



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA
MESTRADO EM AGRONOMIA

MIGUEL GABRIEL MORAES SANTOS

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO PARA O COQUEIRO-ANÃO-VERDE:
ANÁLISE PRODUTIVA E ECONÔMICA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO EM SANTA ISABEL DO PARÁ-PA**

BELÉM – PA

2025

MIGUEL GABREL MORAES SANTOS

**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO PARA O COQUEIRO-ANÃO-VERDE:
ANÁLISE PRODUTIVA E ECONÔMICA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO EM SANTA ISABEL DO PARÁ-PA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da
Amazônia, como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Agronomia

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza

BELÉM – PA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S237e Santos, Miguel Gabriel Moraes

Estratégias de irrigação para o coqueiro-anão-verde: análise produtiva e econômica sob diferentes lâminas de irrigação em Santa Isabel do Pará - PA / Miguel Gabriel Moraes Santos. - 2025.
82 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGA), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural Da Amazônia, Belém, 2025.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza

1. Cocos nucifera . 2. Irrigação. 3. Evapotranspiração. 4. Viabilidade econômica . I. Souza, Paulo Jorge de Oliveira Ponte de , *orient.* II. Título


CDD 631.709811

MIGUEL GABRIEL MORAES SANTOS


**ESTRATÉGIAS DE IRRIGAÇÃO PARA O COQUEIRO-ANÃO-VERDE:
ANÁLISE PRODUTIVA E ECONÔMICA SOB DIFERENTES LÂMINAS DE
IRRIGAÇÃO EM SANTA ISABEL DO PARÁ-PA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências deste para o título de Mestre. Área de concentração: Agronomia.


BANCA EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 **PAULO JORGE DE OLIVEIRA PONTE DE SOUZA**
Data: 04/11/2025 10:58:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. Paulo Jorge de Oliveira Ponte de Souza – Orientador
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Documento assinado digitalmente
 **VIVIAN DIELLY DA SILVA FARIAS**
Data: 06/11/2025 10:49:37-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Vivian Dielly da Silva Farias
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ – UFPA

Documento assinado digitalmente
 **JOAQUIM ALVES DE LIMA JUNIOR**
Data: 10/11/2025 10:00:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Joaquim Alves de Lima Junior
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

Documento assinado digitalmente
 **THIERES GEORGE FREIRE DA SILVA**
Data: 10/11/2025 11:16:35-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Thieres George Freire da Silva
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO – UFRPE

BELÉM – PA

2025

“...life is good and things go as they should...

...memories remains as time goes on”

Unbound (The Wild Ride) – Avenged Sevenfold

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, dedico todo o esforço e trabalho realizado até aqui à minha família, as pessoas que mais amo.

À minha mãe, Tatiane Gabriel, aos meus avós, Manoel Santos e Maria Luciene, e à minha irmã, Júlia Beatriz, por me fornecerem toda compreensão e total apoio em todas as minhas decisões, assim como pelos valores, ensinamentos, princípios, exemplos e inspirações, que foram transmitidos a mim.

Aos amigos que fiz nessa jornada, sem vocês tudo seria mais difícil, em especial à Sarah, ao Marcos e à Enza, ao Rafael, à Tayssa, ao Joaquim e à Sabrina.

Ao Grupo de Pesquisa Interação Solo-Planta-Atmosfera na Amazônia (ISPAAm), por me receber e conceder o apoio necessário ao longo de todo o percurso, em especial ao meu Orientador, Prof. Dr. Paulo Jorge e aos colegas de trabalho: Breno Rodrigues, Denilson Barreto, Gabriel Fernandes, Leandro Navarro, Luís Trindade, Marcus de Lima, Maryelle Nery, Mateus Aguiar, Matheus Rua, Sabrina de Paula, Tayssa Franco e Vandeilson Belfort.

