida cada vez mais corrida nos grandes centros urbanos, ao aumento da concorrência com outras bebidas e a mudança de hábitos alimentares da população. E a citricultura que é considerada um dos mais tradicionais setores do agronegócio tem passado por importantes transformações, onde toda a cadeia vem sendo desafiada pelas grandes mudanças que ocorrem em um mundo mais

competitivo, com um número cada vez mais variado de produtos alternativos e de consumidores abertos a novidades surgidas (NEVES; TROBIN,2017).

2.3. A CULTURA DA LIMA ÁCIDA TAHITI

Os principais países produtores de limas e limões são Índia, México e China. O Brasil ocupa a quinta posição na produção mundial e assim como o México, concentra sua produção na lima ácida Tahiti, ao contrário do que ocorre na China, Índia, Argentina, Estados Unidos e Espanha, onde o cultivo dos limões verdadeiros é predominante. No grupo das limas existem cultivares que produzem frutos ácidos que são as limas ácidas, conhecidos popularmente como limões, com alto valor comercial, tendo como as mais importantes para o Brasil as limas ácidas: Tahiti e Galego; e as limas doces que apresentam teor de ácidos muito baixos e polpa com sabor levemente amargo, não tendo a mesma expressão comercial que as limas ácidas, mas existem consumidores fiéis no Brasil, por isso é cultivada para consumo de mesa. Entre as cultivares de limas doces existem as que produzem frutos com casca e polpa quando maduros com coloração amarelo-claro, como por exemplo a lima da Pérsia e cultivares cujos os frutos têm a casca alaranjada semelhante à das laranjas, como a lima Dourada (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2016).

A limeira ácida Tahiti é uma planta vigorosa de tamanho médio a grande, quase sem espinhos, folhagem verde densa, suas flores normalmente possuem cinco pétalas, e a floração ocorre durante quase todo o período do ano com concentração nos meses de setembro e outubro. Seus frutos apresentam tamanho médio e seus formatos são ovais, oblongos ou levemente elípticos com base usualmente arredondada. As sementes são raras ou ausentes e a casca é fina com superfície lisa e cor amarelo pálido na ocasião da maturação, sendo que cerca de 50% do peso do fruto é correspondente ao teor de suco (COELHO, 1993). A sua origem ainda não é exatamente definida, mas se sabe que se trata de um híbrido cujos parentais eram uma lima ácida com sementes (lima ácida Galego) e provavelmente uma cidra (ou limão). É uma variedade triploide, cujos pólen e óvulos não são viáveis, e por isso produzem frutos por partenocarpia, que são considerados frutos aspérmicos (sem sementes) (PINTO et al., 2004).

O setor citrícola brasileiro destinado a produção de laranja, em geral, tem característica predominantemente empresarial em que se utiliza tecnologias de ponta em toda cadeia produtiva, tendo como destino final da sua produção a exportação, enquanto que na produção de tangerina e lima ácida Tahiti, este setor tem apresentado aptidão para cultivo em médias e pequenas propriedades, incluindo-se a agricultura familiar, tendo portanto um importante papel no aumento de renda e na melhoria na qualidade de vida das famílias envolvidas na produção, assim como no desenvolvimento econômico (ESTER, 2014).

A lima ácida é a mais plantada no Brasil e foi ao longo dos anos substituindo a Galego, principalmente por apresentar frutos de maior tamanho, ausência de sementes nos frutos, plantas mais tolerantes à tristeza dos citros, e ausência de espinhos na planta, facilitando o manejo da cultura e a colheita (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2016).

No grupo dos citros, a limeira ácida Tahiti, tem se destacado em função da sua ampla utilização, abrangendo os mercados nacionais e internacionais. Como fruta fresca é utilizada no preparo de alimentos, de sucos e na decoração de pratos e de bebidas, possuindo ainda um alto valor industrial na produção de suco concentrado congelado e de óleo essencial, extraído da casca, utilizado na indústria química de alimentos e na de cosméticos. Além disso, devido às propriedades medicinais com antioxidante, antisséptico e estimulante da digestão, seus frutos são bastante utilizados em formulações homeopáticas (PINTO et al., 2004).

Os frutos da lima ácida Tahiti para se ter qualidade, principal atributo no momento da comercialização, devem apresentar frescor, elevado teor de suco e integridade das glândulas de óleo da casca. A depender do mercado a que se destina a produção, características e padrões mínimos são exigidos, mas de maneira geral alguns devem ser cumpridos como o diâmetro mínimo do fruto, o aspecto da casca, coloração uniforme sem manchas na casca causadas pelo sombreamento de folhas e frutos encostados, teor mínimo de suco, além da ausência de defeitos ocasionados por agentes físicos, químicos ou biológicos (PINTO et al., 2004).

No Brasil diversos clones de Tahiti são cultivados para diferentes regiões. No estado de São Paulo, encontra-se o clone IAC 5 ou Peruano e o Quebra Galho que é um clone velho, contaminado com complexo de viróides dos citros. Na região Nordeste clones de origem nuclear e pré-imunizados, denominados CNPMF-1 e CNPMF-2 estão bem difundidos, sendo posteriormente lançado pela Embrapa outro clone promissor o CNPMF 2000 (PINTO et al., 2004). No entanto, as características das plantas cítricas são extremamente influenciadas pelo porta-enxerto e sua combinação com a cultivar copa, influenciando no crescimento e desenvolvimento das plantas, na precocidade de produção, na tolerância a seca, tolerância a pragas e doenças, assim como na produtividade e qualidades dos frutos (CARVALHO et al., 2016).

A produção brasileira de limão corresponde a 1,3 milhões de toneladas. Sendo a região Sudeste a principal produtora, concentrando 82,4% da produção, seguido da região Norte com 7,5%, ficando a região Nordeste com a terceira colocação, 6,9% da produção nacional de limão.

Assim como ocorre com a cultura da laranja, o estado de São Paulo tem a produção mais expressiva com 75,7% da produção brasileira. O segundo maior produtor é o estado do Pará e o estado da Bahia o terceiro maior produtor, produzindo 4,8% do limão produzido no Brasil.

No entanto, apesar do estado da Bahia ter um lugar de destaque sendo o terceiro maior produtor, a média de produtividade da região Nordeste é a mais baixa entre as regiões do Brasil que é de 9,8 toneladas por hectare, produtividade bastante inferior à média nacional que é de 26,9 toneladas por hectare e o quadro se apresenta ainda mais grave quando comparado a média da região Sudeste que é de 34,9 toneladas por hectare (IBGE, 2017).

2.4. IRRIGAÇÃO EM CITROS

A preocupação com o uso eficiente de água na agricultura irrigada cresce proporcionalmente com a escassez de água de boa qualidade, agravando a competição entre os diversos setores que dela dependem (MAROUELLI et al., 2011). A sociedade tem demandado do setor agrícola irrigado uma maior eficiência no sistema, reduzindo o uso de água. Dessa maneira, surge como alternativa o manejo da irrigação com déficit hídrico controlado, afim de se obter a maximização do lucro com uma maior eficiência no uso da água, mas que para tal condição é fundamental o conhecimento mais detalhado sobre o estado hídrico do solo e das plantas (MARINHO et al., 2016).

O objetivo básico da irrigação é de fornecimento de água para atendimento da demanda hídrica com a finalidade de obtenção do pleno desenvolvimento e da produção da cultura, associado a um manejo adequado, com eficiência, na busca por produtividades elevadas, e que devido aos altos custos de implantação e manutenção devem priorizar a aplicação de água em volume racional e no momento adequado (COSTA e COELHO, 2001).

A utilização da irrigação em fruteira melhora a produção, a qualidade dos frutos, aumenta a janela de produção, além de mitigar os riscos climáticos, relacionados principalmente, a deficiência hídrica que pode ocorrer em fases críticas da planta (PIRES, et al., 2021).

Os sistemas de irrigação localizada, tanto por gotejamento quanto por microaspersão, tem apresentado grande aceitação em todo mundo para irrigação de pomares cítricos, pelas inúmeras vantagens que o método proporciona, incluindo-se os aspectos de alta eficiência de aplicação, baixa pressão, facilidade de operação e bom controle sobre a aeração do solo (COELHO et al., 2011).

O uso da irrigação em citros traz inúmeros benefícios a cultura, acarretando um aumento na produção de frutos da ordem de 35% a 75% quando comparado a pomares cultivados em sequeiro, assegurando boa floração e pegamento, resultando em frutos de melhor qualidade, o que proporciona ganho econômico ao produtor (COHEN & GOELL, 1988).

2.5. NECESSIDADE HÍDRICA E MANEJO DA IRRIGAÇÃO

O requerimento hídrico dos citros para uma boa produção de frutos está entre a faixa de 900 e 1200 mm por ano, variando com a taxa de evapotranspiração do local, das características do solo, da variedade copa e principalmente do porta-enxerto utilizado (DONATO et al., 2007).

A necessidade hídrica dos citros se baseia na determinação da evapotranspiração da cultura que está atrelada às condições edafo-climáticas e ao manejo empregado na cultura, variando, assim como nas outras culturas, de acordo com o estágio fenológico das plantas, em que o período de maior sensibilidade ao déficit hídrico, compreendem as fases de brotação, emissão de botões florais, frutificação e início de desenvolvimento dos frutos (COELHO, et al., 2000).

A produção de citros no Brasil é afetada pela irregularidade de chuvas que ocorrem em algumas regiões do país onde as plantas são submetidas a condições adversas. Para um bom desenvolvimento em que estas sofrem deficiência hídrica durante uma boa parte do ano o que faz com que essa condição passe a ser um dos fatores abióticos mais limitantes da produção o que ocasionam perdas bastante consideradas, principalmente em anos com estiagens prolongadas (SANTOS, et al., 2016). No entanto, aumento de produtividade em citros pode ser alcançada, adotando-se um conjunto de práticas de manejo que possibilitem melhoria na fitossanidade, na nutrição das plantas, no suprimento adequado de água, na escolha da combinação adequada entre cultivares de copa e porta-enxertos e na definição de uma apropriada densidade de plantio (PORTELLA et al., 2016).

Para o manejo da água na agricultura é necessário o conhecimento das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera, constituindo uma extensa área de estudo, pois os componentes do sistema são extremamente diferenciados, apresentando diversas formas de interação com a água (COELHO FILHO, et al., 2011).

O consumo anual de água de plantas cítricas que varia de 600a 1200mm, depende da demanda de água pela atmosfera, esta se eleva com o aumento da radiação solar, da temperatura do ar e da velocidade do vento, sendo que a necessidade hídrica é também influenciada pelo espaçamento de plantio e do porta-enxerto utilizado, este afeta o tamanho e o vigor das plantas, ocasionando variação na área foliar que é a superfície transpirante (COELHO, 2006).

2.6. IRRIGAÇÃO COM DÉFICT HÍDRICO

Manejo de irrigação com déficit hídrico visa melhorar a eficiência de uso da água, isto é, aumentar a produtividade da água ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$), garantindo a manutenção da produtividade em níveis aceitáveis economicamente, buscando um equilíbrio entre o nível de estresse e a

maximização dos ganhos líquidos, possibilitando expandir a área irrigada ou viabilizar a produção em áreas de escassez hídrica (PIRES, et al., 2021).

Levando-se em consideração a necessidade de otimizar o uso dos recursos hídricos, essencialmente em regiões semiáridas em que ocorre baixa precipitação pluviométrica e sua distribuição ainda é irregular, se concentrando em poucos meses durante o ano, a irrigação com déficit controlado vem sendo adotado com o intuito de maximizar o uso da água e garantir uma produção vegetal de qualidade (SAMPAIO et al., 2014).

Com o uso da irrigação lateralmente alternada em lima ácida Tahiti é possível reduzir a lâmina de irrigação a 75% da evapotranspiração da cultura, chegando a reduzir até a 50%, mas que neste caso a alternância do lado irrigado foi a cada 7 dias, mantendo-se a produtividade da cultura (SANTOS, et al., 2016).

A irrigação com secamento parcial do sistema radicular, apresenta-se como uma técnica potencial para a otimização da água na cultura da lima ácida Tahiti em que a utilização da lâmina de 75% da evapotranspiração da cultura pode ser usada como alternativa para o manejo da irrigação, condicionando um menor risco de estresse as plantas (SAMPAIO et al., 2014).

Estratégia de irrigação com o uso do PRD no cultivo de laranja doce, em condições tropicais, é viável uma vez que a redução no volume de solo úmido e o fechamento parcial estomático, possivelmente por sinalização do ABA, melhora a eficiência do uso da água. No entanto, é importante considerar a frequência de alternância de umedecimento e secamento dos lados, pois estratégias com ciclos mais longos (30 dias), tem um impacto negativo na produção e qualidade de frutos (AMORIM et al., 2021)

Suassuna et al. (2012) avaliando a produção de fitomassa em dez genótipos de porta-enxertos de citros submetidos a estresse hídrico, constataram aumento na produção de fitomassa de raiz e redução na fitomassa nos caules e nas folhas, associando essas alterações morfológicas a baixa disponibilidade hídrica. No entanto esse efeito não foi observado nos híbridos 'TSKFL x CTTR-017 (Tangerina 'Sunki' seleção da Flórida x Citrange-017) e TSKFL x LRM-007 (Tangerina 'Sunki' seleção da Flórida x Limoeiro Rugoso Mozael, seleção de 'Mozael'-007) em que ocorreu uma maior alocação de fitomassa para a formação e crescimento de folhas e caule, mesmo na condição de estresse, indicando que provavelmente esses porta-enxertos não tenham sofrido severamente os efeitos negativos do déficit hídrico. Esses mesmo autores evidenciam o bom desempenho com base no estudo do porta-enxerto 'TSKFK x CTTR-017' em todas as variáveis analisadas, fato que confirma o seu potencial para uso como porta-enxerto em áreas sujeitas à seca.

Em estudo com laranja Pera as técnicas do PRD 50% da ETc com frequência de 15 dias para alternância dos lados e do RDI no estágio de maturação dos frutos se apresentaram como as estratégias mais adequadas para otimizar o uso da água sem comprometer o rendimento e a qualidade de frutos (AMORIM et al., 2021).

O rendimento da laranja ‘Valença’ cultivada em clima Mediterrâneo foi afetado pelo déficit hídrico contínuo, mas não pela irrigação com PRD. A redução no volume de irrigação em 55% ETc (déficit de irrigação contínuo) em relação a irrigação plena, induziu uma perda média de 4,4% na hidratação das folhas, causando reduções significativas no tamanho final dos frutos, e uma redução média de 3,4% no rendimento do suco, correspondendo a uma perda de mais de 2,6 toneladas de suco e cerca de 261 kg de açúcar por hectare por ano. Por outro lado, houve uma economia de água de cerca de 2 mega litros por hectare por ano. Com o PRD ocorreu uma desidratação foliar leve de 2,3% e as perdas foram limitadas, mas houve uma melhoria na qualidade dos frutos (MOSSAD et al., 2020).

Mossad et al. (2020) evidenciam a vantagem da adoção do PRD para produção de suco de laranja em clima semiárido, mesmo com os custos mais elevados do sistema de irrigação, atribuída aos benefícios de economia de água e de qualidade de fruto, principalmente teor de açúcares, podendo ser uma técnica viável, onde se tem limitação ou preço elevado da água, considerando que o suco de laranja costuma ser pago pelo peso e teor de açúcar e em alguns casos pelo rendimento de suco.

2.7. INDICADORES FISIOLÓGICOS

Alguns parâmetros fisiológicos podem ser utilizados para caracterizar a resposta das plantas ao déficit hídrico. Entre estes se destacam a condutância estomática, a transpiração foliar, a temperatura da folha, o potencial de água na folha e a densidade de fluxo de seiva (SAMPAIO et al., 2014). Acredita-se que os índices das plantas são os mais confiáveis, considerando que o solo é apenas um indicador indireto. Porém, as variáveis medidas diretamente na planta mostram-se muito sensíveis a fatores ambientais e a resposta ao estresse pode ser mal interpretada, indicando apenas um déficit hídrico temporário, resultante do desequilíbrio existente entre a transpiração e a absorção radicular (COELHO FILHO, et al., 2011).

Em estudo conduzido com a lima ácida ‘Tahiti’, avaliando indicadores fisiológicos sob irrigação com déficit hídrico e a técnica do PRD, obtiveram resultados que indicaram um maior controle estomático, com menores médias de condutância estomática, transpiração foliar,

temperatura foliar e densidade de fluxo de seiva, em plantas submetidas a déficit hídrico de 50% da ETC, associado ao PRD com alternância de 7 dias (SAMPAIO et al., 2014).

A folha absorve radiação e dissipa a energia na forma de emissão radiante (infravermelha térmica), de calor latente de vaporização (transpiração) e de convecção/condução de calor, com tendência de manutenção de equilíbrio térmico entre o meio, armazenando um valor considerado desprezível dessa energia. A planta em uma condição de disponibilidade hídrica satisfatória, dissipa boa parte da energia absorvida através da transpiração, promovendo o resfriamento da superfície foliar. No entanto, havendo limitação na disponibilidade hídrica, em que a planta entra em processo de déficit, ocorre uma diminuição do calor dissipado pela transpiração, tendendo a aumentar a temperatura da folha até um valor máximo correspondente a situação em que a planta se encontra em máxima deficiência hídrica. Desse modo a diferença entre a temperatura foliar e a do ambiente é reconhecidamente utilizado como um indicador de déficit hídrico da planta (COELHO FILHO, et al., 2011).

O maior direcionamento na produção de fitomassa para o sistema radicular dos porta-enxertos de citros é considerada uma característica de adaptação das plantas submetidas a períodos de déficit hídrico prolongado, fazendo com que a planta priorize a absorção de água, diminua a alocação de massa para as folhas, o que resulta em uma menor transpiração foliar (SUASSUNA et al., 2012).

Magalhaes Filho et al. (2008) avaliando o efeito da deficiência hídrica na laranjeira ‘Valência’ sob os portaenxertos limão Cravo e Trifoliata, observaram uma redução na parte aérea das plantas, indicando uma priorização no crescimento de raízes como um mecanismo de adaptação à seca, como meio de defesa ao déficit hídrico, onde as plantas nessa condição passam a investir mais em biomassa para o sistema radicular, com o objetivo de aumentar a capacidade de água e nutrientes.

2.8. MONITORAMENTO DA ÁGUA NO SOLO

A quantidade de água no solo que normalmente é representada por sua umidade, refere-se a massa ou volume de água por unidade de massa ou volume de solo seco, mas também pode ser expressa em valores percentuais, quando relacionada com a densidade do solo seco. Essa água, também denominada de solução do solo é retida por ação da combinação das forças capilares e de adsorção, formando a força matricial, que interfere nos processos de evapotranspiração, absorção de água pelas plantas e distribuição e drenagem (COELHO FILHO, et al., 2011).

O método gravimétrico é a metodologia padrão de medição do teor de água no solo, utilizado para calibração dos métodos indiretos, mas que tem pouca adequação para acompanhamento das alterações da umidade do solo, pois é necessário que o solo permaneça por um tempo de 24 horas em estufa a 105 °C para se obter a água no solo, portanto é um método destrutivo em que uma amostra tem que ser retirada para cada medição o que dificulta o processo de automação. Diferentemente dos métodos eletromagnéticos em que o teor de água à base volume é determinado a partir de sinais enviados por uma sonda que detecta propriedades elétricas do solo, tendo dois tipos de sondas mais utilizadas que são a TDR e as de capacitância, podendo ser interligadas a registradores de dados e a sistemas automatizados de irrigação (BRADY & WEIL, 2013).

Os métodos de determinação da umidade do solo baseados nas grandezas elétricas têm despertado maior interesse e vêm sendo mais explorados devido, principalmente, ao desenvolvimento de produtos eletrônicos sofisticados, com utilização em agricultura irrigada. O desenvolvimento e a criação de métodos para determinação de parâmetros utilizados no manejo da irrigação poderá contribuir para uma melhor eficiência no uso da água e para oferta de instrumentos disponíveis com valores mais reduzidos (FREITAS et al., 2012).

Dois métodos indiretos de monitoramento do teor de água no solo têm se destacado nos últimos anos pelo fato de serem bastante precisos, não oferecerem risco no seu manuseio e pela rapidez na estimativa do teor de água no solo: o da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) e o da Reflectometria no Domínio da Frequência (FDR), ambos métodos eletromagnéticos, baseados na constante dielétrica da matriz do solo (SOUZA et al., 2016).

O reflectômetro TDR é um instrumento, disponível no mercado, de medição indireta do teor de água no solo que apresenta algumas vantagens em relação a outros equipamentos, como leituras em tempo real e em curtos intervalos de tempo, diminuição da degradação da área amostrada, a não emissão de radiações ionizantes, facilidade de ligação a equipamentos coletores de dados, mas que tem como desvantagens a dependência dos atributos físicos e químicos do solo, calibração trabalhosa e custo alto do equipamento (SANTOS et al., 2012). A reflectometria no domínio do tempo (TDR) tem despertando um maior interesse devido à possibilidade de medição em tempo real e de leituras automatizadas (LACERDA et al., 2005).

2.9. PROTETOR SOLAR

A tecnologia de filme de partículas, formadas através de produtos à base de cálcio, pode afetar a condutância estomática e as trocas gasosas, como consequência da reflexão parcial da radiação fotossinteticamente ativa e do fechamento parcial dos estômatos, mas os resultados

sobre os seus efeitos benéficos são muitas vezes conflitantes e variam de acordo com a espécie, a arquitetura da planta, as condições ambientais e a escala de medição.

O uso de antitranspirantes via foliar podem atuar no processo de transpiração através da obstrução parcial dos estômatos e no aumento da reflexão da radiação solar, reduzindo o gradiente de temperatura foliar (EL-KHAWAGA, 2013).

Produtos à base de carbonato de cálcio induzem uma condição de fotoproteção as plantas, resultando em manutenção da atividade fisiológica, reduzindo os danos causados por estress abióticos (SOELA et al., 2023).

O aumento da temperatura do ar, que pode se tornar mais evidente, devido as alterações climáticas, impacta o metabolismo das plantas e afeta a assimilação de carbono, principalmente pelo fechamento estomático e limitações fotoquímicas e bioquímicas (RODRIGUES et al., 2018).