À Reunida Sococo por apoiar a realização da pesquisa e fornecer o suporte necessário ao longo de todo o período, com agradecimento especial aos colaboradores Lucas Faro e Leandro Silva, em conjunto com sua equipe.

À Universidade Federal Rural da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia pela oportunidade de realizar o mestrado, e à CAPES pela concessão da bolsa de estudos para realização da pesquisa.

RESUMO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira frutífera perene de grande relevância socioeconômica global, devido à diversidade de produtos e subprodutos derivados. No Brasil, a região Norte destaca-se como um dos principais produtores, com o Pará ocupando a terceira posição nacional na produção de coco-anão-verde, especialmente no Nordeste Paraense. Visando aumentar a produção e mitigar o déficit hídrico no período menos chuvoso, houve expansão da utilização de sistemas de irrigação em diversas espécies frutíferas, assim como surgiu o interesse da irrigação no coqueiro, visto que a escassez de água por longos períodos é capaz de comprometer a produtividade, dada a sensibilidade do coqueiro-anão-verde ao déficit hídrico. O manejo da irrigação com base na evapotranspiração de cultura constitui uma ótima ferramenta de gestão de recursos hídricos, contudo, as práticas de irrigação ainda são incipientes, resultando em desperdícios de recursos hídricos e econômicos. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação em parâmetros de produção, na produtividade de frutos e na produtividade da água em termos de frutos e água de coco, bem como a viabilidade econômica da produção do coqueiro-anão-verde sob essas lâminas. O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, no município de Santa Izabel do Pará (PA), entre 2023 e 2025, sob delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos e seis blocos. Os tratamentos corresponderam à aplicação de quatro lâminas hídricas baseados em frações da evapotranspiração do coqueiro (Sequeiro, 50%ETc, 100%ETc e 125%ETc). As plantas foram irrigadas diariamente durante o período menos chuvoso por um sistema de microaspersão, com um emissor por planta. As produtividades foram monitoradas a cada 21 dias com 24 repetições, com avaliação do número de frutos, peso do fruto e volume de água do fruto. Adicionalmente avaliou-se o potencial hídrico foliar das plantas submetidas aos tratamentos em campanhas experimentais realizadas no período chuvoso e menos chuvoso utilizando uma bomba de pressão de Scholander. Por fim, calculou-se as produtividades da água em termo de número de frutos e volume de água acumulado durante todo o período para cada tratamento. Todas as análises estatísticas foram realizadas ao nível de significância equivalente a $p < 0,05$. Os resultados demonstraram que o potencial hídrico foliar das plantas irrigadas diferiu significativamente do tratamento em Sequeiro no período antemanhã, mas não houve diferenças significativas durante o dia na estação menos chuvosa, enquanto no período chuvoso não houve diferenças entre os tratamentos em nenhum dos momentos analisados. Houve diferenças significativas em relação aos parâmetros de produção e à produtividade de frutos, demonstrando que os tratamentos irrigados, em especial 125% ETc foram superiores ao Sequeiro, demonstrando aumento 11,89% na massa do fruto, 15,1% no volume de água do fruto, 14,7% na massa de água do fruto e 32,1% na produtividade de frutos. A produtividade da água foi significativa apenas para a produção de frutos, demonstrando superioridade dos tratamentos irrigados, contudo não diferiu para o volume da água. Na análise econômica, todos os tratamentos demonstraram viabilidade a um horizonte de planejamento de 12 anos, com destaque para os tratamentos irrigados, os quais se mostraram mais resilientes em relação à possíveis riscos do empreendimento, trazendo destaque ao manejo de 125% ETc, o qual foi o mais expressivo e robusto a cenários pessimistas.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*, irrigação, evapotranspiração de cultura, viabilidade econômica, Nordeste Paraense

ABSTRACT

The coconut palm (*Cocos nucifera* L.) is a perennial fruit palm of great global socioeconomic importance due to the diversity of products and byproducts derived from it. In Brazil, the North region stands out as one of the main producers, with Pará ranking third nationally in green dwarf coconut production, especially in the Northeast of Pará. Aiming to increase production and mitigate water deficits during the dry season, the use of irrigation systems has expanded for various fruit species. Interest in coconut irrigation has also emerged, as prolonged water scarcity can compromise productivity, given the sensitivity of the green dwarf coconut palm to water deficits. Irrigation management based on crop evapotranspiration is an excellent water resource management tool; however, irrigation practices are still incipient, resulting in wasted water and economic resources. Thus, this study aimed to evaluate the influence of different irrigation depths on production parameters, fruit yield, and water productivity in terms of fruits and coconut water, as well as the economic viability of producing dwarf coconut palms under these depths. The experiment was conducted at the Reunidas Sococo Farm, in the municipality of Santa Izabel do Pará, Pará, between 2023 and 2025, in a randomized complete block design with four treatments and six blocks. The treatments corresponded to the application of four water depths based on fractions of coconut palm evapotranspiration (Dryland, 50% ET_c, 100% ET_c, and 125% ET_c). The plants were irrigated daily during the less rainy season by a micro-sprinkler system, with one emitter per plant. Productivity was monitored every 21 days with 24 replicates, with assessments of fruit number, fruit weight, and fruit water volume. Additionally, the leaf water potential of plants subjected to treatments was evaluated in experimental campaigns conducted during the rainy and less rainy seasons using a Scholander pressure pump. Finally, water productivity was calculated in terms of number of fruits and accumulated water volume throughout the period for each treatment. All statistical analyses were performed at a significance level of $p < 0.05$. The results showed that the leaf water potential of irrigated plants differed significantly from that of the dryland treatment in the pre-morning period, but there were no significant differences during the day in the less rainy season, while during the rainy season there were no differences between treatments at any of the analyzed time points. There were significant differences in production parameters and fruit yield, demonstrating that the irrigated treatments, especially 125% ET_c, were superior to the dryland treatment, demonstrating an 11.89% increase in fruit mass, 15.1% in fruit water volume, 14.7% in fruit water mass, and 32.1% in fruit yield. Water productivity was significant only for fruit production, demonstrating the superiority of the irrigated treatments; however, it did not differ for water volume. In the economic analysis, all treatments demonstrated viability over a 12-year planning horizon, with the irrigated treatments standing out, as they proved more resilient to potential project risks. The 125% ET_c management regime was the most significant and robust to pessimistic scenarios.

KEYWORDS: *Cocos nucifera*, irrigation, crop evapotranspiration, economic viability, Northeast Pará

LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

% – Percentual;

°C – Graus Celsius;

Am – Tropical Úmido;

ANOVA – Análise de Variância;

B/C – Relação benefício custo;

CE – Custo de energia;

CF – Fluxo de caixa anual;

cm – centímetro;

cm³ – centímetro cúbico;

COE – Custo Operacional Efetivo;

COT – Custo Operacional Total;

cv – Cavalos de potência;

CV (%) – Coeficiente de variação;

DPV – Déficit de pressão de vapor;

ea – pressão de saturação de vapor;

es – pressão atual de vapor

ET = Evapotranspiração

ET₀ – Evapotranspiração de referência;

ETc – Evapotranspiração de cultura;

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura;

G – Fluxo total diário de calor no solo;

g – grama;

ha – Hectare;

I – Investimento inicial;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

K – Taxa de desconto;

Kc – Coeficiente de cultura simples;

kg – Quilograma;

kPa – Kilopascal;

L – Litro;

L.h – Litros por hora;

La – Lâmina de água acumulada;

m – Metro;

m s^{-1} – Metros por segundo;

m^2 – Metro quadrado;

$\text{MJm}^2.\text{d}^{-1}$ – MegaJoule por metro quadrado ao dia;

mL – mililitros;

mm – milímetro;

$\text{mm}.\text{d}^{-1}$ = Milímetros por dia;