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, M. D. S.; TOYOSUMI, I. D. S.; LOPES, W.D.A.; CAMILLO, L.R.; FERREIRA, L.N.; ROCHA JUNIOR, D.S.; COELHO FILHO, M.A. Partial rootzone drying and regulated deficit irrigation can be used as water-saving strategies without compromising fruit yield and quality in tropically grown sweet Orange. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2021. <https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1900750>

BASTOS, D.C.; FERREIRA, E.A.; PASSOS, O.S.; SÁ, J. F.; ATAÍDE, E.M.; CALGARO, M. Cultivares copa e porta-enxertos para a citricultura brasileira, *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.35, n.281, p. 36-45, 2014.

BRADY, N.C.; WEIL, R.R. *Elementos da natureza e propriedades dos solos*. Porto Alegre. 3º edição, p.686, 2013.

CARVALHO, L.M.; CARVALHO, H.W.L.; SOARES FILHO, W.S.; MARTINS, C.R.; PASSOS, O.S. Porta-enxertos promissores, alternativos ao limoeiro 'Cravo' nos Tabuleiros Costeiros de Sergipe. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, v.51, n.2, p.132-141. 2016.

CARVALHO, S.A. Propagação dos citros. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.22, n.209, p. 21-25, 2001.

CASTRO, P.R.C.; MARINHO, C.S.; PAIVA, R.; MENEGUCCI, J.L.P. Fisiologia da produção de citros. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.35, n.281, p. 36-45, 2014.

COELHO, E.F.; OLIVEIRA, A.S.; MAGALHÃES, A.F.J. *Irrigação e fertirrigação em citros*. Cruz das Almas, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, p.23, 2000.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M. A.; MAGALHÃES, A.F.J.; OLIVEIRA, A.S. Irrigação e fertirrigação na cultura de citros. In: SOUSA, ET AL. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 413-439.

COELHO FILHO, M. A.; BASSOI, L.H.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO, E.F.; PEREIRA, F.A.C. Relação solo-planta-atmosfera. In: SOUSA, et al. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 27-90, 2011.

COELHO, Y.S. Lima ácida ‘Tahiti’ para exportação: aspectos técnicos da produção. Brasília: Embrapa SPI, 1993, p.35.

COHEN, A., GOELL, A. Fruit development as an indicator of the irrigation needs of citrus trees. Proc. International Society Citriculture Cong. (Sao Paulo), v. 1, p. 114- 121, 1984.

COSTA, E.L.; COELHO, E.F. Irrigação dos Citros. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.209, p. 54-60, 2001.

DONATO, S.L.R.; PEREIRA, C.S.; BARROS, Z.J.; SIQUEIRA, D.L.; SALOMÃO, L.C.C. Respostas de combinações de variedades copa e porta-enxertos de citros a deficiência hídrica. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.42, n.10, p.1507-1510, 2007.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W.O. Crop water requirement. FAO Irrigation and drainage paper, 24. p.1-144, 1977.

ESTER, A.F. Panorama da citricultura brasileira. Informe Agropecuário, v.35, n.281, p. 7-16, 2014.

FREITAS, W.A.; CARVALHO, J.A.; BRAGA, R.A.; ANDRADE, M.J.B. Manejo da irrigação utilizando sensor da umidade do solo alternativo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, PB. v.16, n.03, p.268-274, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. 2017. www.sidra.ibge.gov.br.

LACERDA, R.D.; GUERRA, H.O.C.; BARROS JÚNIOR, G.; CAVALCANTI, M.L.F. Avaliação de um TDR para determinação do conteúdo de água do solo. Revista de Biologia e Ciências da Terra. v.05, n. 01, 2005.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja ‘Valência’ sobre dois tipos de porta-enxerto. Bragantia, v.67, p.75-82, 2008.

MARINHO, L.B.; FRIZZONE, J.A.; TALENTINO JÚNIOR, J.B.; PAULINO, J.; FLUMIGNAN, D.L.; GOES, D.B. Dinâmica da Água no Sistema Solo-Planta no Cultivo da Pimenta Tabasco sob Déficit Hídrico. *Revista Irriga. Botucatu. Edição Especial, Irrigação*, p. 246-261, 2016.

MAROUELLI, W.A.; OLIVEIRA, A.S.; COELHO, E.F.; NOGUEIRA, L.C.; SOUSA, V.F. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, ET AL. *Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças*. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 157-232.

MOSSAD, A.; FARINA, V.; LO BIANCO, R. Fruit Yield and Quality of ‘Valencia’ Orange Trees under Long-Term Partial Rootzone Drying. *Agronomy*, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020164>

PINTO, A.C.Q; SOUSA, E.S.; RAMOS, V.H.V. Tecnologia de produção e comercialização da lima ácida Tahiti, da goiaba e do maracujá-azedo para o Cerrado. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p.69, 2004.

PORTELA, C.R.; MARINHO, C.S.; AMARAL, B.D.; CARVALHO, W.S.G.; CAMPOS, G.S.; SILVA, M.P.S., SOUSA, M.C. Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliato ‘Fly Dragon’ e limoeiro Cravo em fase de formação do pomar. *Bragantia*, Campinas. v.75, n.1, p.70-75, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/61678-4499.267>.

SAMPAIO, A.H.R.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; DANIEL, R. Indicadores fisiológicos da lima ácida ‘Tahiti’ submetida à irrigação deficitária com secamento parcial de raiz. *Irriga, Botucatu*, v.19, n.2, p.292-301, 2014.

SANTOS, D.B.; CECILIO, R.A.; COELHO, E.F.; BATISTA, R.O.; SILVA, A.J.P. Calibração de TDR: desempenho de alguns métodos e equações de calibração. *Revista Agrarian. Dourados*, v.05, n.16, p.131-139, 2012.

SANTOS, L.M.; SOUSA, A.R.O.; GESTEIRA, A.S.; COELHO FILHO, M.A. Avaliação da dinâmica na absorção de água em plantas de citros sob diferentes porta-enxertos em condições de deficiência hídrica. 10º Jornada Científica, Cruz das Almas, Embrapa Mandioca e Fruticultura, p. 125, 2016.

SANTOS, M.R.; DONATO, S.L.R.; COELHO, E.F.; ARANTES, A.M.; COELHO FILHO, M.A. Irrigação lateralmente alternada em lima ácida ‘Tahiti’ na região norte de Minas Gerais. *Irriga, Botucatu*, edição especial, Irrigação, p.71-88, 2016.

SIQUEIRA, D.L.; SALOMÃO, L.C.C. Citros: do plantio a colheita. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017. 278 p.

SILVA, S.E.L.; SOUZA, A.G.C.; BERNI, R.F.; SOUZA, M.G.; SOBRINHO, A.P.C. Lima Ácida Tahiti: Uma opção para a citricultura do Amazonas. Manaus, AM: Embrapa, 2007 (Comunicado Técnico, 53).

SOARES, Laurinda Almeida dos Anjos et al. Crescimento de combinações copa-porta-enxerto de citros sob estresse hídrico em casa de vegetação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.19, n.3, p.211-217, 2015.

SOBRINHO, A.P.C.; PASSOS, O.S.; SOARES FILHO, W.S. Cultivares porta-enxerto. In: Cultura dos citros. Embrapa. Brasília, p.233-292, 2013.

SOUZA, C.F.; SILVA, C.R.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; COELHO, E.F. Monitoramento do teor de água no solo em tempo real com as técnicas do TDR e FDR. Revista Irriga. Botucatu. Edição Especial, Irrigação, p. 26-42, 2016.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R. D.; OLIVEIRA, A.; BRITO, K. S.; MELO, A. S. D. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16, 1305-1313, 2012.

SUASSUNA, Janivan Fernandes et al. Trocas gasosas e componentes de crescimento em porta-enxertos de citros submetidos a restrição hídrica. Irriga, Botucatu, v.19, n.3, p.464-477, 2014.

CAPÍTULO I

INTERAÇÃO PROTEÇÃO SOLAR E DÉFICIT HÍDRICO EM POMAR DE LARANJA 'PÊRA' PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO.

INTERACTION OF SUN PROTECTION AND WATER DEFICIT IN A 'PÊRA' ORANGE ORCHARD TO INCREASE THE EFFICIENCY OF WATER USE IN A SUB-HUMID CLIMATE.

RESUMO

A laranja se destaca como a principal fruta cítrica a nível nacional. A região Nordeste tem uma produção expressiva, mas detém a marca de menor produtividade nacional, com perdas de produção registradas ao longo dos anos, em função da escassez e de irregularidades das chuvas. O déficit hídrico que afeta as plantas cítricas é agravado pela ocorrência de secas recorrentes que atingem a região, sob a predominância do cultivo sem o uso da irrigação. Diante desta situação, avaliou-se o manejo de irrigação com déficit controlado e a interação com o uso do protetor solar, em laranjeira 'Pera', com objetivo de mitigar os efeitos abióticos na produção e aumentar a eficiência de uso de água e a eficiência produtiva de plantas. Os seguintes tratamentos foram avaliados em delineamento em blocos casualizados e esquema fatorial 3 x 2: Fator manejo de água: irrigação plena (100% ETc), irrigação com déficit moderado (65% ETc) e ausência de irrigação; Fator proteção solar: uso de protetor solar e ausência. Plantas irrigadas com déficit e cultivadas em sequeiro não foram impactadas na produção e nas trocas gasosas. No entanto, as plantas não irrigadas reduziram o diâmetro, o comprimento e a massa dos frutos. Já o manejo da irrigação com déficit hídrico proporcionou um ganho na eficiência de uso da água. O uso do protetor solar tornou plantas de citros mais resilientes mitigando os efeitos ambientais (elevadas temperaturas e déficit hídrico), implicando em aumento de 11% a produção de laranja, independentemente dos tratamentos aplicados. Mesmo as plantas irrigadas com 100% ETc, ao se combinar com o uso do protetor solar, foram mais produtivas. Mas o maior ganho proporcionado pelo uso do protetor, incremento de 18% na produção, foi no cultivo sem o uso da irrigação. Portanto, foram observados ganhos na produção de laranja, relacionados ao uso protetor solar, independente do manejo de água adotado.

Palavras-chaves: citros, gotejamento, manejo de irrigação, indicadores fisiológicos, produção.

ABSTRACT

The orange stands out as the main citric fruit at the national level. The Northeast region has an expressive production, but it has the lowest national productivity mark, with production losses registered over the years, due to the scarcity and irregularities of the rains. The water deficit that affects citrus plants is aggravated by the occurrence of recurrent droughts that affect the region, under the predominance of cultivation without the use of irrigation. Faced with this situation, we evaluated the management of irrigation with controlled deficit and the interaction with the use of sunscreen in 'Pera' orange trees, with the objective of mitigating the abiotic effects on the production and quality of fruits and increasing the efficiency of use. of water (Kg.m^{-3} of water) and productive efficiency of plants (Kg.m^{-3} of crown). The following treatments were evaluated in a randomized block design and a 3 x 2 factorial arrangement: Water management factor: full irrigation (100% ETc), moderate deficit irrigation (65% ETc) and no irrigation; Sun protection factor: use of sunscreen and its absence. The management of irrigation with deficit and the non-irrigated plants were impacted in the production and in the gas exchanges with the water deficit, implying in the reduction of the length, diameter and weight of the fruits; increased water use efficiency and production efficiency. The use of sunscreen made citrus plants more resilient, mitigating environmental effects (high temperatures and water deficit), resulting in an 11% increase in orange production, regardless of the treatments applied. Even the plants irrigated with 100% ETc, when combined with the use of sunscreen, were more productive, but the greatest gain provided by its use, an increase of 18% in production, was in the cultivation without the use of irrigation. Therefore, gains in orange production were observed, related to the use of sunscreen, regardless of the water management adopted.

Keywords: citrus, drip, irrigation management, physiological indicators, production

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira tem a laranja como principal fruta cítrica produzida, colocando o Brasil na posição de maior produtor mundial de laranja, sendo que a maior parte dessa produção se destina à indústria para processamento de suco (ESTER, 2014). O Brasil produz por ano 16,21 milhões de toneladas de laranjas (IBGE, 2021), respondendo por 34% da produção de laranja e mais da metade do suco produzido no mundo, sendo, portanto, uma atividade de grande importância econômica para o país, que se soma ao fato de ser exigente em mão-de-obra, gerando emprego, desencadeando impacto na economia, não só dos municípios produtores, como também nos municípios que se encontram nos arredores (NEVES & TROBIN, 2017).

A região Nordeste ocupa a terceira colocação da produção nacional, com destaque para os estados da Bahia e Sergipe, quarto e quinto estados que mais produzem laranja, respectivamente. No entanto, é a região com a pior média de produtividade (IBGE, 2017). De maneira geral, a produtividade média baixa está atrelada a um conjunto de fatores e entre estes estão adubações insuficientes e a deficiência hídrica, ocorrida em função de precipitações aquém do necessário e/ou com distribuição irregular durante o ano (COELHO et al., 2011). A deficiência hídrica associada às elevadas temperaturas em que as plantas são submetidas durante uma boa parte do ano são fatores limitantes na produção de laranja.

Alguns compostos químicos têm sido aplicados nas plantas com o objetivo de melhoria no seu desempenho produtivo, atuando como uma proteção ao estresse térmico e à alta incidência da radiação. O uso de antitranspirantes via foliar podem atuar no processo de transpiração através da obstrução parcial dos estômatos e no aumento da reflexão da radiação solar, reduzindo o gradiente de temperatura foliar (EL-KHAWAGA, 2013).

O uso de produto à base de carbonato de cálcio induz uma fotoproteção através da manutenção da atividade fisiológica, reduzindo os danos causados por estresse abióticos, melhorando o desempenho inicial de mudas de café (SOELA et al., 2023). Proporcionou benefícios também em videira, resultando em aumento da biossíntese de sacaroses (CONDE et al., 2018). Em tangerina “murcott”, pulverizações com carbonato de cálcio, reduziram a temperatura foliar e diminuíram os danos causados por queimadura solar em frutos (TSAI et al., 2013). Nessa cultura, a utilização de caulim é muito difundida no Semiárido, na região de Bom Jesus da Lapa -BA, devido às elevadas temperaturas e irradiância solar, principalmente no segundo semestre do ano, mitigando os danos causados por queimadura solar no período de desenvolvimento dos frutos.

Dessa forma, com o objetivo de mitigar os efeitos abióticos na produção e na qualidade de frutos de laranja 'Pera', aumentar a eficiência de uso de água (Kg.m^{-3} de água) e eficiência produtiva de plantas (Kg.m^{-3} de copa), conduziu-se um experimento, no município de Rio Real-BA, maior produtor do Brasil em extensão da citricultura por unidade municipal, sobre o manejo de irrigação com déficit controlado e sua interação com o uso do protetor solar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de setembro de 2021 a maio de 2023, no município de Rio Real, sítio São João ($11^{\circ}27'55,9''$ S e $37^{\circ}57'57,5''$ W, altitude de 176 metros), localizado na região do Litoral Norte do estado da Bahia, fazendo fronteira com área produtora de citros do estado de Sergipe, que juntas formam o polo citrícola dos tabuleiros costeiros de Sergipe e Bahia.



Figura 1. Imagem da área de estudo na propriedade rural, Sítio São João, Rio Real-BA.

O clima é do tipo As quente e úmido, segundo classificação de Koeppen, com temperatura média anual de 24°C , atingindo temperatura de 18°C no mês mais frio. A pluviosidade média é de 1000 mm, com período chuvoso entre os meses de abril a setembro e chuvas mais concentradas entre os meses de maio a julho.

Os dados climáticos referentes à temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar foram obtidos da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Itabaianinha-SE, distante quarenta e dois quilômetros do local do experimento. A partir destes dados, estimou-se a evapotranspiração de referência (E_{To}), com o uso da equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273,16} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Sendo Δ a declinação da curva de saturação do vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G a densidade do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ o fator psicrométrico (MJ kg^{-1}); T_{med} a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); U_2 a velocidade do vento há 2 metros do solo (m s^{-1}); e_s a pressão de saturação do vapor (kPa); e_a a pressão atual do vapor (kPa).

Os valores diários da evapotranspiração de referência (ET_o) foram multiplicados pelo coeficiente da cultura (K_c) da laranja, que conforme Doorenbos e Pruitt (1977), apresentam valores que variam de acordo com cobertura vegetal, em função do porte da planta e da presença ou não de ervas daninhas; e multiplicados também pelo percentual de cobertura copa (K_r), obtendo-se assim o valor da evapotranspiração da cultura (ET_c).

$$ET_c = ET_o \times K_c \times K_r \quad (2)$$

Os dados de precipitação foram obtidos por pluviômetro instalado no local do experimento. Dessa forma, o manejo da irrigação foi definido com base na evapotranspiração da cultura, através dos percentuais de reposição, sendo estes adotados via irrigação por gotejamento para os diferentes tratamentos estudados, com turno de rega de dois dias.

O solo da propriedade é classificado como um Argissolo Acinzentado Coeso, textura franco arenoso, com topografia plana. Foram realizadas coletadas de solo de amostras indeformadas e deformadas para caracterização do solo na área experimental. Para análises químicas, as amostras foram coletadas em duas profundidades 0,0-0,20m e 0,20-0,40m e para as análises físicas as amostras foram coletadas em três profundidades 0,0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m, obtendo-se as análises de granulometria, densidade do solo e retenção de água no solo (Tabelas 1, 2 e 3).

Tabela 1. Resultado da análise química do solo, em duas profundidades 0,0-0,20 e 0,20-0,40m, Sítio São João, Rio Real-BA.

Z	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	H+Al	SB	CTC	V
m		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%
0,0-0,2	6,04	11,5	28,9	0,08	1,02	0,41	0,035	0,309	2,62	2,93	89,4
0,2-0,4	4,48	9,04	28,9	0,06	1,02	0,27	0,033	0,672	1,38	2,05	67,3

Tabela 2. Análise granulométrica do solo e classificação textural, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.

Profundidade	Areia Total	Silte	Argila	Classe Textural
(m)	g kg ⁻¹			
0,0 – 0,20	822,9	31,7	145,4	Franco arenoso
0,20 – 0,40	724,5	50,9	224,6	Franco argilo-arenoso
0,40 – 0,60	703,7	31,7	264,6	Franco argilo-arenoso

Tabela 3. Densidade do solo (Ds), retenção de água e água disponível do solo, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.

Profundidade	Ds	Potencial matricial (kPa)		Água
(m)	Kg dm ⁻³	-33	-1500	Disponível
		Umidade do solo (%)		
0,0 – 0,20	1,17	8,05	5,16	2,89
0,20 – 0,40	1,40	10,77	6,96	3,81
0,40 – 0,60	1,42	12,23	7,99	4,24

O experimento foi instalado em pomar de laranja ‘Pêra’, enxertada em limão ‘Cravo’, com 05 anos de idade, com plantas espaçadas em 6 x 3 m. A cultura foi irrigada por gotejamento e utilizou-se uma linha de gotejadores com vazão de 2,4 L/H, espaçados a 50cm, distribuídos ao longo da linha de plantio, distantes 60cm do tronco da planta.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados em esquema fatorial 3 x 2 e cinco repetições. Cada unidade experimental constituída de sete plantas. Fatores correspondendo a três esquemas de manejo de água no pomar (dois manejos da irrigação e um tratamento em condição de sequeiro) e o manejo fitotécnico mediante a aplicação de filtro solar

no dossel vegetativo: (i) tratamento com pulverizações foliares mensais e (ii) sem a aplicação do filtro solar. No que se refere ao manejo de água no pomar, os seguintes tratamentos foram aplicados: (i) Irrigação completa (100% da evapotranspiração da cultura - ETc), (ii) Irrigação com déficit (65% da evapotranspiração da cultura - ETc), (iii) Sem irrigação (0%), conforme descrito na Tabela 4. Ressalta-se que a citricultura é predominantemente de sequeiro na região e na propriedade estudada.

Tabela 4. Tratamentos referentes ao manejo da irrigação e uso de filtro solar nas plantas de laranja ‘Pêra, Sítio São João, Rio Real-BA.

Tratamento	Manejo da Irrigação	Filtro Solar
1	100 % ETc	Com uso
2	65% ETc	Com uso
3	Sequeiro	Com uso
4	100 % ETc	Sem uso
5	65% ETc	Sem uso
6	Sequeiro	Sem uso

A umidade do solo foi monitorada a partir de valores de constante dielétrica do solo, obtidas com uso de sondas de TDR (Reflectometry Domain Time), construídas conforme Coelho et al. (2006). As sondas de TDR foram instaladas em duas plantas para cada tratamento e em duas profundidades (0,20 e 0,60), a 1,50 m do troncos das plantas, representando a zona do sistema radicular das plantas.

As seguintes avaliações de crescimento de plantas foram realizadas ao final do estudo, mês de maio de 2023: altura de planta e diâmetro de copa, obtidos com o auxílio de uma régua graduada, a partir de um tubo de PVC devidamente graduado em metros, tomando-se a distância do colo da planta, rente ao solo, até o topo da planta. Também foi avaliado o volume (V) da copa (m³), determinado com base nas medições da altura da planta (H) e do diâmetro médio da copa (Dm), sendo este último obtido no sentido da linha (DI) e no sentido perpendicular à rua (Dr), por $V = 2/3 \times \pi \times Dm^2/4 \times H$ (POMPEU JUNIOR, 1991).

Com o uso de um analisador de gases por infravermelho IRGA modelo LCpro-SD da ADC Bioscientific (Hoddesdon, Inglaterra), foram realizadas as seguintes avaliações fisiológicas no pomar, em período mais seco e quente do ano: condutância estomática ao vapor de água (gs), transpiração (E), assimilação de CO₂ (A) e concentração intercelular de CO₂.

Todas as medições foram realizadas a partir de 1,5 m de altura do solo e na segunda ou terceira folha totalmente expandida em dois ramos por planta localizados na parte externa e em lados opostos da copa (quadrantes leste e oeste), no intervalo entre 8 e 10 horas. A eficiência de uso da água ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) foi estimada pela razão entre a transpiração ($\text{mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$) e a assimilação de CO_2 ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$), conforme a fórmula: $\text{EUA} = \text{E}/\text{A}$.

As análises de produtividade foram realizadas em três colheitas, durante o período de junho de 2022 a maio de 2023, por meio da pesagem dos frutos, e uso de uma balança comercial. A eficiência produtiva foi calculada pela razão média entre a produção anual da planta e o volume de copa do respectivo ano, conforme a seguinte equação: $\text{EP} = \text{P}/\text{V}$. Sendo EP a eficiência produtiva ($\text{Kg}\cdot\text{m}^3$); P a produção total por planta (kg); e V o volume de copa (m^3). Para determinação da qualidade dos frutos, foram coletados dez frutos por planta na parte externa da copa, obedecendo ao critério de uniformização das amostras a partir da coloração da casca. Em seguida, os frutos foram encaminhados para determinação dos seguintes parâmetros físicos: altura (cm), diâmetro (cm), massa dos frutos (g).

Com base nos resultados de produção e lâmina de irrigação aplicada no ciclo produtivo, foi determinada a eficiência do uso da água de irrigação, conforme equação a seguir: $\text{EUA} = \text{P} / \text{I}$. Sendo EUA a eficiência do uso da água (kg m^{-3}); P a produção total por planta (kg); e I a lâmina de irrigação aplicada por planta (m^3).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e foram realizados os desdobramentos das interações quando significativas e comparações de médias dos tratamentos por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$) ou ao teste “t” não paramétrico.

3. RESULTADOS

Condição climática

Durante o período de estudo, pode-se observar que a maior média mensal de precipitação pluviométrica foi de 234,1 mm, ocorrida em novembro de 2022, período considerado seco e a menor de 18,4 mm, no mês de fevereiro desse mesmo ano (Figura 2.).

A temperatura média do ar atingiu a máxima de 27,69 °C, em fevereiro de 2022 e a mínima de 22,8 °C em julho de 2022 (Figura 2.). As maiores temperaturas foram registradas entre os meses de novembro a abril, decaindo no mês de maio e atingindo os menores valores entre junho e agosto, começando a aumentar no mês de setembro, mês de ocorrência natural de floração mais acentuada.

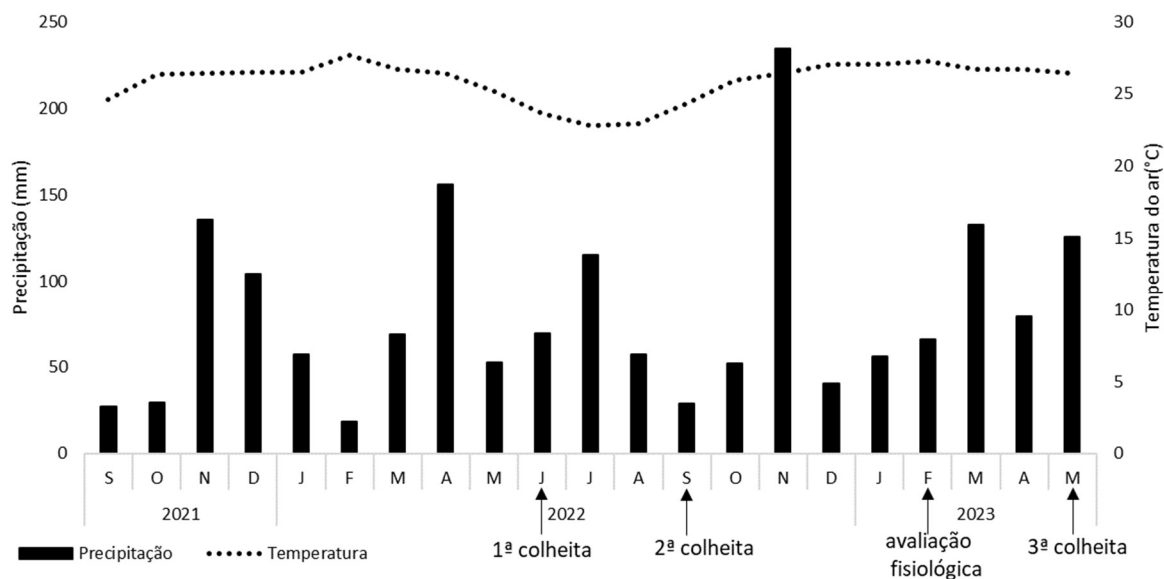


Figura 2. Precipitação e temperatura média mensal, durante o período de estudo, setembro de 2021 a maio de 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.

Dados fisiológicos

O protetor solar e o manejo de água não influenciaram estatisticamente nas trocas gasosas das laranjeiras, no período seco. No entanto, com uso do protetor solar, verifica-se uma tendência de estabilização e melhoria nesses indicadores (Figura 3 e 4).

A transpiração foliar e a condutância estomática se mantiveram estáveis com o uso do protetor solar, nos diferentes manejos de água, mas se elevou à medida que houve déficit hídrico, quando não foi utilizado o protetor solar (Figura 3). O que pode estar associado à contribuição do protetor solar para uma melhor regulação hídrica das plantas.

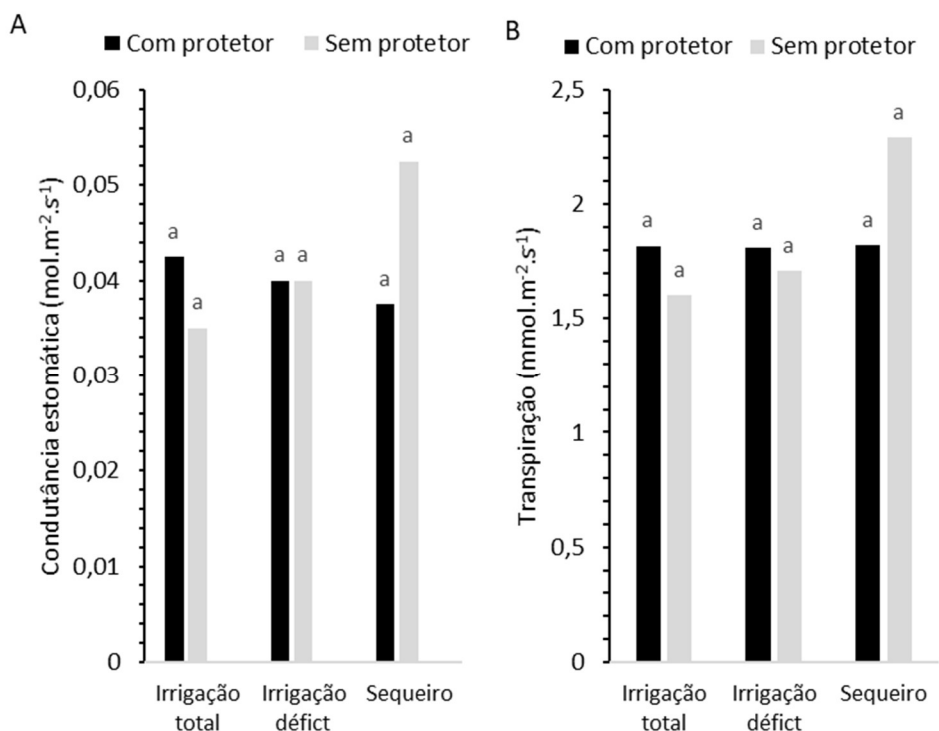


Figura 3. Condutância estomática e transpiração foliar da laranjeira ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água, no mês de fevereiro de 2023, entre 8 e 10 horas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da E_{Tc}, 65% da E_{Tc} e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA

O déficit hídrico elevou a concentração interna de carbono, mas o protetor solar reduziu essa elevação, mantendo a concentração interna de carbono em níveis inferiores, nas condições de menor disponibilidade de água (Figura 4A).

A fotossíntese reduziu à medida que houve aumento do déficit hídrico em que as plantas foram submetidas. Os maiores valores foram observados na irrigação plena, ocorrendo redução no tratamento com irrigação com déficit e diminuindo mais ainda no sistema de sequeiro (Figura 4B). No entanto, observou-se que o decréscimo nesses dois indicadores foi superior para os tratamentos sem o protetor solar.

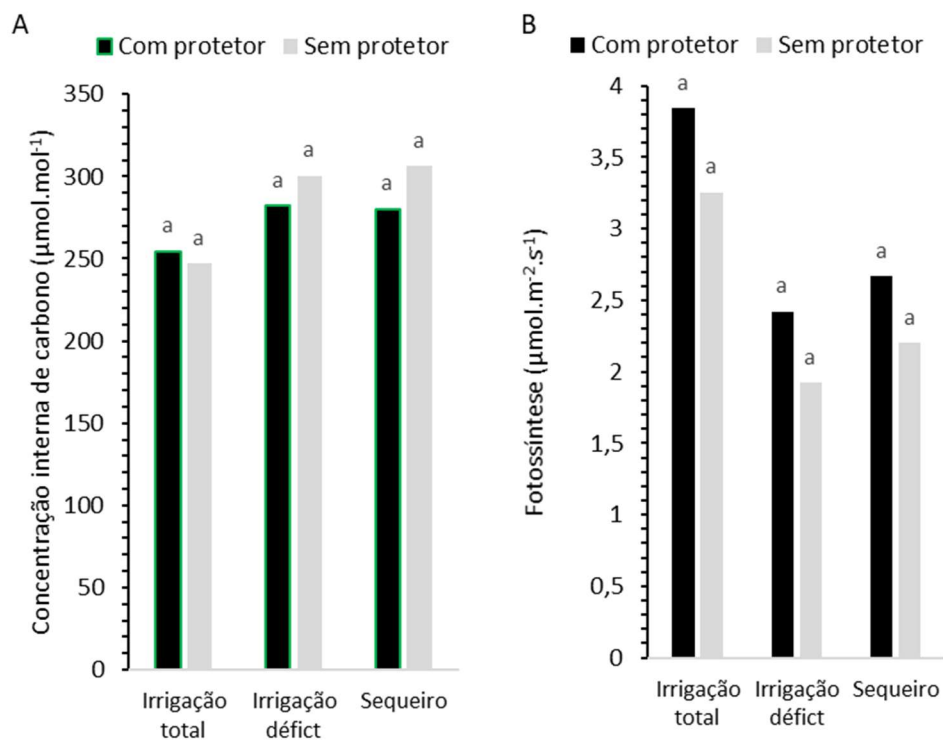


Figura 4. Concentração interna de carbono e fotossíntese da laranjeira ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água, no mês de fevereiro de 2023, entre 8 e 10 horas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da E_{Tc} , 65% da E_{Tc} e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

O protetor solar melhorou a eficiência de uso da água (EUA) nos tratamentos em que houve restrição hídrica (Figura 5). As plantas cultivadas em regime de sequeiro e de irrigação com déficit hídrico, apresentaram menores EUAs, mas para ambas condições, ocorreu uma melhoria na EUA quando se utilizou o protetor solar.

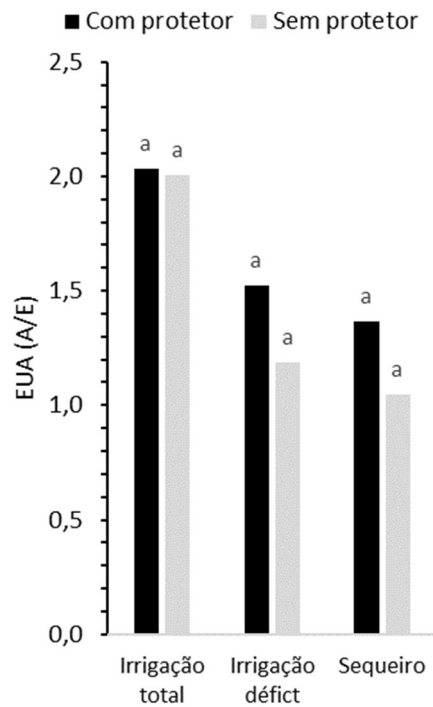


Figura 5. Eficiência de uso da água (EUA) da laranjeira ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água, no mês de fevereiro de 2023, entre 8 e 10 horas. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

Crescimento vegetativo, produção e qualidade de fruto

A irrigação plena proporcionou um maior crescimento das plantas. Diferenças significativas foram observadas para o manejo da irrigação, na variável altura de plantas (Figura 6A). Não houve diferença estatística no volume de copa, mas é possível verificar que a irrigação plena também contribuiu para maiores volumes de copa, conforme Figura 6B.

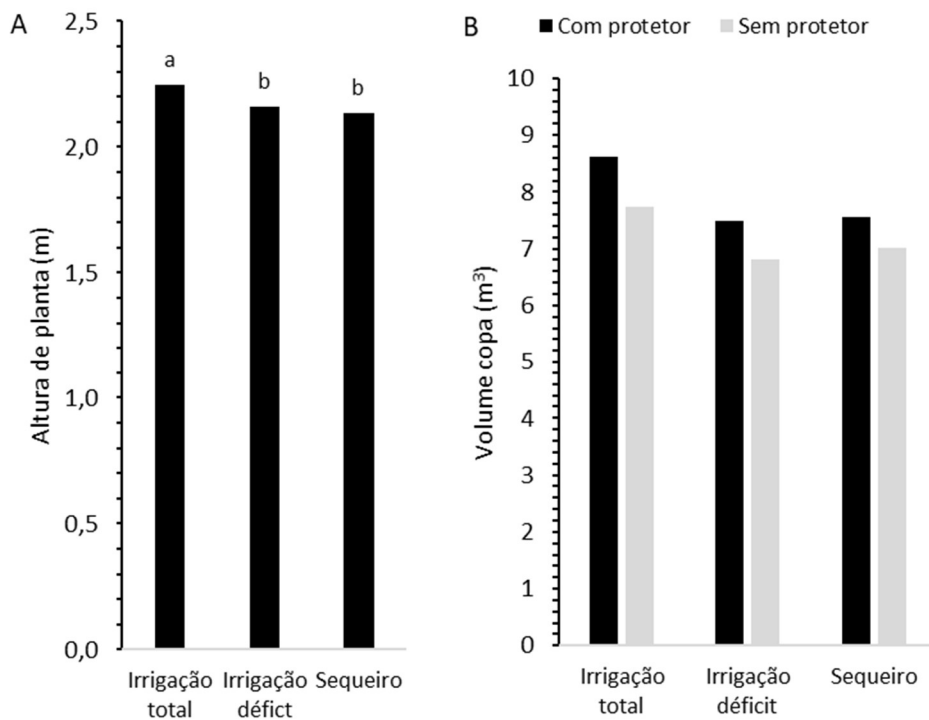


Figura 6. Altura de plantas para os diferentes manejos de água (A) e volume de copa de laranjeira ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, com e sem o uso do protetor solar para os diferentes manejos de água (B), medidas realizadas em maio de 2023. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETC, 65% da ETC e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

A eficiência produtiva (EP) não foi influenciada significativamente pelos tratamentos durante o período analisado, mas para a condição de sequeiro o uso do protetor solar aumentou em 9% a eficiência produtiva (Tabela 5).

Tabela 5. Produção de frutos de laranja ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, volume de copa (VC), altura de plantas (A), eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água (EUA), durante o período de junho de 2022 a maio de 2023, Sítio São João, Rio Real-BA.

Tratamentos	P (kg planta ⁻¹)	VC (m ³)	A (m)	EP (kg m ⁻³)	EUA (kg m ⁻³ água)
100% CP	60,43	8,62	2,32	7,17	33,31
100% SP	54,31	7,75	2,18	7,23	29,93
65% CP	55,64	7,48	2,14	7,45	49,86
65% SP	52,04	6,80	2,18	7,66	46,63
Seq CP	57,98	7,55	2,12	7,66	
Seq SP	49,24	7,02	2,15	7,03	
CV (%)	18,79	14,45	3,66	19,61	15,09

O manejo da irrigação com déficit hídrico (65% ETC) proporcionou um ganho de 53% na eficiência de uso da água (EUA). A EUA foi melhorada com o uso do protetor solar tanto na condição de irrigação plena como na irrigação deficitária (Figura 7).

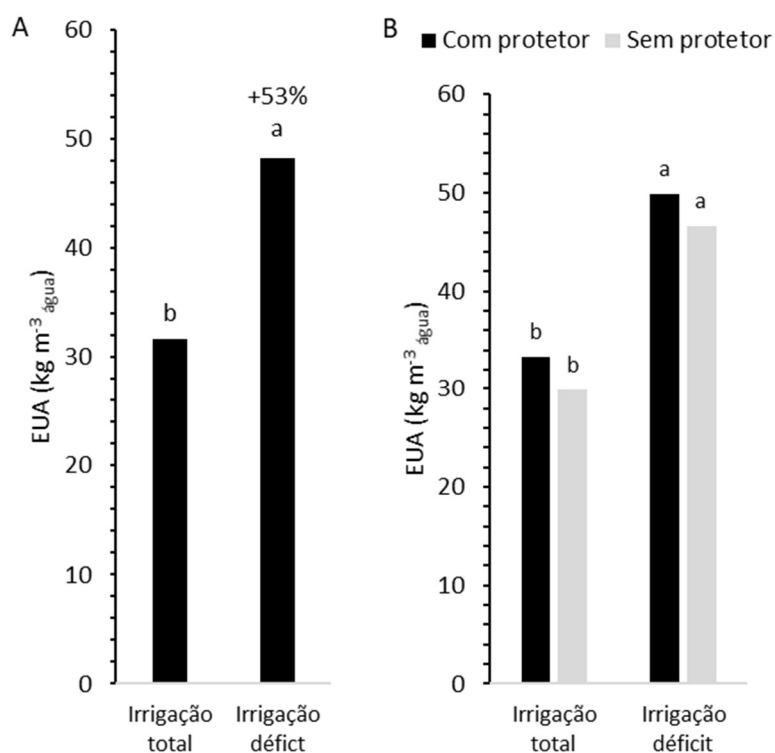


Figura 7. Eficiência de uso da água para o manejo de irrigação de 100% de reposição da ETC e de 65% da ETC (A) e eficiência de uso da água para o manejo de irrigação de 100% de reposição da ETC e de 65% da ETC, com e sem o uso do protetor solar (B) da laranjeira ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, durante os meses de junho de 2022 a maio de 2023, Sítio São João, Rio

Real-BA. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ocorreram diferenças significativas para o uso do protetor solar na produtividade da laranja, ocorrendo incremento de 11% na produção pelo uso do protetor (Figura 8). Com relação aos níveis de manejo de água, não foram observados efeitos significativos na produção. No entanto, a irrigação total foi a condição em que se obteve a maior produção.

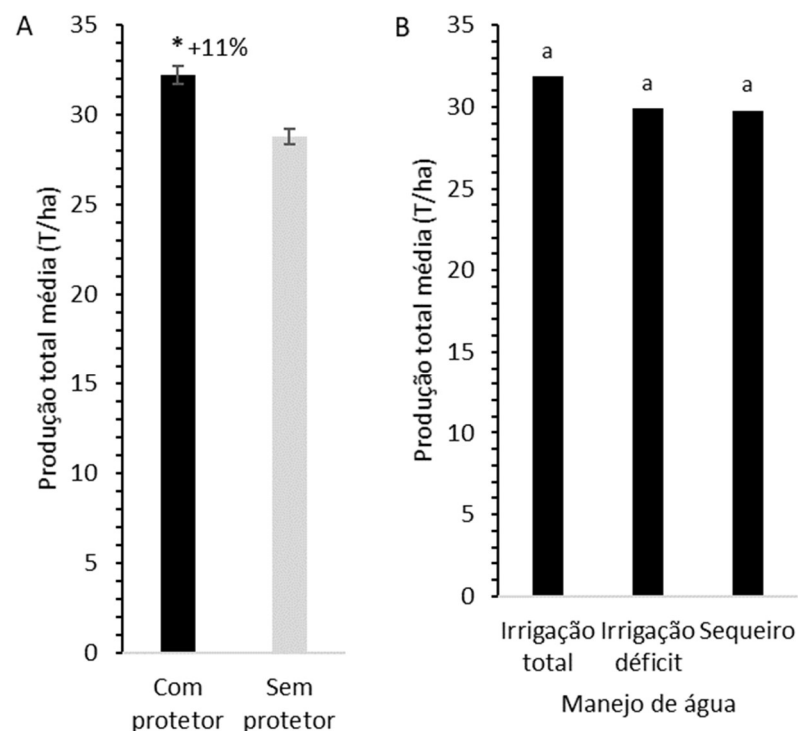


Figura 8. Produção total média de frutos de laranja ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, com e sem o uso do protetor solar (A) e para os tratamentos de manejo de água (B), durante os meses de junho de 2022 a maio de 2023. Barras representam valor médio ($n=5$) \pm erro padrão da média. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os tratamentos manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

O presente estudo avaliou o efeito combinado do estresse hídrico com o uso do protetor solar. Sendo possível visualizar que a produção se manteve mais estável quando se utilizou o protetor solar, mesmo nas condições de déficit hídrico. Analisando o efeito isolado do manejo de água, verificou-se que a produção de laranja apresentou redução quando o pomar passa do manejo de irrigação plena para a irrigação com déficit e ainda reduz um pouco mais quando

submetido ao regime de sequeiro. No entanto, as perdas na produção para a irrigação com déficit e para o regime de sequeiro foram menores quando se utilizou o protetor solar.

Na Figura 9, constam os dados médios de produção total e média das três colheitas (T ha⁻¹), realizadas no ciclo produtivo, onde se observa que foi no tratamento de sequeiro, condição de maior estresse hídrico, que o uso do protetor solar contribuiu para um maior ganho de produção, com incremento de 18% na produção quando comparado ao tratamento sem o uso do protetor solar.