NFP – Número de frutos por planta;

OMM – Organização Meteorológica Mundial;

PA – Produtividade da água de coco;

PAf – Produtividade da água em termos de número de frutos;

PAv – Produtividade da água em termos de volume de água de coco;

Pf – Produtividade dos frutos;

PMF – Peso médio do fruto;

PN – Ponto de nivelamento;

Pot – Potência do conjunto motobomba;

R\$ – Reais;

$\text{R\$/kWh}$ – Reais por kilowatts por hora;

Rg – Radiação global incidente;

T – tempo total de funcionamento do sistema de irrigação;

Tar – Temperatura do ar;

TIR – Taxa interna de retorno;

U_2 – Velocidade do vento a 2 metros;

UR – Umidade relativa do ar;

US\$ – Dólar;

V – Valor do kWh;

VAf – Volume de água do fruto;

VPL – Valor presente líquido;

Δ – Declividade da curva de saturação de vapor de água;

Ψ_w – Potencial hídrico foliar;

n – Horizonte de planejamento;

γ – Coeficiente psicrométrico;

η – Rendimento do conjunto motobomba;

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE EM SANTA IZABEL DO PARÁ, NORDESTE PARAENSE

Figura 1.1 – Mapa de localização da área experimental.....	22
Figura 1.2 – A) Coqueiro-anão-verde; B) Fruto do coqueiro-anão-verde	23
Figura 1.3 – Balanço hídrico climatológico na Fazenda Reunidas Sococo de janeiro/2023 a maio/2025 ..	24
Figura 1.4 - Desenho experimental da área de estudo	27
Figura 1.5 – Avaliação do potencial hídrico foliar com auxílio de uma bomba de pressão de Scholander.....	29
Figura 1.6 – Monitoramento meteorológico mensal para o período de agosto/2023 a maio/2025 na área de estudo. A: Radiação Solar Global (Rg), Temperatura do Ar (Tar) e Umidade Relativa do Ar (%); B: Déficit de Pressão de Vapor (DPV), Velocidade do Vento (U2), Evapotranspiração de Referência (ET ₀) e Evapotranspiração de Cultura (ET _c); C: Precipitação Pluviométrica (mm); D: Lâminas Brutas de Irrigação (mm).....	34
Figura 1.7 – Potencial matricial (MPa) do solo para cada tratamento.	35
Figura 1.8 – Gráficos de rosa dos ventos para o período chuvoso (A) e menos chuvoso (B)	35
Figura 1.9 – Potencial hídrico foliar médio estimado (MPa) do coqueiro-anão-verde nos momentos antemanhã e dia dos períodos menos chuvoso e chuvoso	37
Figura 1.10 – Interação do potencial hídrico foliar médio estimado (MPa) do coqueiro-anão-verde nos períodos chuvosos e menos chuvosos sob diferentes momentos (antemanhã e dia) para os tratamentos ..	38
Figura 1.11 – Relação entre a precipitação acumulada durante o desenvolvimento do fruto e os parâmetros físicos dos frutos de coqueiro-anão-verde sob diferentes lâminas de irrigação. Os painéis representam a MF (A), VAF (B) e MAF (C)	41
Figura 1.12 – Evolução dos parâmetros físicos do fruto: A) Massa do Fruto (g); B) Volume de Água (mL); C) Massa de Água (g) ao longo do período experimental.	42
Figura 1.13 – Dinâmica temporal das diferenças estimadas entre as lâminas de irrigação sob os parâmetros físicos do fruto: A) Massa do Fruto; B) Volume de Água do Fruto; C) Massa de Água do Fruto; e a comparação múltipla entre os respectivos tratamentos.....	44
Figura 1.14 – Ilustração dos frutos após o período experimental	47
Figura 1.15 – Evolução da produtividade de frutos (frutos/hectare) ao longo do período experimental... ..	47
Figura 1.16 – Dinâmica temporal das diferenças estimadas entre as lâminas de irrigação sob a produtividade de frutos	48