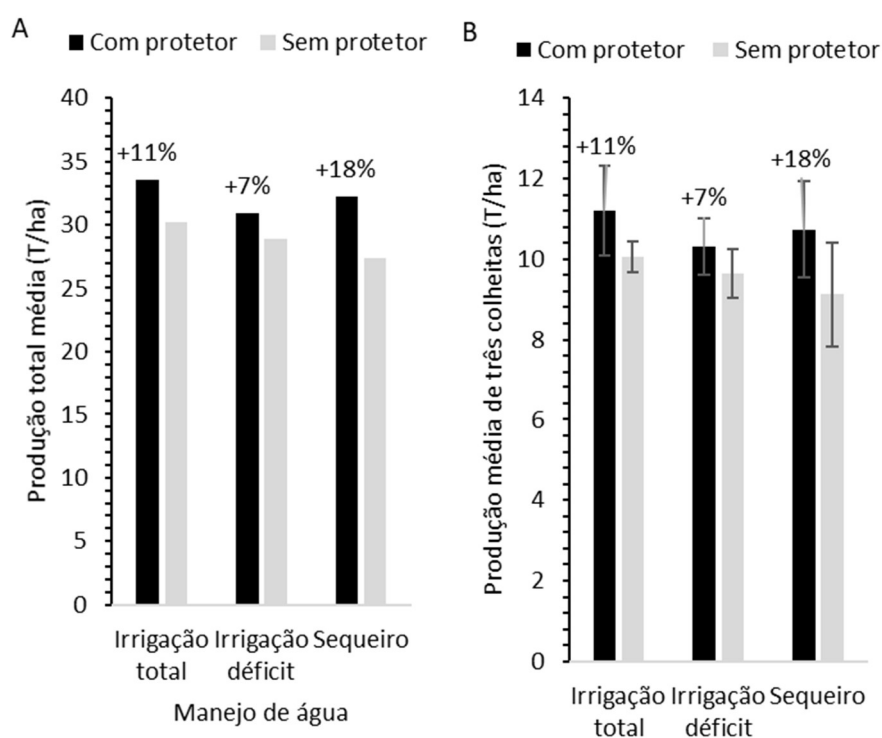


Figura 9. Produção total média (A) e produção média de três colheitas de frutos de laranja ‘Pêra’ (B) enxertada em limoeiro ‘Cravo’, para os tratamentos de manejo de água, com e sem o uso do protetor solar, durante os meses de junho de 2022 a maio de 2023. Barras representam valor médio (n=5) ± erro padrão da média. Os tratamentos manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

De maneira geral, o incremento de produção proporcionado pelo uso do protetor solar foi de 11%, mesmo considerando ter sido um período atípico em que houve uma melhor distribuição no regime de chuvas, característica não muito frequente na região de estudo especialmente no período mais quente do ano (Figura 10).

Analisando o efeito do protetor solar na produção de laranja para as diferentes colheitas, verificou-se que ocorre incremento na produção em todos os períodos em que foram realizadas colheitas (Figura 10), sendo que o maior incremento ocorreu exatamente no período em que a

produção foi menor, período este considerado de entressafra, proporcionando aumento de 39% na produção. Essa fato pode estar associado à condição climática a que foi submetida a floração e os frutos pequenos, considerando que essa produção é função de uma florada fora do período natural.

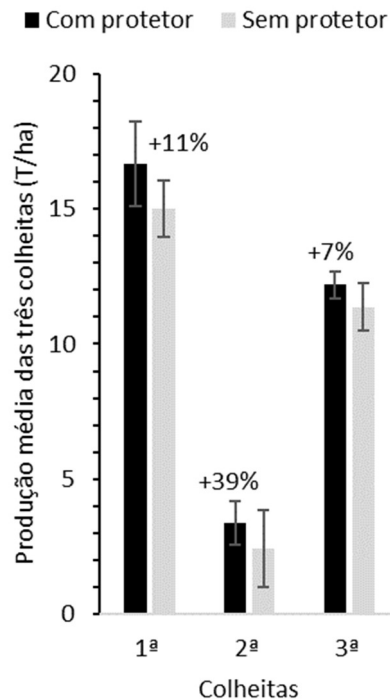


Figura 10. Produção média de frutos de laranja ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, contabilizada separadamente para cada período de colheita, relacionada aos tratamentos: com e sem o uso do protetor solar e os diferentes manejos de água, durante os meses de junho de 2022 a maio de 2023. Barras representam valor médio (n=5) ± erro padrão da média. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

O manejo de água influenciou significativamente no diâmetro, no comprimento e na massa média de frutos, parâmetros associados a qualidade do fruto (Figura 11). Os frutos apresentaram uma melhor qualidade em relação ao tamanho e a massa nos tratamentos irrigados, decaindo à medida que aumentou a condição de déficit hídrico. No tratamento de sequeiro os frutos foram menores e mais leves, mas foi possível verificar que somente para essa condição em que as plantas não foram irrigadas, o uso do protetor solar, mesmo não acarretando em diferenças significativas, pode indicar uma contribuição de ganho em relação à qualidade de fruto, relativo ao tamanho e peso (Tabela 6). Registra-se a importância desses indicadores,

na classificação dos frutos para o mercado “in natura”, onde são comercializados por melhores preços, em relação ao preço praticado nas indústrias de suco.

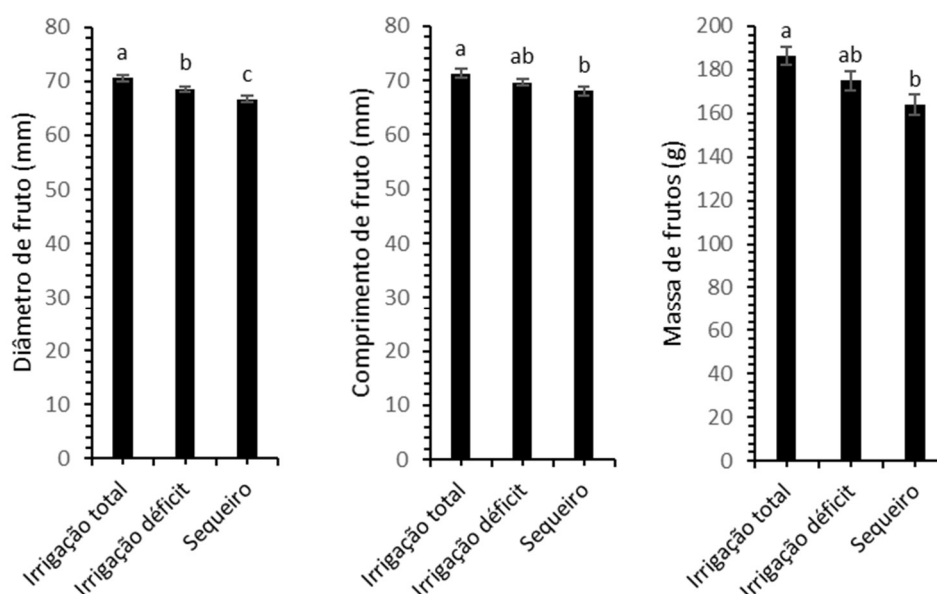


Figura 11. Diâmetro, comprimento e peso de frutos de laranja ‘Pêra’ enxertada em limoeiro ‘Cravo’, para os diferentes manejos de água, durante os meses de junho de 2022 a maio de 2023. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

Tabela 6. Diâmetro, comprimento e peso de frutos de laranja ‘Pêra’, para os diferentes tratamentos referentes ao manejo de água e a aplicação do filtro solar, durante os meses de junho de 2022 a maio de 2023. Os manejos de água consistiram de 100% de reposição da ETc, 65% da ETc e tratamento sem irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

Tratamentos	Diâmetro (mm)	Comprimento (mm)	Massa (g)
100% CP	70,69	70,80	182,99
100% SP	70,48	71,72	189,34
65% CP	68,37	69,30	173,08
65% SP	68,82	70,06	176,78
Seq CP	67,59	69,08	170,50
Seq SP	65,77	67,14	157,48
CV (%)	2,18	2,71	5,77

4. DISCUSSÃO

O efeito do déficit hídrico nas plantas foi minimizado pela condição climática durante o período do estudo. Ocorreu precipitação em todos os meses, mantendo-se a média anual do município, mas ao contrário da normalidade, houve uma distribuição das chuvas.

O protetor solar contribuiu para uma melhor regulação hídrica das plantas, mantendo os níveis de condutância estomática e de transpiração foliar mais estáveis, mesmo nas condições de manejo de irrigação com déficit hídrico e nas plantas não irrigadas. O que não aconteceu quando não foi aplicado o protetor solar, à medida que o déficit aumentou a transpiração foliar e a condutância estomática se elevaram. A aplicação de carbonato de cálcio via foliar, induziu uma fotoproteção em mudas de café conilon, melhorando o desempenho da atividade fotossintética e reduzindo os danos causados pela intensidade de luz e elevadas temperaturas (SOELA et al., 2023).

A concentração interna de carbono se elevou com o déficit hídrico, mas se manteve em níveis inferiores quando foi aplicado o protetor solar, claro indicativo de mitigação dos estresses ambientais por meio do sistema de proteção foliar. Além disso, houve uma contribuição do protetor solar no aumento da assimilação de CO₂, que diminuiu no manejo de irrigação com déficit e plantas não irrigadas. Reduções na atividade fotossintética e na assimilação de CO₂ são indicativos de déficit hídrico (FAVER et al., 1996). A resposta fisiológica para reduzir a perda de água, diminuindo a transpiração e conseqüentemente a absorção de gás carbônico (CO₂), ocasiona redução na taxa fotossintética e acúmulo de fotoassimilados (TAIZ et al., 2017).

Melhorias nas características fisiológicas de plantas de café conilon, através da aplicação de filmes de partícula de cálcio, também foram observadas por Silva et al. (2019), resultando em aumento na taxa de fotossíntese (A), melhor controle na condutância estomática e na transpiração foliar (E) e melhoria na eficiência de uso da água (EUA).

Os melhores resultados de produtividade da laranja foram obtidos no tratamento de irrigação plena (100% ETc) combinado com o uso do protetor solar, indicando uma resposta favorável ao uso do protetor, mesmo em condições de irrigação total, condição esta em que a planta não foi submetida ao estresse hídrico.

Como a aplicação do protetor solar não acarretou em ganho de peso dos frutos de laranja, torna-se evidente que o ganho produtivo proporcionado pelo seu uso está relacionado ao maior número de frutos produzidos por planta. Tsai et al. (2013) não registraram ganhos significativos no peso, no volume e no teor de suco de frutos de tangerina “murcott” com pulverizações

foliares de carbonato de cálcio, mas sua aplicação reduziu os danos causados por queimadura solar nos frutos.

Vale ressaltar que ocorre na região de estudo, nos meses de outubro a março, registros de temperaturas mais elevadas com alta incidência de radiação solar (Figura 2), podendo ocasionar uma condição desfavorável à fisiologia da planta, proporcionando perdas produtivas, como por exemplo abortamento de flores e de frutos pequenos, mesmo que o solo se encontre com a umidade adequada ao melhor desenvolvimento da planta.

A maior demanda de água dos citros ocorrem nos períodos de brotação, floração, frutificação e início de desenvolvimento de frutos e passa a ser menor nos períodos de maturação, colheita e período de repouso (PIRES, et al., 2021). Considerando que ocorre na região de estudo dois períodos característicos de floração, sendo que um acontece no mês de setembro, coincidindo com a diminuição das chuvas e início de aumento da temperatura do ar, o que faz com que plantas não irrigadas passem a sofrer uma condição de déficit hídrico.

O maior incremento de produção, 39%, proporcionado pelo uso do protetor solar, foi na colheita realizada no mês de setembro de 2022, período considerado de entressafra, resultado de uma floração ocorrida no mês de dezembro de 2021. Nesse período, foi registrada temperatura média mensal elevada, correspondente a 26,46°C, atingindo a máxima temperatura no mês de fevereiro. Reduções das precipitações ocorreram a partir do mês de janeiro de 2022, que teve o primeiro registro de chuva no dia 15, atingindo em fevereiro de 2022 o mês de menor precipitação. Portanto no período desta floração ocorreram temperaturas elevadas, com elevação maior de temperatura nos períodos de frutificação e desenvolvimento inicial de frutos, somando-se a esta condição a deficiência hídrica, ocasionada pela redução das chuvas.

5. CONCLUSÕES

O uso do protetor solar tornou plantas de citros mais resilientes, implicando em aumento na produção de laranja, independentemente do manejo de água adotado.

O manejo com irrigação total, combinado com o uso do protetor solar, resultou em plantas mais produtivas.

O maior ganho em produção, proporcionado pelo uso do protetor solar, foi no cultivo sem o uso da irrigação.

Plantas não irrigadas reduziram o diâmetro, o comprimento e a massa dos frutos.

O manejo da irrigação com déficit hídrico proporcionou um ganho na eficiência de uso da água (EUA).

Considerando os ganhos na produção de laranja, relacionados ao uso protetor solar, recomenda-se o seu uso independente do manejo de água adotado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; LEDO, C. A. da S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, p. 23-30, 2006.

COELHO, E.F.; COELHO FILHO, M. A.; MAGALHÃES, A.F.J.; OLIVEIRA, A.S. Irrigação e fertirrigação na cultura de citros. In: SOUSA, ET. AL. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, p. 413-439, 2011.

CONDE, A.; NEVES, A.; BREIA, R.; PIMENTEL, D.; DINIS, L.-T.; BERNARDO, S.; CORREIA, C.M.; CUNHA, A.; GERÓS, H.; MOUTINHO-PEREIRA, J. Kaolin particle film application stimulates photoassimilate synthesis and modifies the primary metabolome of grape leaves. *Journal of Plant Physiology*, v. 223, p. 47–56, 2018.

DOORENBOS, J.; PRUIT, W.O. Crop water requirement. Rome: FAO, 1977. Irrigation and drainage paper, 24. 204p.

EL-KHAWAGA. Response of Grand Naine banana plants grown under different soil moisture levels to antitranspirants application. *Asian Journal of Crop Science*, v.5, n.3, p.238-250, 2013.

ESTER, A.F. Panorama da citricultura brasileira. *Informe Agropecuário*, v.35, n.281, p. 7-16, 2014.

FAVER, K.L.; GERIK, T.J.; THAXTON, P.M. et al. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. *Crop Science*, Madison, v.36, p.922-928, 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal. 2017. www.sidra.ibge.gov.br.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>.

MOSSAD, A.; FARINA, V.; LO BIANCO, R. Fruit Yield and Quality of ‘Valencia’ Orange Trees under Long-Term Partial Rootzone Drying. *Agronomy*, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020164>

NEVES, Marcos Fava; TROMBIN, Vinicius Gustavo. Anuário da citricultura, 2017. São Paulo: CitrusBR, v. 28, p. 24, 2017.

PIRES, R.C.M.; CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação de fruteiras subtropicais (citricultura e viticultura). In: PAOLINELI, A.; DOURADO NETO, D.; POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F. C.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A.A. (Ed.). Citricultura Brasileira. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p. 265-280, 1991.

MANTOVANI, E. C. Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil. Piracicaba: ESALQ - USP, 598 p., 2021.

SILVA, P.S.O., OLIVEIRA, L.F.G.; GONZAGA, M.I.S.; SENA, E.O.A.; MACIEL, L.B.S.; FIAES, M.P.; MATTOS, E.C.; CARNELOSSI, M.A.G. Effects of calcium particle films and natural shading on ecophysiological parameters of conilon coffee. *Scientia Horticulturae*, v. 245, p. 171-177, 2019.

SOELA, D.M.; VITÓRIA, E.L.; FALQUETO, A.R.; RIBEIRO, F.O.R.; SIMON, C.A.; SIGISMONDE, L.R.; JEGESKI, R.F.; PEREIRA, L.D.B. Photosystem II performance of *Coffea canephora* seedlings after sunscreen application. *Plants*, 12, 1476, 2023.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MøLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia Vegetal*. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888p., 2017.

TSAI, M.; LEE,T.; CHANG, P. Comparison of paper bags, calcium carbonate and shade nets for suncald protection im ‘Murcott’ tangor fruit. *HortTechnology*, v.23, p.659-667, 2013.
<https://doi.org/10.21273/HORTTECH.23.5.659>

CAPÍTULO II

ESTRATÉGIAS DE MANEJO DE IRRIGAÇÃO COM DÉFICIT CONTROLADO DA LIMEIRA ÁCIDA 'TAHITI' PARA O AUMENTO DA EFICIÊNCIA DE USO DE ÁGUA EM CLIMA SUBÚMIDO.

IRRIGATION MANAGEMENT STRATEGIES WITH CONTROLLED DEFICIT OF THE 'TAHITI' ACID LIME TO INCREASE WATER USE EFFICIENCY IN SUB-HUMID CLIMATE.

RESUMO

A citricultura brasileira se destaca por sua importância social e econômica na geração emprego e renda. No entanto, em função da escassez e de irregularidades das chuvas, a região Nordeste do Brasil ocupa a pior média nacional na produção de limões. Entre estes, apesar de não ser um limão verdadeiro, a lima ácida ‘Tahiti’ é a mais plantada no país. Somado a isso, o cultivo de sequeiro afeta a oferta de produto durante o ano e acarreta redução dos preços do fruto. Nesse contexto, o experimento foi conduzido em pomar de limeira ácida ‘Tahiti’, porta-enxerto limão cravo, em que foram testados diferentes disposições das linhas de gotejadores ao longo da linha de plantio (uma linha lateral, duas linhas laterais e PRD com alternância dos lados a cada 15 dias) e diferentes estratégias de manejo de irrigação (100% e 50% de reposição da ETc e plantas sob regime de sequeiro), totalizando sete tratamentos. Foram realizadas avaliações de crescimento de plantas, distribuição de raízes, indicadores fisiológicos e análises de produtividade. Houve impacto do déficit hídrico nas trocas gasosas e aspectos produtivos da limeira ácida ‘Tahiti’. Ocorreu redução do comprimento, diâmetro e massa dos frutos. Plantas foram mais produtivas ao se irrigar com uso de estratégia PRD e 100% da lâmina recomendada (100% ETc); e para irrigação plena (100% ETc) com arranjo de duas linhas de gotejadores. Entretanto, o tratamento PRD com déficit de irrigação de 50% superou a produção em 10% comparado ao tratamento com irrigação total com uma linha de gotejador (100%1Lin). A irrigação com déficit de 50% da ETc melhorou a eficiência do uso da água em 72% (24,86 Kg m⁻³ de água x 14,45 Kgm⁻³ de água). O ganho produtivo resultante da utilização de duas linhas de gotejadores é otimizado com o uso do PRD que associado a irrigação com déficit, melhora a eficiência de uso da água em 81% (27,08 Kg m⁻³ de água) em relação ao tratamento irrigação 100% com duas linhas de gotejadores (14,95 Kg m⁻³ de água), podendo ser recomendado a partir de uma análise detalhada de custo da água e sistema de irrigação.

Palavras Chave: citros, gotejamento, PRD, indicadores fisiológicos, produção

ABSTRACT

Brazilian citriculture stands out for its social and economic importance in generating employment and income. However, due to the scarcity and irregularity of the rains, the Northeast region of Brazil has the worst national average in the production of lemons. Among these, despite not being a real lemon, the 'Tahiti' acid lime is the most planted in the country. Added to this, rainfed cultivation affects the supply of the product during the year and leads to a reduction in fruit prices. In this context, the experiment was carried out in a 'Tahiti' acid lime orchard, Rangpur lemon rootstock, in which different arrangements of driplines were tested along the planting line (one lateral line, two lateral lines and PRD with alternating sides every 15 days) and different irrigation management strategies (100% and 50% replacement of ETc and plants under rainfed conditions), totaling seven treatments. Evaluations of plant growth, root distribution, physiological indicators and productivity analyzes were carried out. There was an impact of water deficit on gas exchange and productive aspects of the 'Tahiti' acid lime tree. There was a reduction in the length, diameter and weight of the fruits. Plants were more productive when irrigated using the PRD strategy and 100% of the recommended depth (100% ETc); and for full irrigation (100% ETc) with a two-line arrangement of drippers. However, the PRD treatment with irrigation deficit of 50% outperformed by 10% compared to the treatment with full irrigation with a drip line (100% I Lin). Irrigation with a deficit of 50% ETc improved water use efficiency by 72% (24.86 Kg.m⁻³ of water x 14.45 Kg.m⁻³ of water). The productive gain resulting from the use of two lines of drippers is optimized with the use of PRD which, associated with deficit irrigation, improves water use efficiency by 81% (27.08 Kg.m⁻³ of water) in relation to the 100% irrigation treatment with two lines of drippers (14.95 Kg.m⁻³ of water), which can be recommended based on a detailed analysis of the cost of water and the irrigation system.

Keywords: citrus, drip, PRD, physiological indicators, production.

1. INTRODUÇÃO

A citricultura brasileira se destaca por sua importância social e econômica na geração emprego e renda, como produto de exportação e expressivo consumo interno, além do elevado valor nutricional dos seus frutos. No entanto, a citricultura da região Nordeste do Brasil sofre perdas significativas na produção ao longo dos anos em função das irregularidades na distribuição das chuvas e de secas recorrentes. O polo citrícola do Litoral Norte da Bahia, praticamente, sua totalidade é conduzida sem o uso da irrigação, em um regime climático que concentra o período de chuvas entre os meses de abril e setembro, em solos de Tabuleiros Costeiros, com predomínio de Latossolos e Argissolos, e presença de camada coesa, caracterizando que mesmo em ano de chuvas dentro da média as plantas sofrem déficit hídrico.

Apesar da laranja ser a principal fruta cítrica, o Brasil se destaca também na produção de tangerina e limão, incluindo as limas ácidas. A produção nacional de limão é de 1,5 milhões de toneladas (IBGE, 2021) e a lima ácida é a mais plantada, substituindo ao longo dos anos o limão Galego, principalmente por apresentar frutos de maior tamanho, ausência de sementes nos frutos, plantas mais tolerantes à tristeza dos citros, e ausência de espinhos na planta, facilitando o manejo da cultura e a colheita (SIQUEIRA & SALOMÃO, 2016).

Estratégias de manejo da irrigação que visem ao uso eficiente da água, maximizando a eficiência de uso da irrigação é fundamental para a sustentabilidade produtiva e ambiental, principalmente em regiões onde os recursos hídricos são escassos (SANTOS et al., 2014).

Estudos demonstram os ganhos obtidos em plantas cítricas com o uso da técnica do PRD, através da redução do consumo hídrico até certo limite, sem perda de produção e melhoria na eficiência de uso de água (SAMPAIO et al., 2010; SAMPAIO et al., 2014; SANTOS, et al., 2016; AMORIM et al., 2021). No entanto, a adoção dessa técnica ainda é extremamente baixa por parte dos agricultores, sendo necessário novos experimentos, levantando-se mais informações a respeito da redução do consumo hídrico e manutenção de níveis satisfatórios de produção, considerando as especificidades locais de clima, solo, planta e disponibilidade de água para a irrigação, que é cada vez menor, considerando os múltiplos usos, o crescimento populacional, com grandes aglomerados urbanos e as prioridades estabelecidas em lei.

Mossad et al. (2020) evidenciam a vantagem da adoção do PRD em citros, mesmo com os custos mais elevados do sistema de irrigação, atribuída aos benefícios de economia de água e de qualidade de fruto.

Nesse sentido, com o objetivo de mitigar os efeitos abióticos na produção e na qualidade de frutos da lima ácida Tahiti, proporcionando aumentos na eficiência de uso de água (Kg m^{-3}

de água) e na eficiência produtiva de plantas (Kg.m^{-3} de copa), foram testados diferentes disposições das linhas de gotejadores ao longo da linha de plantio (uma linha lateral, duas linhas laterais e PRD com alternância dos lados a cada 15 dias) e diferentes estratégias de manejo de irrigação (100% e 50% de reposição da ETc e plantas sob regime de sequeiro), tendo como parâmetro, avaliações de crescimento de plantas, distribuição de raízes, indicadores fisiológicos e análises de produtividade e qualidade de fruto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Rio Real, sítio São João, coordenadas geográficas: - 11.46554 e -37.96599, altitude de 176 metros. Localizado na região do Litoral Norte do estado da Bahia, fazendo fronteira com área produtora de citros do estado de Sergipe, que juntas formam o pólo citrícola dos Tabuleiros Costeiros de Sergipe e Bahia.



Figura 12. Imagem da área na propriedade Sitio São João, onde foi conduzido o estudo com a cultura da lima ácida Tahiti, município de Rio Real-BA.

O clima é do tipo As quente e úmido, segundo classificação de Koeppen, com temperatura média anual de $24\text{ }^{\circ}\text{C}$, atingindo temperatura de $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ no mês mais frio. A pluviosidade média anual é de 1000 mm, com período chuvoso entre os meses de abril a setembro e chuvas mais concentradas entre os meses de maio a julho.

Os dados climáticos referentes a temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar foram obtidos da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada no município de Itabaianinha-SE, distante quarenta e dois quilômetros do local do experimento. A partir destes dados, estimou-se a evapotranspiração de referência (ET_0), com o uso da equação de Penman-Monteith (Allen et al., 1998).

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_{med} + 273,16} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (1)$$

Sendo Δ a declinação da curva de saturação do vapor de água ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G a densidade do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ o fator psicrométrico (MJ kg^{-1}); T_{med} a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); U_2 a velocidade do vento há 2 metros do solo (m s^{-1}); e_s a pressão de saturação do vapor (kPa); e_a a pressão atual do vapor (kPa).

Obtido os valores diários da evapotranspiração de referência (ET_o), estes foram multiplicados pelo coeficiente de cultivo (kc) da lima ácida ‘Tahiti’, que conforme Doorenbos e Pruitt (1977), apresentam valores que variam de acordo com cobertura vegetal, em função do porte da planta e da presença ou não de ervas daninhas; e multiplicados também pelo percentual de cobertura copa (Kr), obtendo-se assim o valor da evapotranspiração da cultura (ET_c).

$$ET_c = ET_o \times Kc \times Kr \quad (2)$$

Os dados de precipitação foram obtidos por pluviômetro instalado no local do experimento. Dessa forma, o manejo da irrigação foi definido com base na evapotranspiração da cultura, através dos percentuais de reposição, sendo estes adotados via irrigação por gotejamento para os diferentes tratamentos estudados, com turno de rega de dois dias.

O solo foi classificado como um Argissolo Acinzentado Coeso, textura franco arenoso, com topografia plana. Foram realizadas coletadas de solo de amostras indeformadas e deformadas para caracterização do solo na área experimental. Para análises químicas, as amostras foram coletadas em duas profundidades 0,0-0,20m e 0,20-0,40m e para as análises físicas as amostras foram coletadas em três profundidades 0,0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,40-0,60m, obtendo-se as análises de granulometria, densidade do solo e retenção de água no solo (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 7. Resultado da análise química do solo, em duas profundidades 0,0-0,20 e 0,20-0,40m, Sítio São João, Rio Real-BA.

Z	pH	MO	P	K	Ca	Mg	Na	H+Al	SB	CTC	V
m		g kg ⁻¹	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%
0,0-0,2	6,04	11,5	28,9	0,08	1,02	0,41	0,035	0,309	2,62	2,93	89,4
0,2-0,4	4,48	9,04	28,9	0,06	1,02	0,27	0,033	0,672	1,38	2,05	67,3

Tabela 8. Análise granulométrica do solo e classificação textural, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.

Profundidade	Areia Total	Silte	Argila	Classe Textural
(m)	g kg ⁻¹			
0,0 – 0,20	822,9	31,7	145,4	Franco arenoso
0,20 – 0,40	724,5	50,9	224,6	Franco argilo-arenoso
0,40 – 0,60	703,7	31,7	264,6	Franco argilo-arenoso

Tabela 9. Densidade do solo (Ds), retenção de água e água disponível do solo, em três profundidades 0,0-0,20, 0,20-0,40 e 0,40-0,60m, Sítio São João, Rio Real-BA.

Profundidade	Ds	Potencial matricial (kPa)		Água
(m)	Kg dm ⁻³	-33	-1500	Disponível
		Umidade do solo (%)		
0,0 – 0,20	1,17	8,05	5,16	2,89
0,20 – 0,40	1,40	10,77	6,96	3,81
0,40 – 0,60	1,42	12,23	7,99	4,24

O experimento foi conduzido em pomar de limeira ácida ‘Tahiti’, porta-enxerto limão cravo, implantado em junho de 2017, no espaçamento 7 x 5 metros. A cultura foi irrigada por gotejamento, com gotejadores de vazão de 2,4 L/H, espaçados a 50cm, distribuídos ao longo da linha de plantio, distantes 60cm do tronco da planta.

Com início da aplicação dos tratamentos em outubro de 2020, período caracterizado pela estação seca, quando as plantas se encontravam com três anos de idade. Antes, as plantas tinham sido conduzidas sob regime de sequeiro (Figura 13).



Figura 13. Plantas com 2 anos, antes do início do estudo, conduzidas em regime de sequeiro, Sítio São João, Rio Real-BA.

As plantas se encontravam com bom aspecto vegetativo e com estande bem regular, isto é, com desenvolvimento padronizado e já tinham iniciado a produção. No entanto, foi realizada uma avaliação prévia do volume de copa para garantir que só seriam selecionadas para o estudo, plantas que apresentassem características vegetativas semelhantes, Figura 14.



Figura 14. Plantas de lima ácida ‘Tahiti’ com 3 anos de plantadas, início do experimento.

O controle das ervas daninhas foi realizado com roçagens, utilizando-se herbicida apenas em situação de extrema necessidade e somente na linha de plantio, passando a não utilizar mais a gradagem. O monitoramento de pragas foi feito através de inspeção semanal, principalmente pela alta incidência da mosca negra que ocorreu na região citrícola da Bahia e

de Sergipe, no período do início do estudo, sendo realizado o controle quando necessário. A recomendação de adubação foi baseada na análise de solo, considerando a idade do pomar e o espaçamento do plantio. A aplicação dos fertilizantes foi parcelada em duas ocasiões, início e final do período chuvoso.

O início da irrigação foi planejado para o período correspondente ao fim do período chuvoso, e após o período no ano que ocorre a maior concentração do florescimento natural das plantas, conduzidas sob regime de sequeiro, evento que ocorre normalmente no mês de setembro. Nessa condição ocorre um grande risco de abortamento de flores e queda de frutos pequenos, em função do início da escassez das chuvas, podendo ocasionar grandes perdas, com redução na produtividade da cultura que passa a enfrentar condição de baixa disponibilidade de água no solo, pela redução na precipitação.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada parcela constituída por seis plantas. Foram testados diferentes disposições de linhas de gotejadores ao longo da linha de plantio e diferentes estratégias de manejo de irrigação. Adotou-se três formas diferentes de disposição dos gotejadores: (i) gotejadores dispostos ao longo da fileira de plantas, uma linha lateral; (ii) duas linhas laterais de gotejadores separadas por 1,20 metros e dispostos longitudinalmente na fileira distante 0,60 metros do tronco da planta; (iii) mesma disposição anterior e com alternância dos lados irrigados, a cada 15 dias, consistindo na técnica do secamento parcial do sistema radicular (PRD). Com relação ao manejo da irrigação, foram avaliados os percentuais de reposição de 100% e de 50% da evapotranspiração, durante todo o período de irrigação, além do uso destes dois percentuais de reposição 100% e 50%, associados a técnica do PRD. Também foi conduzido um tratamento com plantas cultivadas em regime de sequeiro. No total foram estudados sete tratamentos, resultado da combinação entre a disposição dos gotejadores e o manejo de água, incluindo o regime de sequeiro, com quatro repetições, totalizando 28 parcelas experimentais, conforme descrito na Tabela 10.

Tabela 10. Tratamentos em função da disposição dos gotejadores e do manejo da irrigação, Sítio São João, Rio Real-BA.

Tratamento	Disposição dos gotejadores	Manejo da irrigação
1	Fileira simples	100 %
2	Fileira simples	50%
3	Fileira dupla	100%
4	Fileira dupla	50%
5	PRD	100%
6	PRD	50%
7	Sequeiro	0%

Ao longo do experimento a umidade do solo em cada tratamento foi monitorada a partir de valores de constante dielétrica do solo obtidas com uso de sondas de TDR (Reflectometry Domain Time), construídas conforme Coelho et al. (2006). As sondas foram instaladas em duas profundidades, nos diferentes tratamentos, em local padronizado: afastadas 1,25 metros do caule das plantas e na mesma direção das linhas de gotejadores que se encontravam a 0,60 m distante do caule das plantas, longitudinalmente à linha de plantio. Considerou-se para definição do local o sistema radicular da cultura estudada e a reduzida área molhada que é função do sistema de irrigação localizado adotado. Portanto, o local monitorado foi no meio do bulbo e ao longo da faixa molhada. Duas sondas para cada linha de irrigação, a primeira sonda instalada a 0,20 m de profundidade e a outra a 0,60 m de profundidade, representando bem a profundidade do sistema radicular de plantas cítricas em solos coesos (Meneses et al., 2020).

CRESCIMENTO VEGETATIVO

As seguintes avaliações de crescimento de plantas foram realizadas ao longo do experimento: altura de planta, diâmetro da copa e diâmetro do tronco da copa. Os dois primeiros, obtidos com o auxílio de uma régua graduada, a partir de um tubo de PVC devidamente graduado em metros. Para a altura de plantas, mediu-se a distância do colo da planta, rente ao solo, até o topo da planta. O diâmetro do tronco da copa foi medido 5 cm acima do ponto de enxertia. Também, avaliou-se o volume (V) da copa (m³), determinado com base nas medições da altura da planta (H) e do diâmetro médio da copa (Dm), sendo este último

calculado através dos valores obtidos do diâmetro da copa no sentido da linha de plantio (DI) e do diâmetro da copa no sentido perpendicular à rua (Dr), através da equação:

$$V = \frac{2}{3} [(\pi \times D^2 \times H)] \text{ (POMPEU JUNIOR, 1991).}$$

Em que:

V - Volume de copa (m³)

D – Diâmetro médio da copa (m)

H - Altura da planta (m)

INDICADORES FISIOLÓGICOS

Potencial hídrico da folha foi medido em campo com o uso da câmara de pressão tipo ‘Scholander’. Nas primeiras horas da manhã, foram selecionados ramos na parte externa e no mesmo lado da copa das plantas, a uma altura de 1,5 metros do solo. Sendo estes cobertos com papel alumínio até a ocasião da leitura. Às 8 horas da manhã se iniciaram as leituras, com a retirada do papel alumínio e seleção de folhas saudáveis, totalmente expandidas e fisiologicamente maduras. As folhas foram seccionadas do pecíolo e imediatamente introduzidas na câmara de pressão para leitura, evitando a perda de água por transpiração. A pressão que promoveu a saída da seiva na base do pecíolo foliar foi registrada, a partir do manômetro do equipamento, momento em que ocorre um espelhamento na base do corte, característico da saída da seiva.

Com o uso de um analisador de gases por infravermelho IRGA modelo LCpro-SD da ADC Bioscientific (Hoddesdon, Inglaterra), realizaram-se as seguintes avaliações fisiológicas no pomar: condutância estomática ao vapor de água (gs), transpiração (E), assimilação de CO₂ (A) e concentração intercelular de CO₂ (Ci). Todas essas medições foram realizadas a partir de 1,5 m de altura do solo e na segunda ou terceira folha totalmente expandida em dois ramos por planta, localizados na parte externa da copa. A eficiência de uso da água (μmol.mol⁻¹) foi estimada pela razão entre a assimilação de CO₂ (μmol.mol⁻² s⁻¹) e a transpiração (mmol.m⁻² s⁻¹).

$$\text{Eficiência de uso da água} = \frac{A}{E}$$

A eficiência intrínseca de uso da água (μmol.mol⁻¹) foi estimada pela razão entre a assimilação de CO₂ (μmol.mo⁻².s⁻¹) e a condutância estomática (mol.m⁻².s⁻¹).

$$\text{Eficiência intrínseca de uso da água} = \frac{A}{gs}$$

. A eficiência instantânea de carboxilação foi determinada a partir da relação entre a assimilação de CO₂ (A) e concentração intercelular de CO₂ (Ci).

$$\text{Eficiência instantânea de carboxilação} = \frac{A}{Ci}$$

A eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m) foi obtida pela relação entre a fluorescência variável (F_v) e a fluorescência máxima (F_m), em tecidos foliares adaptados ao escuro, com o uso do porômetro, inserindo-se dois cliques por planta em folhas saudáveis e fisiologicamente maduras. Os sinais avaliados são a fluorescência mínima (F_o) e a fluorescência máxima (F_m) e a partir destes sinais, tem-se as fluorescências variáveis (F_v) em tecidos no escuro.

$$F_v = F_m - F_o$$

Obtendo-se a eficiência quântica potencial do fotossistema II:

$$\text{Eficiência quântica potencial do fotossistema II} = \frac{F_v}{F_m}$$

VARIÁVEIS DE PRODUÇÃO

As análises de produtividade e peso de frutos foram realizadas ao longo do ciclo da cultura, por meio da pesagem dos frutos de cada árvore, com o uso de uma balança comercial. Os frutos foram colhidos sempre que estavam em ponto de colheita, pois ocorreu produção ao longo do ano.

Para o crescimento do fruto, considerou-se o principal período de floração e época seca do ano, sendo mensurado quinzenalmente através da medição do diâmetro do fruto de uma amostra, calculando-se com este dado, o volume do fruto. Dessa maneira, a taxa de crescimento do fruto foi determinada através da fórmula:

$$TCF = \frac{V_{i+1} - V_i}{(V_i \cdot n)}$$

Sendo TCF a taxa de crescimento do fruto; V_i e V_{i+1} o volume do fruto de duas medições consecutivas (cm^3); e n o número de dias decorridos entre as duas medições.

A eficiência produtiva de cada árvore será calculada pela razão média entre as produções anuais e os volumes de copa nos respectivos anos, conforme equação:

$$EP = \frac{P}{V}$$

Sendo EP a eficiência produtiva (kg m^{-3}), P a produção por planta (Kg) e V o volume de copa (m^3).

Com base nos resultados de produção e lâmina de irrigação aplicada em cada ciclo produtivo, determinou-se a eficiência do uso da água de irrigação, conforme equação abaixo:

$$EUA = P / I$$

Sendo EUA a eficiência do uso da água ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$); P a produção total por planta (kg); e I a lâmina de irrigação aplicada por planta (m^3)

AVALIAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR

A distribuição das raízes foi avaliada para os diferentes tratamentos estudados, ao final do período seco no segundo ano de avaliações. A amostragem ocorreu nas profundidades: 0,0-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60, 0,60 – 0,80 e 0,80-1,00 metros, representando a distribuição vertical e horizontal de raízes; ou até a profundidade sem detecção da presença de raízes ao se coletar com o cilindro. As amostras foram coletadas nos pontos em que foram monitoradas as umidades de solo. A coleta das amostras foi realizada com o uso de um cilindro metálico de volume conhecido. Após a coleta, as raízes presentes foram separadas, utilizando-se uma peneira de 2 mm, através do processo de lavagem do solo, retendo-se as raízes. As raízes correspondentes de cada amostra foram armazenadas em solução Álcool a 30% e mantidas em geladeira. A análise de cada amostra foi realizada no laboratório de Ecofisiologia Vegetal da Embrapa por meio do software WinRhizo (WR, versão 2013d, Regent Instrument, Quebec, Canada). Depois da quantificação dos parâmetros radiculares: comprimento total (m), comprimento de raízes para cada classe de diâmetro (m), o diâmetro médio do sistema radicular (m) e densidade do sistema radicular (m/m^3). Estas foram colocadas para secar em estufa, à temperatura de 65°C , durante 24 horas, determinando-se a massa seca das raízes e por fim o comprimento específico do sistema radicular (m/g).

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), comparações de médias dos tratamentos por meio do teste Tukey ($p \leq 0,05$).

3. RESULTADOS

Dados climáticos

Pode-se observar uma variação na distribuição das chuvas durante os dois anos de estudo. Considerando que o período seco característico do local do estudo se inicia normalmente a partir de setembro, permanecendo até março, perfazendo o período de aproximadamente, seis meses. Verificou-se que, no primeiro período seco, início do estudo, compreendendo os meses finais de 2020 e início de 2021, houve uma menor ocorrência de

chuvas e uma pior distribuição em relação aos outros anos do estudo, sendo que no mês de dezembro de 2020, não choveu. Enquanto que, no período seco dos outros anos, ocorreu precipitação em todos os meses, inclusive com registro de 234,1 mm, no mês de novembro de 2022, maior média mensal de precipitação pluviométrica, durante o experimento (Figura 15). Portanto, os efeitos ocasionados pelo déficit hídrico no período seco do segundo ano do experimento, foram minimizados pela distribuição anual das chuvas.

As maiores médias mensais de temperatura do ar foram registradas entre os meses de novembro e março, atingindo as máximas no mês de fevereiro, com maior registro de 27,69 °C, em fevereiro de 2022. A partir do mês de maio as temperaturas passaram a decair, atingindo os menores valores médios entre os meses de junho a agosto, com menor registro médio mensal de 22,71, no mês de agosto de 2021 (Figura 15). No mês de setembro as temperaturas começaram a se elevar, coincidindo com o período de ocorrência natural de floração mais acentuada, principalmente para o cultivo de sequeiro.

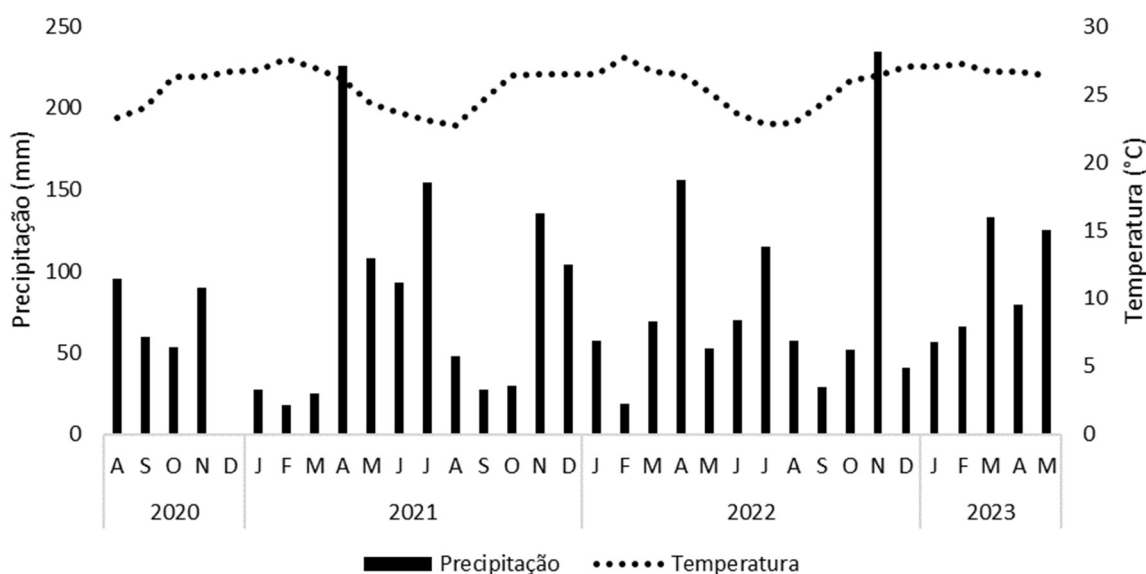


Figura 15. Precipitação e temperatura média mensal, durante o período de estudo, agosto de 2020 a maio de 2023, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Umidade do solo

O comportamento da umidade do solo variou de acordo com o manejo de água e a disposição das linhas de gotejadores, (Figura 16). Os tratamentos irrigados com apenas uma linha de gotejadores ao longo da linha de plantio, 50%1L (T1) e 100%1L (T2), registram os

maiores valores de umidade do solo nas duas profundidades analisadas, sendo que o tratamento 100%1L (T2) foi o que a umidade teve a média mais elevada (Figura 25A). Também, observou-se que a umidade do solo na profundidade de 0,60m foi superior em todos os tratamentos, mas essa variação é evidente somente nos tratamentos que a irrigação é realizada por apenas uma linha de gotejadores os tratamentos 50%1L (T1) e 100%1L (T2); e no tratamento PRD100% (T6), que a irrigação é total com alternância dos lados irrigados, conforme Figura (A).

Na figura 25B estão representados os valores de umidade do solo dos tratamentos irrigados com a técnica do PRD, onde foi monitorado a umidade nos dois lados da linha de plantio, considerando que nesses tratamentos ocorre a alternância do lado irrigado. No lado direito (LD) a umidade do solo foi menor do que a umidade monitorada no lado esquerdo (LE), indicando que essas leituras foram realizadas em período em que a irrigação estava sendo realizada no lado esquerdo do plantio.

Nos tratamentos com PRD a maior umidade do solo também se concentrou na profundidade 0,60m, com exceção do tratamento PRD50% (T5) no lado direito que os valores médios de umidade do solo ficaram muito próximos. Essa condição está atrelada ao menor volume de água aplicado, por se tratar de irrigação deficitária e pelo fato de na ocasião das leituras, o lado esquerdo é que estava sendo irrigado. Para a profundidade de 0,20 m, a umidade do solo se comporta mais estabilizada, independente do lado irrigado, em valores menores, tal situação se relaciona a maior concentração de raízes ativas nessa profundidade, ocorrendo uma maior extração de água pela planta.