CAPÍTULO 2 – VIABILIDADE ECONÔMICA DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE IRRIGADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Figura 2.1 – Mapa de localização da área experimental.....	63
Figura 2.2 – Balanço hídrico climatológico na Fazenda Reunidas Sococo de janeiro/2023 a maio/2025 ..	64
Figura 2.3 – A: preço real, valor médio mensal e índice cíclico para frutos de coco verde no estado do Pará entre janeiro de 2015 a dezembro de 2024; B: índice estacional de preços do coco verde no estado do Pará entre janeiro de 2015 a dezembro de 2024.	71
Figura 2.4 – Decomposição STL do preço real do coco verde para verificação da consistência dos componentes de tendência e sazonalidade. A: preço real do coco verde (R\$/fruto); B: padrão de sazonalidade anual; C: tendência do preço a longo prazo; D: resíduo ou variações não explicadas pela tendência e sazonalidade.	72
Figura 2.5 – Perfil do Valor Presente Líquido (VPL) para diversas taxas de acordo com a lâmina de irrigação (% ET _c)	74

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE EM SANTA IZABEL DO PARÁ, NORDESTE PARAENSE

Tabela 1.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental.....	24
Tabela 1.2 – Instrumentação da torre micrometeorológica instalada na área experimental.....	26
Tabela 1.3 - Análise de Variância para os efeitos das lâminas de irrigação, período sazonal e momento da análise sobre o potencial hídrico foliar das plantas.	36
Tabela 1.4 – Resumo da Análise de Covariância (ANCOVA) dos efeitos das lâminas de irrigação e da precipitação acumulada sobre os parâmetros físicos dos frutos de coqueiro-anão-verde.....	40
Tabela 1.5 – Resumo da Análise de Variância (ANOVA) dos efeitos das lâminas de irrigação sobre os parâmetros físicos dos frutos de coqueiro-anão-verde.	45
Tabela 1.6 – Médias e desvio padrão para MF, VAF e MAF e resultado do teste de Tukey.	45
Tabela 1.7 – Resumo da Análise de Variância (ANOVA) dos efeitos das lâminas de irrigação sobre a produtividade de frutos acumulada ao longo do período experimental.	49
Tabela 1.8 – Médias e desvio padrão para a produtividade média dos frutos acumulada e resultado do teste de Tukey HSD.....	49
Tabela 1.9 – Resumo da análise de variância para produtividade da água em termos de produção de frutos (Paf) e produção de água de coco (Pac) em um hectare de coqueiro-anão-verde em função das diferentes lâminas de irrigação.....	50
Tabela 1.10 – Resumo do teste de Tuke para produtividade da água em termos de produção de frutos (Paf) e produção de água de coco (PAv) em um hectare de coqueiro-anão-verde em função das diferentes lâminas de irrigação.....	50

CAPÍTULO 2 – VIABILIDADE ECONÔMICA DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE IRRIGADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

Tabela 2.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental.....	64
Tabela 2.2 – Cenários e variáveis consideradas para realização da análise	70
Tabela 2.3 – Preço médio (R\$) do coco-verde no estado do Pará, de janeiro de 2015 a dezembro de 2024.	70
Tabela 2.4 – Custo Operacional Total (COT) de um ha de coqueiro-anão-verde	73
Tabela 2.5 – Produtividade, preço de venda unitário e receita bruta	73
Tabela 2.6 – Indicadores Econômicos	75
Tabela 2.7 – Análise de sensibilidade para VPL e TIR em decorrência de variações na produtividade de frutos por hectare e custos/investimentos	76
Tabela 2.8 – Análise de cenários.....	77