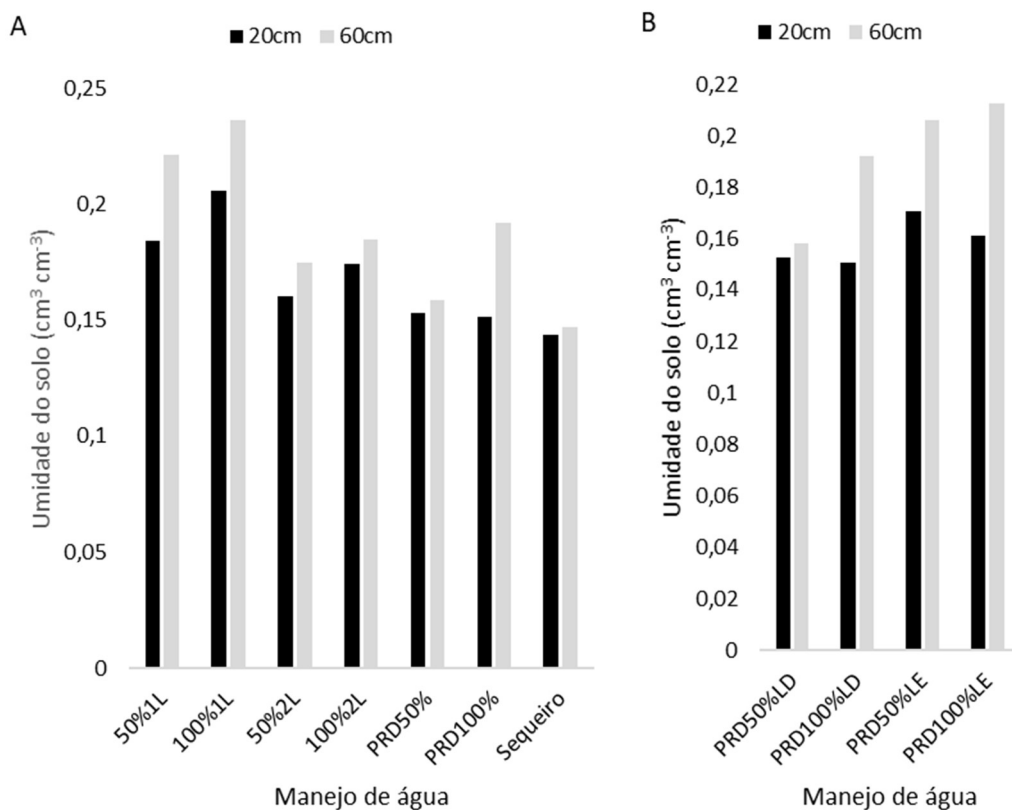


Figura 16. Umidade do solo em função do manejo de água e da disposição de gotejadores, obtidas por TDR, nas profundidades 0,20m e 0,60m (A) e umidade do solo nos dois lados da planta (B), lado direito (LD) e lado esquerdo (LE), para os tratamentos irrigados com PRD, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Avaliações Fisiológicas

Diferenças estatísticas no potencial hídrico foliar foram observadas entre tratamentos, sendo estatisticamente menor no regime de sequeiro e superior nos regimes de irrigação total com duas linhas de gotejadores e irrigação total com PRD, em todos os períodos analisados (Tabela 11). O menor valor médio atingido nas plantas cultivadas sem irrigação foi de -1,75 MPa, indicando que as plantas estavam em uma condição de menor disponibilidade de água no solo, mas que não estavam em uma condição elevada de déficit hídrico.

Tabela 11. Potencial hídrico foliar médio, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	Potencial hídrico foliar (MPa)		
	Mar/2021	Fev/2022	Fev/2023
T1 – 50% 1Lin	-1,06 ab	-1,07 ab	-0,77 a
T2 – 100% 1Lin	-0,55 a	-0,98 ab	-0,92 a
T3 - 50% 2Lin	-0,84 a	-1,19 ab	-1,01 a
T4 - 100% 2Lin	-0,64 a	-0,77 a	-0,63 a
T5 – 50% PRD	-0,91 a	-1,13 ab	-1,17 ab
T6 – 100% PRD	-0,67 a	-0,84 a	-0,73 a
T7 - Sequeiro	-1,46 b	-1,32 b	-1,75 b
CV (%)	25,11	18,3	27,74

Não houve diferença estatística entre os tratamentos irrigados, mas os tratamentos com déficit de irrigação apresentaram valores menores em relação aos tratamentos com irrigação plena (Figura 16). Não ocorreu influência do PRD, com alternância de 15 dias dos lados irrigados, em relação aos tratamentos com irrigação convencional.

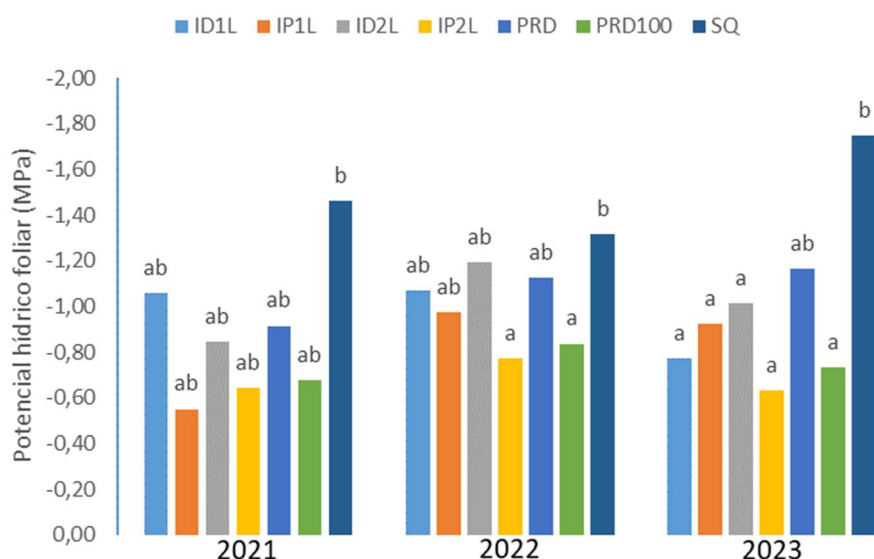


Figura 17. Potencial hídrico foliar médio da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-Ba. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A condutância estomática diferiu estatisticamente no período seco de dois anos em que foi avaliada (Figura 17A). Os maiores valores foram computados nos tratamentos com irrigação

total PRD (T6 – PRD 100% ETc) e os menores nas plantas cultivadas em sequeiro. Não houve diferença estatística no ano de 2022, ano que ocorreu uma maior distribuição das chuvas, condição atípica da região de estudo que tem o período de chuva concentrado.

Diferenças estatísticas na transpiração foliar foram observadas no período seco dos anos de 2021 e 2023. Observou-se redução na transpiração foliar no cultivo da lima ácida ‘Tahiti’ sem o uso da irrigação, com os menores valores registrados para esse tratamento (T7). No entanto, plantas que receberam um maior volume de água, através da irrigação total (reposição de 100% ETc) tiveram uma maior transpiração foliar, independente da disposição do gotejadores (Figura 17B).

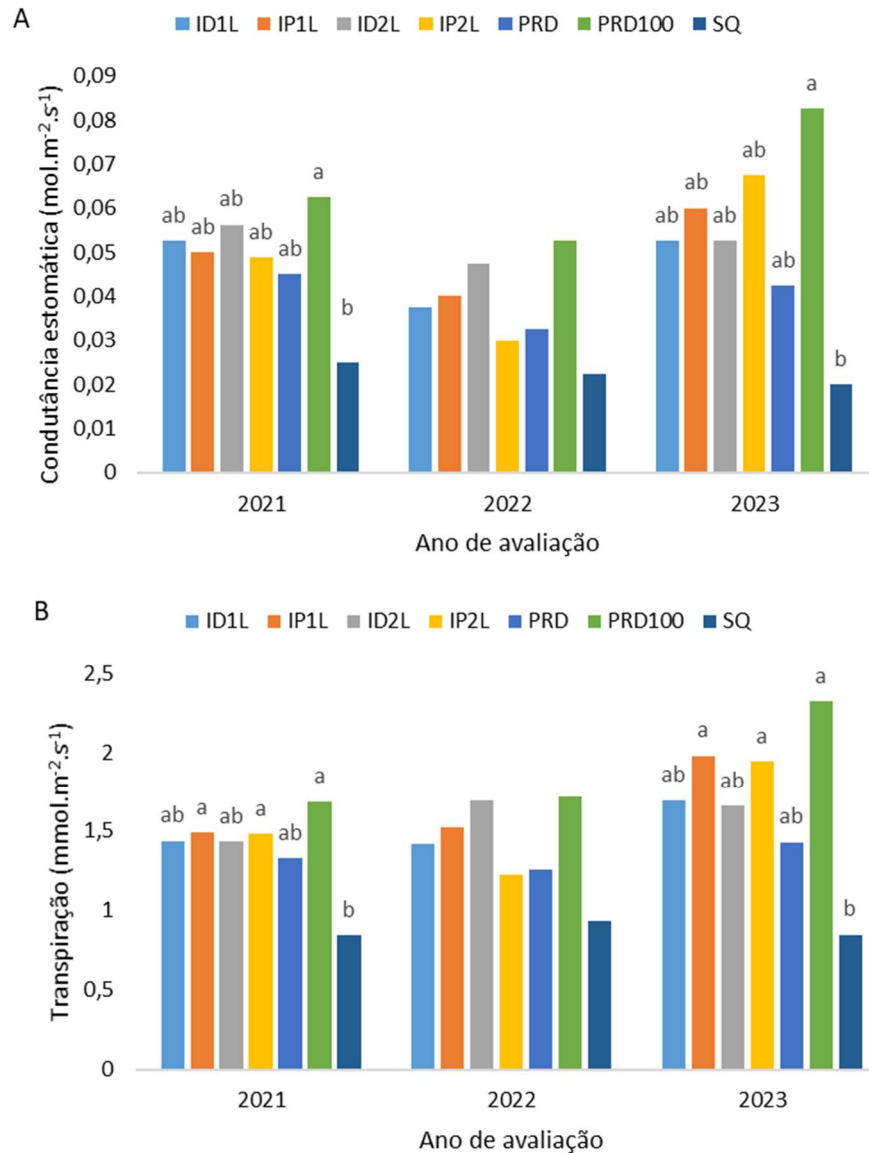


Figura 18. Condutância estomática (A) e transpiração foliar (B) da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-Ba. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve efeito estatístico do manejo de água e da disposição dos gotejadores na fotossíntese para os anos de 2021 e 2023. Na ocasião da primeira leitura, os tratamentos irrigação 100% ETC com duas linhas de gotejadores (T4) e irrigação total PRD (T6) tiveram uma maior assimilação de CO₂, enquanto que os menores valores foram registrados no regime de sequeiro (T7). A fotossíntese se manteve superior no tratamento PRD 100% ETC com alternância de 15 dias (T6), em todos os períodos analisados (Figura 18A).

Não houve influência do manejo de água e da disposição de gotejadores na concentração foliar de carbono da lima ácida ‘Tahiti’ no período seco dos três anos em que foram mensurados, conforme Figura 18B.

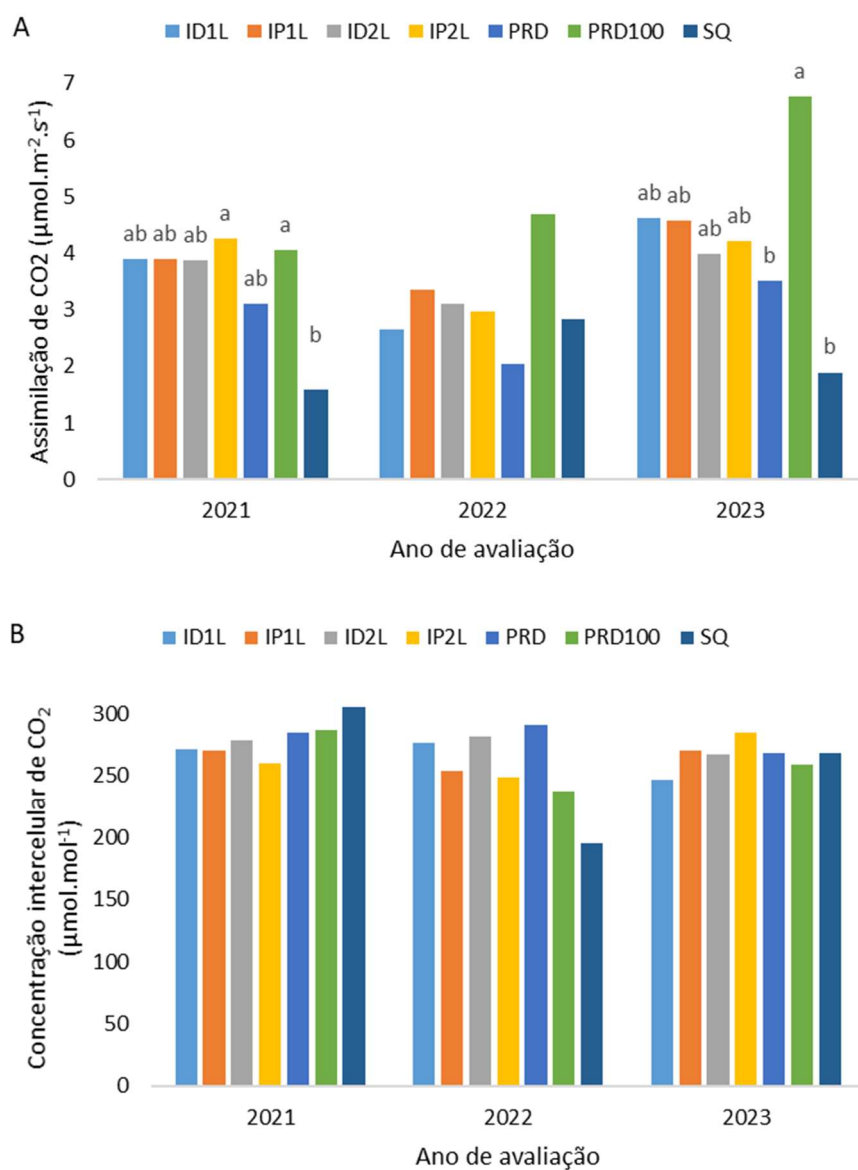


Figura 19. Assimilação de CO₂ (A) e concentração intercelular de CO₂ (B) da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-Ba. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 19A e 19B é possível verificar uma elevada correlação entre a transpiração foliar e a assimilação do CO₂, no período de avaliação dos anos de 2021 e 2023, respectivamente, havendo uma tendência de aumento da fotossíntese à medida que também se eleva a transpiração.

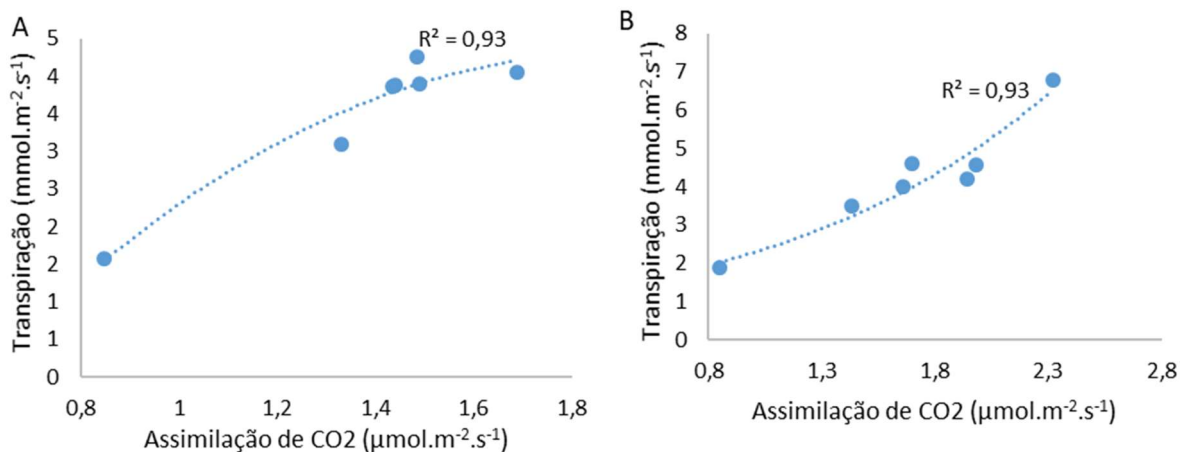


Figura 20. Correlação entre a transpiração foliar e a assimilação de CO₂ da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, do ano de 2021 (A) e do ano 2023 (B), Sítio São João, Rio Real-Ba.

A eficiência de uso da água (relação entre a fotossíntese e a transpiração foliar) e a eficiência intrínseca de uso da água (relação entre a fotossíntese e a condutância estomática) apresentaram resultados semelhantes para os respectivos períodos de avaliação. Pode-se verificar uma inversão nos valores de EUA e EIUA para o tratamento não irrigado (T7) que passa de pior valor no ano de 2021 para o tratamento mais eficiente na avaliação realizada no ano de 2022 (Figura 20A e 20B).

Entre os dados de eficiência ligados aos indicadores fisiológicos, observou-se que ocorreram diferenças estatísticas para a eficiência de carboxilação (relação entre a fotossíntese e a assimilação de CO₂), no período seco do ano de 2023. Sendo que o PRD 100% (T6) foi o tratamento mais eficiente e o tratamento de sequeiro (T7) foi o de menor valor de eficiência de carboxilação (Figura 20C).

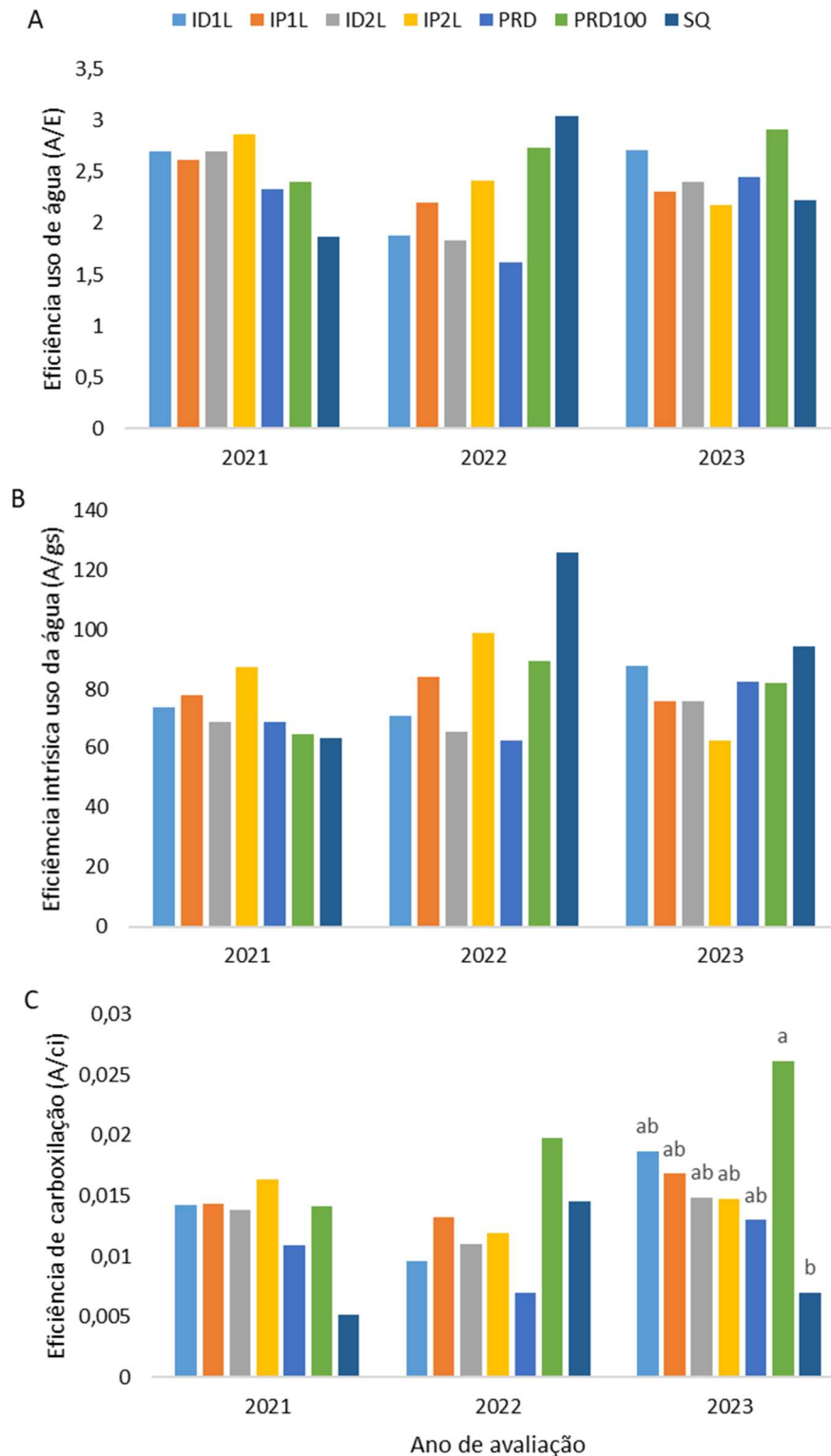


Figura 21. Eficiência de uso da água (A), eficiência intrínseca de uso da água (B) e eficiência de carboxilação (C) da lima ácida ‘Tahiti’, sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizado no período seco dos anos de 2021, 2022 e 2023, Sítio São João, Rio Real-Ba. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para a eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), conforme Tabela 12. Apesar do tratamento PRD 100% (T6) apresentar valor mais elevado e mais próximo do valor que representa uma eficiência adequada, os valores médios encontrados ficaram muito próximos, independente do manejo de água e da disposição dos gotejadores adotados.

Tabela 12. Média da eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), leitura realizada no período seco de 2021, para os diferentes tratamentos, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	Fv/Fm
T1 – 50% 1Lin	0,762
T2 – 100% 1Lin	0,769
T3 - 50% 2Lin	0,772
T4 - 100% 2Lin	0,770
T5 – 50% PRD	0,748
T6 – 100% PRD	0,780
T7 - Sequeiro	0,770
CV (%)	3.49

Crescimento vegetativo

Não ocorreu diferença estatística no volume de copa entre os tratamentos estudados. Mas foi possível observar que os maiores valores de volume de copa foram nos tratamentos com irrigação total, enquanto que as plantas cultivadas sem irrigação ficaram com volume de copa menor (Tabela13).