SUMÁRIO

CONTEXTUALIZAÇÃO	9
REFERÊNCIAS	14
CAPÍTULO 1 – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE EM SANTA IZABEL DO PARÁ, NORDESTE PARAENSE	18
INTRODUÇÃO	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
Caracterização da área de estudo	22
Sistema e manejo de irrigação.....	25
Instrumentação da torre micrometeorológica.....	26
Delineamento experimental.....	26
Análise de característica físicas dos frutos.....	27
Produtividade da água	28
Potencial hídrico foliar	28
Análise estatística.....	29
RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
Monitoramento meteorológico.....	32
Potencial hídrico foliar (Ψ)	36
Análise de Parâmetros Físicos dos Frutos.....	40
Análise da Produtividade de Frutos	47
Análise de Produtividade da Água	50
CONCLUSÃO	51
REFERÊNCIAS.....	52
CAPÍTULO 2 – VIABILIDADE ECONÔMICA DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE IRRIGADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO	59
INTRODUÇÃO	61
MATERIAL E MÉTODOS.....	62
Caracterização da área de estudo	62
Sistema e manejo de irrigação.....	65
Delineamento experimental.....	66
Análise de preço	66
Análise Econômica.....	66
Análise de sensibilidade	69
Análise de cenários.....	70
RESULTADOS E DISCUSSÃO	70

Análise de preço	70
Análise econômica	73
Análise de sensibilidade	75
Análise de cenários.....	77
CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS.....	78

CONTEXTUALIZAÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma espécie de palmeira frutífera, pertencente à família Arecaceae, caracterizada por ser uma planta monocotiledônea, perene, com sistema radicular fasciculado e caule do tipo estipe, folhas pinadas, inflorescência paniculada, e o seu fruto, o coco, é classificado como drupa (THAI et al., 2024; PASSOS, 2018). Tipicamente tropical, o coqueiro concentra seu cultivo entre as latitudes 20°N e 20°S, ambientes estes que apresentam as condições meteorológicas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da espécie, podendo citar a temperatura do ar média anual em torno de 27°C, com oscilações entre 5 e 7°C; umidade relativa do ar média de 80%, assim como precipitação pluviométrica acima de 1.500 mm anuais (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013; PASSOS, 2018).

O coqueiro é uma planta distribuída em todo o globo, sendo cultivada em mais de 90 países e possui o continente asiático como local mais provável como centro de origem (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013). Segundo dados da FAO (FAOSTAT, 2024), a Indonésia se configura como o maior país produtor de coco do mundo com o equivalente a 17,19 milhões de toneladas no ano de 2022, seguido pela Filipinas (14,93 milhões), Índia (13,31 milhões) e Brasil, com cerca de 2,74 milhões e 190.000 hectares. O coqueiro-gigante foi introduzido no Brasil no ano de 1553 pelos portugueses, no estado da Bahia, por meio da variedade gigante e no ano de 1924 a variedade anã chegou ao país (RIBEIRO et al., 2010).

A variedade gigante, ou *typica*, é caracterizada por apresentar elevada rusticidade, crescimento rápido, podendo atingir altura próxima a 35 m, assim como alta longevidade. A colheita do coqueiro-gigante se inicia com cerca de sete anos e seus frutos são caracterizados por possuir endocarpo espesso e firme e, devido a essas características, a produção dessa variedade é majoritariamente destinada à agroindústria de alimentos visando o beneficiamento da polpa em diversos produtos, como: coco ralado, leite de coco, doces, sorvetes, entre outros. (PERERA et al., 2001; SILVA, 1998). Já a variedade anã, ou *nana*, é constituída de três cultivares: amarela, verde e vermelha; apresentando baixo porte (aproximadamente 12 m de altura) e de característica precoce em termos de produção (a partir do terceiro ano) e sua produção é voltada majoritariamente para consumo da água devido à sua qualidade, sabor, palatabilidade e rendimento (NETO et al., 2007; SILVA, 1998).