Tabela 13. Valores médios volume de copa da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	Volume de copa (m ³)				
	Nov/2020	Abr/2021	Set/2021	Fev/2022	Set/2022
T1 – 50% 1Lin	14,8	16,2	19,2	26,4	30,9
T2 – 100% 1Lin	15,2	18,0	22,0	30,4	35,8
T3 - 50% 2Lin	14,3	15,3	18,0	28,3	32,3
T4 - 100% 2Lin	14,2	16,0	20,5	31,2	36,5
T5 – 50% PRD	14,7	16,3	18,9	28,2	33,8
T6 – 100% PRD	15,4	18,3	21,7	32,6	36,0
T7 - Sequeiro	12,9	13,3	16,1	23,4	28,0
CV (%)	17,65	18,35	16,54	14,23	15,54

Analisando a taxa de crescimento do volume de copa para o primeiro período do estudo, verificaram-se diferenças estatísticas, em que as maiores taxas de crescimento ocorreram nos tratamentos com irrigação plena, enquanto que o tratamento de sequeiro (T7), teve a menor taxa (Figura 21). Vale ressaltar que essa primeira avaliação coincidiu com o período seco, demonstrando o efeito da irrigação e do manejo de água no crescimento das plantas.

Para a próxima avaliação, pode-se verificar que o tratamento de sequeiro (T7) passou a superar os demais tratamentos, fazendo uma compensação à medida em que teve uma melhor disponibilidade de água no solo em função das chuvas que ocorrem na região do experimento.

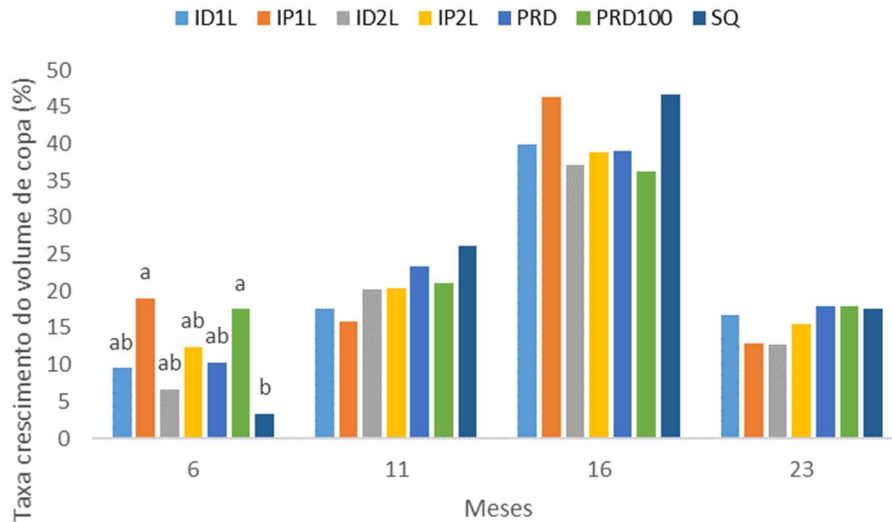


Figura 22. Taxa de crescimento do volume de copa da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-Ba. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Diferenças estatísticas na altura de plantas foram observadas somente nas medições realizadas no período de fevereiro de 2022, em que os maiores valores foram obtidos no tratamento 100% PRD (T6) e os menores no tratamento de sequeiro (T7). Na avaliação seguinte que foi realizada em setembro 2022, período que coincidiu com o período chuvoso característico da área do estudo, já não mais ocorreram diferenças estatísticas entre os tratamentos (Tabela 14). O que pode caracterizar que o período chuvoso e as chuvas ocorridas de forma mais distribuídas, minimizaram o efeito dos tratamentos e do déficit hídrico, e de promover uma compensação no crescimento para as plantas que foram submetidas a uma situação de estresse e que mantiveram suas reservas para um momento de condições favoráveis.

Tabela 14. Valores médios de altura da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	Altura de planta (m)				
	Nov/2020	Abr/2021	Set/2021	Fev/2022	Set/2022
T1 – 50% 1Lin	2,2	2,3	2,4	2,6 ab	2,9
T2 – 100% 1Lin	2,2	2,3	2,5	2,7 ab	3,0
T3 - 50% 2Lin	2,1	2,2	2,3	2,5 ab	2,8
T4 - 100% 2Lin	2,2	2,3	2,5	2,8 ab	3,0
T5 – 50% PRD	2,1	2,3	2,4	2,7 ab	3,0
T6 – 100% PRD	2,3	2,4	2,6	2,8 a	3,0
T7 - Sequeiro	2,1	2,1	2,2	2,4 b	2,7
CV (%)	7,08	6,94	7,22	6,44	8,1

Na Figura 22 estão representados os valores da taxa de crescimento referentes a altura de plantas, onde se verificou que não ocorreram diferenças significativas em relação ao manejo de água e a disposição de gotejadores. Mas, observou-se que as plantas que não receberam irrigação, inicialmente, foram as que apresentaram uma menor taxa de crescimento, e ao final, tiveram a taxa de crescimento superior aos demais tratamentos.

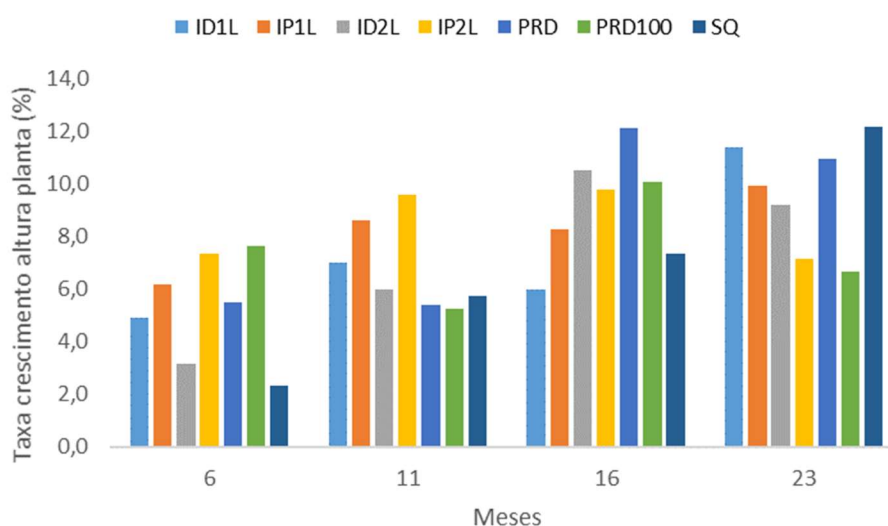


Figura 23. Taxa de crescimento da altura da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-Ba. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O diâmetro do caule também foi medido para representar o vigor vegetativo das plantas. Não foram observadas diferenças estatísticas, conforme consta na Tabela 15. Mas as plantas que receberam um maior volume de água ficaram com diâmetro de tronco superior. O maior valor médio ocorreu no tratamento com irrigação total com duas linhas de gotejamento (T4), enquanto que as plantas que não foram irrigadas (T7) ficaram com um tronco de menor diâmetro.

Tabela 15. Valores médios do diâmetro do caule da copa de plantas de lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	Diâmetro do caule (cm)				
	Nov/2020	Abr/2021	Set/2021	Fev/2022	Set/2022
T1 – 50% 1Lin	25,78	27,51	32,76	35,16	38,73
T2 – 100% 1Lin	26,26	28,69	34,55	37,23	40,78
T3 - 50% 2Lin	25,42	27,64	32,76	35,55	39,57
T4 - 100% 2Lin	27,31	29,56	34,89	38,06	41,77
T5 – 50% PRD	25,99	27,89	33,02	35,59	39,35
T6 – 100% PRD	26,54	29,40	34,60	37,33	41,39
T7 - Sequeiro	25,62	26,22	31,64	34,35	37,71
CV (%)	5,67	5,63	6,01	6,01	5,96

Não foram observadas diferenças estatísticas na taxa de crescimento referente ao diâmetro do caule da copa da limeira ácida ‘Tahiti’, para os diferentes tratamentos estudados (Figura 23).

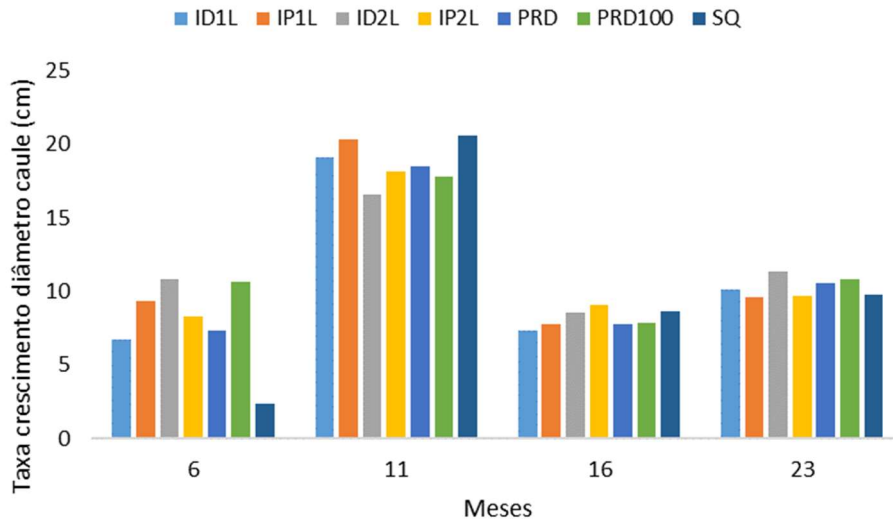


Figura 24. Taxa de crescimento do diâmetro do caule da copa da limeira ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, realizadas ao longo do experimento, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Produção

Diferenças significativas na produção de frutos foram observadas no primeiro ano de avaliação (Tabela 16), sendo que os tratamentos com irrigação plena (100% ETC) foram os que apresentaram maior produção. O tratamento PRD 100% (T6) foi o mais produtivo, seguido do tratamento irrigação plena duas linhas de gotejamento (T4 - 100%2Lin). Enquanto que o tratamento de sequeiro foi o de menor produção. Entre os tratamentos irrigados com déficit, o tratamento PRD50% foi o que obteve melhor produção, chegando a superar o tratamento irrigação plena com uma linha de gotejamento (T1 - 100%1Lin).

Para o segundo ano de avaliação da produção os resultados tiveram um comportamento diferente, não havendo efeito estatístico do manejo de irrigação e da disposição de gotejadores (Tabela 16). O tratamento de sequeiro (T7) supera a produção dos tratamentos irrigados com uma linha de gotejadores o 50%1Lin (T1) e o 100%1Lin (T2), mas se mantém menos produtivo que os tratamentos com PRD e com duas linhas de gotejadores, independente do manejo de irrigação, tanto na total ou com déficit. Fato que pode ser explicado pela característica de recuperação da planta e compensação da produção a partir do momento em que se tem uma condição favorável.

Considerando a produção acumulada de frutos para os dois anos de avaliação, pode-se observar que a lima ácida ‘Tahiti’ foi mais produtiva nos tratamentos de irrigação total PRD 100% (T6) e 100%2Lin (T4), conforme Tabela 16. Entretanto, o tratamento PRD com déficit

de irrigação de 50% (T5) supera a produção do tratamento com irrigação total com uma linha de gotejador 100%1Lin (T1) e os demais tratamentos com déficit de irrigação tiveram valores de produção bem próximos do tratamento 100%1Lin (T1).

Tabela 16. Produção anual, acumulada (PA) e média de dois anos (PM) da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, de 2021 e 2022, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	Ano 2021	Ano 2022	PA 2021-2022	PM 2021-2022
	(T ha ⁻¹)			
T1 – 50% 1Lin	17,33 ab	20,90	38,24	19,12
T2 – 100% 1Lin	19,54 ab	19,82	39,36	19,68
T3 - 50% 2Lin	14,68 ab	23,18	37,87	18,94
T4 - 100% 2Lin	22,65 a	25,27	47,92	23,96
T5 – 50% PRD	20,28 ab	23,13	43,41	21,70
T6 – 100% PRD	24,33 a	27,38	51,72	25,86
T7 - Sequeiro	10,75 b	22,38	33,12	16,56
CV (%)	24,56	28,44	24,45	24,45

No primeiro ano de estudo, houve influência estatística dos tratamentos na eficiência produtiva (EP). Sendo mais eficiente nos tratamentos PRD 100% (T6) e 100%2Lin (T4) e menos eficiente no tratamento de cultivo sem irrigação (Tabela 17). Assim como nas plantas irrigadas com 100% de reposição da ETc, o tratamento PRD também contribuiu para elevar a EP quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico, sendo que entre os tratamentos irrigados com déficit hídrico, o PRD 50% (T5) apresentou valor médio mais elevado que os demais para essa condição de manejo de irrigação.

Plantas de lima ácida ‘Tahiti’ que receberam irrigação com déficit de 50% da ETc foram mais eficientes no uso de água do que as que receberam irrigação total (Tabela 17). O maior valor de eficiência no uso de água foi encontrado no tratamento PRD 50% (T5), valor mais que o dobro de eficiência comparado ao tratamento 100%1Lin (T1).

Ocorreram diferenças estatísticas no peso médio de frutos, no primeiro ano de produção avaliado (2021). Os frutos de lima ácida ‘Tahiti’ foram mais pesados nas plantas cultivadas sob irrigação total e foram mais leves no cultivo não irrigado (Tabela 17).

Tabela 17. Produção anual (P), peso médio de frutos (PF), volume de copa (VC), eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água de irrigação (EUAI) da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, no ano de 2021, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	P	PF	VC	EP	EUAI
	(T ha ⁻¹)	(g)	(m ³)	(kg.m ⁻³ de copa)	(kg.m ⁻³)
T1 – 50% 1Lin	17,33 ab	95,14 ab	18,45	3,27 ab	20,53
T2 – 100% 1Lin	19,54 ab	99,56 a	19,80	3,46 ab	11,57
T3 - 50% 2Lin	14,68 ab	97,62 a	15,64	3,36 ab	17,39
T4 - 100% 2Lin	22,65 a	98,05 a	17,62	4,52 a	13,41
T5 – 50% PRD	20,28 ab	95,01 ab	17,58	3,94 ab	24,01
T6 – 100% PRD	24,33 a	98,34 a	20,00	4,27 a	14,40
T7 - Sequeiro	10,75 b	88,79 b	14,69	2,57 b	-
CV (%)	24,56	3,59	16,83	20,00	-

Para o segundo ano de produção, ano de 2022, o manejo de água e a disposição das linhas de gotejadores não afetaram estatisticamente o peso médio de frutos e a eficiência produtiva (EP), conforme Tabela 18. Mas ao contrário do ocorrido no primeiro ano, a lima ácida ‘Tahiti’ teve valores de eficiência produtiva mais altos que os tratamentos irrigados. Tal situação pode ser explicada pela condição climática favorável, acima já mencionada que ocorreu nesse período, fazendo com que as plantas que produziram menos no ano anterior, mantiveram reservas que foram utilizadas nesse momento de condições climáticas propícias a produção adequada.

Tabela 18. Produção anual (P), peso médio de frutos (PF), volume de copa (VC), eficiência produtiva (EP) e eficiência de uso da água de irrigação (EUAI) da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, no ano de 2022, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Tratamentos	P	PF	VC	EP	EUAI
	(T ha ⁻¹)	(g)	(m ³)	(kg.m ⁻³ de copa)	(kg.m ⁻³)
T1 – 50% 1Lin	20,90	95,01	29,42	2,46	27,57
T2 – 100% 1Lin	19,82	94,12	32,82	2,18	13,07
T3 - 50% 2Lin	23,18	97,92	28,75	2,95	30,58
T4 - 100% 2Lin	25,27	91,52	32,01	2,84	16,67
T5 – 50% PRD	23,13	91,05	31,04	2,61	30,51
T6 – 100% PRD	27,38	91,59	34,31	2,75	18,06
T7 - Sequeiro	22,38	93,39	25,70	3,09	-
CV (%)	28,44	4,27	14,06	25,27	-

Não houve influência dos tratamentos na taxa de crescimento dos frutos, portanto o déficit hídrico não casou efeito negativo ao crescimento do fruto, mesmo quando associado a técnica do PRD, assim como a utilização de duas linhas de gotejadores ao longo da linha lateral não gerou nenhuma diferença estatística (Figura 24).

Não foi possível avaliar a taxa de crescimento de frutos no cultivo de sequeiro em virtude do elevado abortamento de flores. Condição que possivelmente está atrelada a redução das chuvas ocorridas em setembro de 2021 ou ao fato que nesse tratamento sem irrigação (T7) houve uma floração bem mais intensa, gerando conseqüentemente uma maior taxa de abortamento natural das flores.

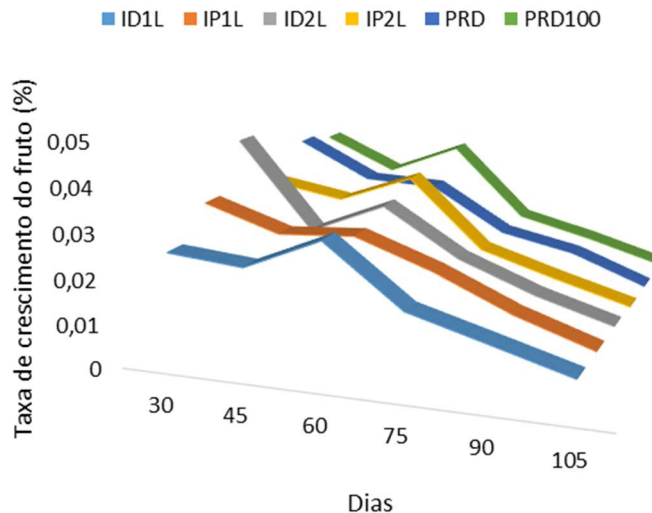


Figura 25. Taxa de crescimento de fruto da lima ácida ‘Tahiti’ sob diferentes estratégias de manejo de irrigação, avaliadas à partir da floração de setembro 2021, Sítio São João, Rio Real-Ba.

Sistema radicular

O manejo de água e as diferentes disposições das linhas de gotejadores afetaram o comprimento total médio de raiz, na linha de plantio e na linha de gotejadores (Figura 26). De maneira geral, pode-se observar que, nos dois diferentes locais amostrados, as raízes quantificadas se concentraram superficialmente até a profundidade de 0-0,40m, com uma maior concentração na profundidade 0-0,20m. Mas na linha de gotejadores a concentração de raízes na camada de 0-0,20m é superior a linha de plantio, com excessão dos tratamentos PRD50% (T5) e de plantas não irrigadas (T7), em que a concentração é maior na linha de plantio.

Na linha de plantio, o cultivo de sequeiro teve o maior comprimento de raízes em três profundidades amostradas, 0-0,20m, 0,20-0,40m e 0,60-0,80m. Na camada de solo entre 0,40 a 0,60m, o cultivo sem irrigação (T7), também se manteve em nível superior, sendo superado pelos tratamentos com déficit de irrigação, PRD50% (T5) e 50%1Lin (T1), mas não diferindo estatisticamente entre estes (Figura 26A). E apesar de não ter ocorrido diferença estatística na última profundidade, correspondente a 0,80-1,00m, o cultivo de sequeiro (T7) só foi superado por dois tratamentos que receberam irrigação total, o 100%1Lin (T1) e o 100%2Lin (T4).

A partir dos dados contidos na Figura 26A, referente as raízes quantificadas na linha de plantio, verificou-se uma predominância relacionado ao comprimento total de raiz para o cultivo sem o uso da irrigação (T7), o que pode ser justificado pelo direcionamento da energia

das plantas que estiveram em maior período com menor disponibilidade de água no solo, para o crescimento do sistema radicular.

Na linha de gotejadores, o maior comprimento de raiz, na profundidade 0-0,20m, foi observado nos tratamentos irrigados com uma única linha de gotejadores, 50%1Lin (T1) e 100%1Lin (T2), superando estatisticamente o menor comprimento de raiz, registrado no tratamento PRD50% (T5). Na profundidade 20-40m, o tratamento com uma linha de gotejador, irrigado com 100% de reposição da ETc, 100%1Lin (T2), matém-se com maior comprimento de raiz, enquanto que o menor comprimento de raiz, ocorre no cultivo de sequeiro. (T7). Na profundidade de 0,60-0,80m, o maior comprimento de raiz foi verificado no PRD50% (T5) , seguido do tratamento 50%1Lin (T1) e os menores comprimentos ocorrem, respectivamente, nos tratamentos de sequeiro (T7) e no 100%2Lin (T4). Na última profundidade amostrada, 0,80-1,00m, o tratamento PRD100% (T6) apresenta o maior comprimento de raiz, diferindo estatisticamente dos tratamentos PRD50% (T5) e dos tratamentos irrigados com 100% de reposição ETc e uma linha de gotejador 100%1Lin (T2) e 100% de reposição ETc e duas linhas de gotejadores 100%2Lin (T4) que tiveram, respectivamente, os menores comprimentos de raiz (Figura 26B).

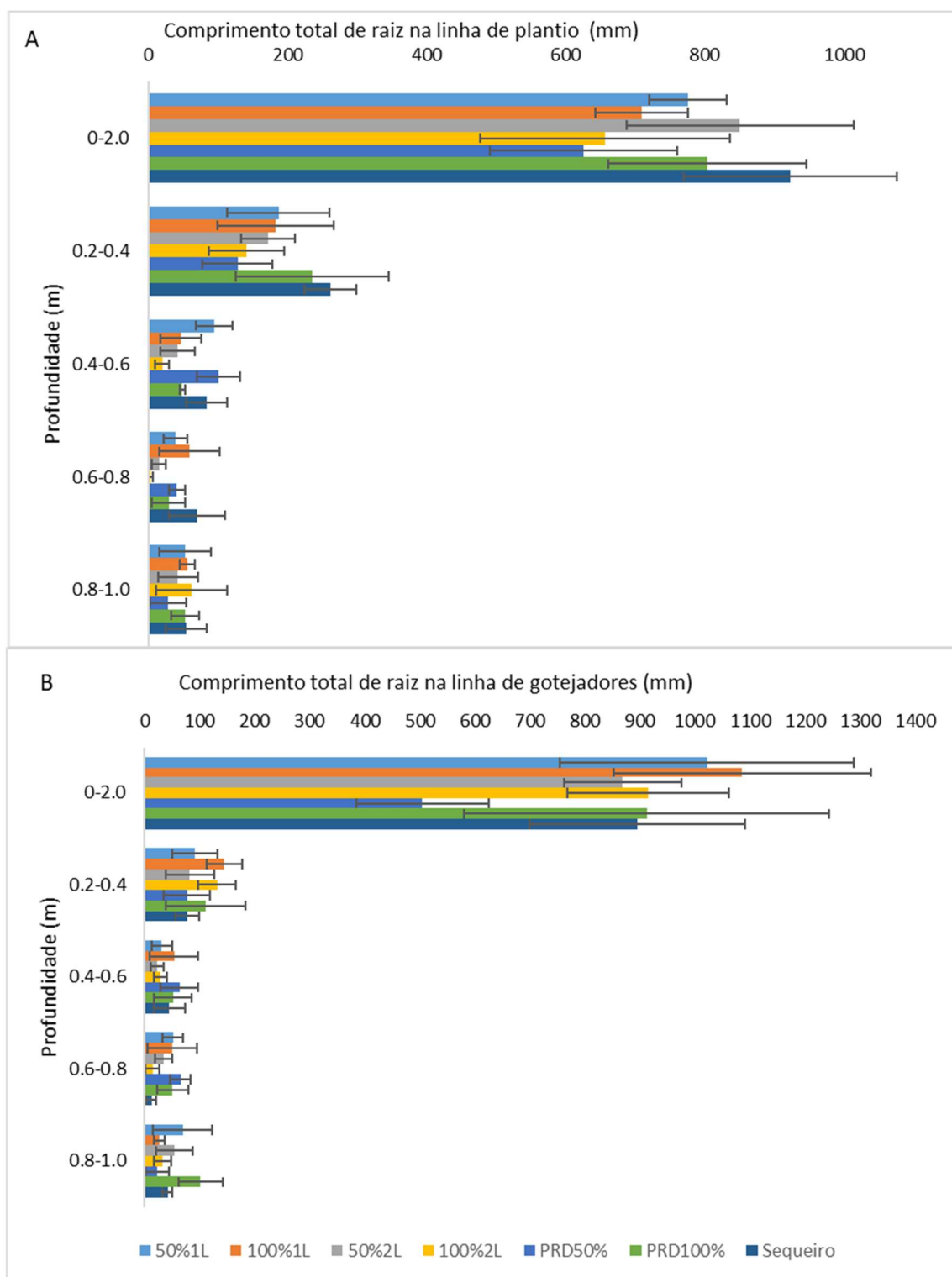


Figura 26. Média e erro padrão do comprimento total de raiz na linha de plantio (A) e na linha de gotejadores (B) para os diferentes tratamentos, em função do manejo de água e da disposição de gotejadores, ao longo do perfil do solo, Sítio São João, Rio Real-Ba.

O diâmetro médio das raízes, quantificadas na linha de plantio, foi influenciado pelo manejo de água e pela disposição dos emissores, com exceção da primeira amostra, que atingiu

a profundidade de 0,20m, em que não houve diferença estatística entre os tratamentos (Figura 27A).

Nas profundidades de 0,20-0,40m e 0,80-1,00m os maiores diâmetros médio de raízes foram registrados em plantas que receberam irrigação total. Em 0,20-0,40 o maior diâmetro ocorreu no tratamento 100% com duas linhas de gotejadores (T4), enquanto que na última profundidade, 0,80-1,00 o maior diâmetro médio de raiz foi em plantas irrigadas com 100% e apenas uma linha de gotejadores (T2). Esse fato pode estar atrelado a maior disponibilidade de água no solo em plantas que receberam irrigação total, sendo que para o tratamento 100%2Lin (T4), como o volume total de água aplicado foi distribuído em duas linhas, o maior conteúdo de água no solo foi mais superficial quando comparado ao tratamento 100%1Lin (T2) em que toda a água foi aplicada em uma única linha de gotejadores com tendência que aprofundamento da área molhada, resultando em camada mais profunda de solo com disponibilidade de água.

O diâmetro médio das raízes quantificadas na linha de gotejadores, foi influenciado pelo manejo de água e pela disposição dos emissores, conforme Figura 25B. Na camadas mais superficial, profundidades de 0,0-0,20 e na mais profunda, 0,80-1,00m foram registrados os maiores diâmetros médio em plantas que receberam irrigação total. Nas camadas intermediárias, não ocorreu o mesmo comportamento, sendo que nas profundidades 0,20-0,40m, 0,40-0,60m e 0,60-0,80m, o maior diâmetro de raízes foi obtido em tratamento irrigado com déficit hídrico de 50% da ETc.

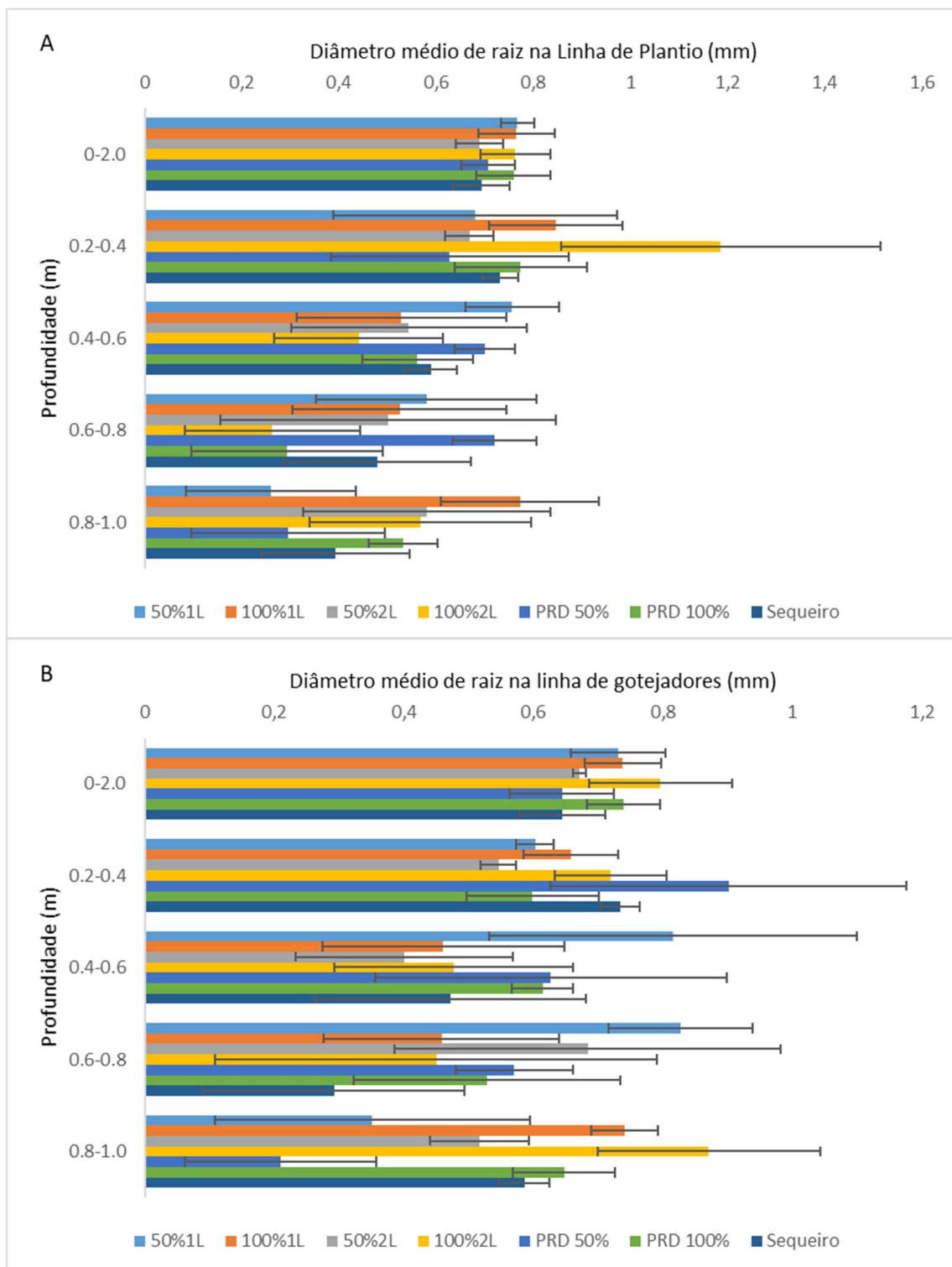


Figura 27. Média e erro padrão do diâmetro de raiz na linha de plantio (A) e na linha de gotejadores (B) para os diferentes tratamentos, em função do manejo de água e da disposição de gotejadores, ao longo do perfil do solo, Sítio São João, Rio Real-Ba.

4. DISCUSSÃO

A partir da segunda estação seca do início do experimento, ocorreu um comportamento atípico do regime de chuvas na região, com uma melhor distribuição. Somente no primeiro período seco, início do estudo, o regime de chuvas manteve as características locais, se concentrando entre os meses de abril a setembro..

Plantas não irrigadas atingiram os menores valores de potencial hídrico foliar, indicando uma condição de estresse hídrico, mas os valores atingidos não chegaram a patamares de estresse elevado. Segundo Southwick & Davenport (1986) o potencial hídrico foliar para a limeira ácida ‘Tahiti’ que representa uma condição de estresse hídrico moderado varia de -2,1 a -3,0 MPa, enquanto que valores de -3,5 MPa indicam que as plantas estão sob estresse severo.

O potencial hídrico foliar não diferiu estatisticamente com o uso da técnica do PRD, com alternância de lado a cada 15 dias. Sampaio et al. (2014) encontrou os menores valores de potencial hídrico na lima ácida ‘Tahiti’, próximos a -2,25 MPa quando irrigadas com PRD e déficit de 50% da ETc em região semiárida.

As trocas gasosas foram influenciadas estatisticamente em dois períodos de estação seca, não havendo efeito estatístico dos tratamentos na estação seca compreendendo o final de 2021 e início de 2022. Os valores de condutância estomática, transpiração foliar e assimilação de CO₂, foram reduzidos pelo déficit hídrico em que foram submetidas as plantas cultivadas sem irrigação. Plantas submetidas a déficit hídrico reduzem a atividade fotossintética e a assimilação de CO₂ (FAVER et al., 1996). Com a finalidade de restringir a perda de água, em resposta fisiológica ao déficit hídrico, ocorre uma diminuição da transpiração e da absorção de gás carbônico (CO₂), conseqüentemente a taxa fotossintética é reduzida e fotoassimilados são acumulados (TAIZ et al., 2017).

Em estudo conduzido com a lima ácida ‘Tahiti’, avaliando indicadores fisiológicos sob irrigação com déficit hídrico e a técnica do PRD, foram obtidos resultados que indicaram um maior controle estomático, com menores médias de condutância estomática, transpiração foliar, temperatura foliar e densidade de fluxo de seiva, em plantas submetidas a déficit hídrico de 50% da ETc, associado ao PRD com alternância de 7 dias (SAMPAIO et al., 2014).

Plantas que receberam irrigação total, tiveram um volume de copa maior que as plantas com manejo de irrigação com déficit e as cultivadas em sequeiro, mas as diferenças não foram significativas. Pode-se observar que a taxa de crescimento do volume de copa diferiu estatisticamente entre os tratamentos, somente nas medições realizadas após o final do primeiro período seco. E conforme descrito anteriormente, as chuvas a partir da passagem dessa primeira

estação seca, tiveram um regime de melhor distribuição. Espera-se que plantas submetidas a déficit hídrico, seja por manejo de irrigação deficitária ou pelo não uso da irrigação, cresçam menos, mantendo um porte menor. A produção de fitomassa em de porta-enxertos de citros submetidos a estresse hídrico foram reduzidas nos caules e nas folhas, priorizando o crescimento de raiz (SUASSUNA et al., 2012).

No entanto, vale ressaltar que além da condição climática ocorrida no período do estudo, o porta-enxerto trabalhado, o limoeiro Cravo, apresenta uma boa resistência ao déficit hídrico e o fato da irrigação ter caráter complementar as chuvas. Dessa maneira, o déficit hídrico só ocorre em uma parte do ano, passando as plantas a serem submetidas às mesmas condições, no período chuvoso, momento este em que pode haver uma compensação da planta, utilizando suas reservas para o momento favorável de disponibilidade de água no solo.

Amorim et al. (2021) em estudo com laranja ‘Pêra’ em condições climáticas semelhantes, em área de tabuleiros costeiros na Bahia, irrigadas em complementação as chuvas, utilizando as técnicas do PRD e do RDI (déficit hídrico controlado), não observaram diferenças estatísticas na altura de plantas e no volume de copa.

Os resultados de produção em relação ao manejo de água adotado e as diferentes disposições de gotejadores, variaram nos dois anos contabilizados. Mas não houve mudança em relação aos tratamentos mais produtivos nos dois anos estudados, permanecendo o PRD100% (T6), seguido do 100%2L (T4). Portanto as maiores produtividades foram atingidas em plantas submetidas ao manejo de irrigação com 100% de reposição da ET_c, combinado com alternância dos lados irrigados (PRD) e com a utilização de duas linhas de gotejadores.

As plantas não irrigadas (T7) foram menos produtivas no primeiro ano de estudo, mas no segundo ano, chegou a superar a produção de plantas irrigados com o arranjo de uma linha de gotejadores, os tratamentos 50%1Lin (T1) e o 100%1Lin (T2). Tal fato pode ser explicado pela característica de recuperação da planta e compensação da produção a partir do momento em que se tem uma condição favorável. No entanto considerando a produção acumulada dos dois anos, o tratamento de sequeiro (T7) teve a menor produção, mesmo considerando que durante o estudo, houve uma condição climática favorável, com melhor distribuição chuvas, condição atípica da região.

Registra-se o bom desempenho produtivo da lima ácida ‘Tahiti’ manejada com irrigação deficitária de 50% da ET_c, associado à técnica do PRD, tratamento PRD50% (T5) que superou a produção das plantas que receberam irrigação plena com arranjo de uma linha de gotejadores, tratamento 100%1Lin (T2). A adoção de déficit hídrico na cultura do limão promove floração possibilitando a produção de frutos durante todo ano (DOORENBOS & KASSAM, 1979). Boa

floração em limão foi atingida, após suspensão da irrigação, quando as plantas atingiram potencial de água na folhas de -1,3 MPa, antes do amanhacer (BARBERA et al., 1981). Dessa forma, o déficit hídrico interposto no PRD50%, possivelmente desencadeou maior indução floral e conseqüentemente maior produção que os tratamentos acima mencionados. Além disso, plantas de lima ácida ‘Tahiti’ que receberam irrigação com déficit de 50% da ETc foram mais eficientes no uso de água, sendo o tratamento PRD 50% (T5), o mais eficiente.

A utilização do PRD em lima ácida ‘Tahiti’, reduziu o consumo de água de irrigação para 75% da evapotranspiração da cultura, chegando a 50% ETc, mas que neste caso a alternância do lado irrigado foi a cada 7 dias, mantendo-se a produtividade da cultura (SANTOS, et al., 2016). O PRD com manejo de irrigação com déficit (75% ETc) condiciona um menor risco de estresse as plantas de lima ácida ‘Tahiti’, possibilitando a otimização do uso da água (SAMPAIO et al., 2014).

Diante dos dados de produção contidos na Tabela 16, fica evidente a importância do uso da irrigação no cultivo da lima ácida ‘Tahiti’, na região do estudo, independente da condição climática favorável que pode vir a ocorrer, principalmente em ano de La Niña.

A definição do arranjo das linhas laterais que tem impacto de custo inicial, fase de projeto, podendo reduzir também o custo operacional, através da adoção da irrigação com déficit, necessita de uma análise detalhada de custo, incluindo os custos de água, energia e sistema de irrigação. Devendo-se considerar que a adoção de somente uma linha de gotejadores reduz os custos de implantação, mas ocasionou redução de produção, conseqüentemente menor rentabilidade. Por outro lado, a utilização de duas linhas de gotejadores proporcionou ganhos produtivos, melhorando seu desempenho quando associado a técnica do PRD, que quando adotado o manejo da irrigação com déficit, melhora a eficiência de uso da água.

A estratégia de irrigação com o uso do PRD no cultivo de laranja doce, melhora a eficiência do uso da água, mas a frequência de alternância de umedecimento e secamento dos lados deve ser considerada, pois estratégias com ciclos mais longos (30 dias), tem um impacto negativo na produção e qualidade de frutos (AMORIM et al., 2021). A adoção do PRD em laranja pode ser uma técnica viável, mesmo com os custos mais elevados do sistema de irrigação, devido aos benefícios atribuídos a economia de água e qualidade de fruto, principalmente onde se tem limitação de água ou preço elevado (MOSSAD et al., 2020).

Ocorreu uma concentração superficial das raízes até a profundidade de 0,40m, com maior concentração em 0-0,20m. Souza et al (2006) em pomar estabelecido de laranjeira Valência, em área de Tabuleiro Costeiro na Bahia, observou que as raízes, concentraram-se em superfície, 47% das raízes, na profundidade de 0-0,30m.

A maior concentração das raízes foi registrada nas amostras coletadas na linhas de gotejadores, a excessão foi para plantas não irrigadas (T7) e irrigadas com PRD e déficit de 50% (T5). Pires et al. (2011) verificou uma concentração de raízes na área do bulbo molhado, até uma distância de 0,30m do gotejador e na profundidade de até 0,25m, em plantas adultas de laranja, após um ano de irrigação por gotejamento. Indicando que as raízes tendem a se concentrar nas áreas de maior disponibilidade de água no solo.

Para as amostras coletadas no centro da linha de plantio, houve um domínio do comprimento total de raiz, no cultivo sem o uso da irrigação (T7). Autores observaram uma priorização do crescimento de radicular de plantas cítricas quando submetidas ao déficit hídrico como uma forma de adaptação, visando melhorar a eficiência na absorção de água no solo com baixa disponibilidade (MAGALHÃES FILHO, et al., 2008; SUASUNA et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

Plantas de lima ácida ‘Tahiti’ foram mais produtivas ao se irrigar com irrigação plena e o uso de estratégia PRD e com arranjo de duas linhas de gotejadores.

O tratamento PRD com déficit de irrigação de 50% superou a produção do tratamento com irrigação total e uma linha de gotejador (100%1Lin).

A irrigação com déficit de 50% da ETc melhorou consideravelmente a eficiência de uso da água.

O ganho produtivo da lima ácida ‘Tahiti’ resultante da utilização de duas linhas de gotejadores é otimizado com o uso do PRD que associado a irrigação com déficit, melhora a eficiência de uso da água, podendo ser recomendado a partir de uma análise detalhada de custo da água e sistema de irrigação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AMORIM, M. D. S.; TOYOSUMI, I. D. S.; LOPES, W.D.A.; CAMILLO, L.R.; FERREIRA, L.N.; ROCHA JUNIOR, D.S.; COELHO FILHO, M.A. Partial rootzone drying and regulated deficit irrigation can be used as water-saving strategies without compromising fruit yield and quality in tropically grown sweet Orange. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2021. <https://doi.org/10.1080/14620316.2021.1900750>

BARBERA, G.; FATTA DEL BOSCO, G.; LO CASCIO, B. Effects of water stress on lemon summer bloom: The “forzatura” technique in the Sicilian citrus industry. *Acta Horticulturae*, v.171, p.391-397, 1985.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Yield response to water. Rome: Food and Agriculture Organization. FAO. Irrigation and drainage paper, 33, 179p., 1979.

FAVER, K.L.; GERIK, T.J.; THAXTON, P.M. et al. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. *Crop Science*, Madison, v.36, p.922-928, 1996.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/laranja/br>.

MAGALHÃES FILHO, J. R.; AMARAL, L. R.; MACHADO, D. F. S. P.; MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Deficiência hídrica, trocas gasosas e crescimento de raízes em laranja ‘Valência’ sobre dois tipos de porta-enxerto. *Bragantia*, v.67, p.75-82, 2008.

MOSSAD, A.; FARINA, V.; LO BIANCO, R. Fruit Yield and Quality of ‘Valencia’ Orange Trees under Long-Term Partial Rootzone Drying. *Agronomy*, 2020. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020164>

PIRES, R.C.M.; BODINE JUNIOR, D.; SAKAI, E.; VILLAR, H.L.; SILVA, T.J.A.; ARRUDA, F.B. Effect of trickle irrigation on root development of the wet bulb and ‘Pêra’ orange tree yield in the State of São Paulo, Brazil. *Engenharia Agrícola*, v.31, n.6, p.1096-1103, 2011.

POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos. In: RODRIGUES, O.; VIEGAS, F. C.; POMPEU JÚNIOR, J.; AMARO, A.A. (Ed.). *Citricultura Brasileira*. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, v.1, p. 265-280, 1991.

SAMPAIO, A.H.R.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; DANIEL, R.; MACHADO, V.V.; CARVALHO, G.C.; SANTANA JUNIOR, E.B. Déficit hídrico e secamento parcial do sistema radicular em pomar de lima ácida. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.45, p.1141-1148, 2010.

SAMPAIO, A.H.R.; COELHO FILHO, M.A.; COELHO, E.F.; DANIEL, R. Indicadores fisiológicos da lima ácida ‘Tahiti’ submetida à irrigação deficitária com secamento parcial de raiz. *Irriga, Botucatu*, v.19, n.2, p.292-301, 2014.

SANTOS, M.R.; MARTINEZ, M.A.; DONATO, S.L.R.; COELHO, E.F. Fruit yield and root system distribution of Tommy Atkins mango different irrigation regimes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.18, p.362-369, 2014.

SANTOS, M.R.; DONATO, S.L.R.; COELHO, E.F.; ARANTES, A.M.; COELHO FILHO, M.A. Irrigação lateralmente alternada em lima ácida ‘Tahiti’ na região norte de Minas Gerais. Irriga, Botucatu, edição especial, Irrigação, p.71-88, 2016.

SIQUEIRA, D.L.; SALOMÃO, L.C.C. Citros: do plantio a colheita. Viçosa, MG: Editora UFV, p.278, 2016.

SOUTHWICK, S.M.; DAVENPORT, T.L. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. Plant Physiology, v.81, p.26-29, 1986.

SOUZA, L. D.; RIBEIRO, L.S., SOUZA, L.S.; LEDO, C.A.S.; CUNHA SOBRINHO, A.P. Distribuição das raízes dos citros em função da profundidade da cova de plantio em Latossolo Amarelo dos Tabuleiros Costeiros. Revista Brasileira de Fruticultura, v.28, n.1, p.87-91, 2006.

SUASSUNA, J. F.; FERNANDES, P. D.; NASCIMENTO, R. D.; OLIVEIRA, A.; BRITO, K. S.; MELO, A. S. D. Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 16, 1305-1313, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MøLLER, I. M.; MURPHY, A. Fisiologia Vegetal. 6.ed. Porto Alegre: Artmed. 888p., 2017.