A variedade do coqueiro-anão é capaz de apresentar copas com 25 a 28 folhas abertas por um período que varia de três a três anos e meio, além de ser capaz de emitir até 18 folhas novas por ano, desde que sejam proporcionadas condições ambientais favoráveis (CASTRO; PASSOS; ARAGÃO, 2009; OHLER, 1999). A inflorescência do coqueiro se desenvolve nas axilas das folhas, caracterizada por ser do tipo panícula e formada por um pedúnculo e espigas, as quais são compostas de flores femininas na base e flores masculinas nos dois terços superiores terminais (PASSOS, 2018; SOBRAL et al., 2009).

O fruto do coqueiro, o coco, começa a se formar em um período de dois meses após a abertura das inflorescências, atingindo volume máximo com idade média de sete meses (SOBRAL et al., 2009). Botanicamente, o coco é caracterizado como uma drupa fibrosa, constituída de uma epiderme lisa e de coloração verde que corresponde ao epicarpo, um mesocarpo espesso e fibroso envolvido pelo epicarpo e, mais internamente, o endocarpo (PASSOS, 1999; SOBRAL et al., 2009). O fruto possui um formato ovóide e apresenta uma semente, envolvida pelo endocarpo e constituída por uma camada marrom fina, correspondente ao tegumento e pelo albúmen (endosperma), dividido entre sólido (camada branca e carnosa) e o líquido (de coloração transparente/opalescente), a qual corresponde à água de coco (ALVES; MULLER, 1995).

O coqueiro-anão é uma espécie que produz frutos de forma contínua ao longo do ano desde que lhe sejam conferidas condições ideais de clima e solo e, a depender da tecnologia utilizada e do manejo oferecido, é capaz de apresentar produção em torno de 150 a 200 frutos por planta/ano, florescendo com aproximadamente dois anos de idade (BENASSI et al., 2007; SOUSA et al., 2011). A colheita do coco é definida de acordo com a destinação dada ao fruto: quando o interesse está voltado a produtos derivados do coco seco (maduro), colhe-se os frutos com idade entre 11 a 13 meses, visto que nesse período há formação completa do albúmen sólido; contudo, quando o fruto é destinado para extração de água de coco, deve-se realizar a colheita entre o 6º e o 8º mês de idade em virtude do menor teor de albúmen sólido, maior volume de água e grau brix ideal para comercialização (DEBMANDAL; MANDAL, 2011; FONTES; FERREIRA, 2006; MARTINS; JUNIOR, 2014).

Devido à grande diversidade de utilização comercial do coqueiro e sua ampla área de cultivo ao redor do globo, a cocoicultura se apresenta como uma das atividades agrícolas de maior importância socioeconômica e renda, visto que é capaz de gerar um

sistema autossustentável de exploração, garantindo a produção de diversas matérias-primas de destaque no mercado internacional, como: óleos, cordas e fios, fibras e cerdas, biocombustível, madeira, entre outros (AZEVEDO et al., 2006; GOMES; PRADO, 2007; SOUSA et al., 2011).

Dentro da cocoicultura, a produção de frutos com intenção de extração da água de coco para envase *in natura* tem tomado destaque internacional, em virtude de ser uma bebida nutritiva, alternativa à água mineral, limpa, promotora de nutrientes e vitaminas e com sabor agradável ao paladar (ARAGÃO et al., 2002). Dessa forma, tais motivos são responsáveis por promover a expansão do mercado da água de coco e, conseqüentemente, o aumento do cultivo do coqueiro-anão, em especial a cultivar verde, em virtude de ser a mais tolerante a condições ambientais desfavoráveis (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013; KUMAR et al., 2021).

Observando o cenário atual do mercado nacional, em 2023 o Brasil produziu em torno de 1,93 milhões de toneladas de coco em uma área de aproximadamente 186 mil hectares (IBGE, 2023). Dentre os estados produtores, se destacam o Ceará, o qual lidera o ranking com uma produção equivalente a 519 mil toneladas; o estado da Bahia, em 2º lugar (387 mil toneladas), o Pernambuco, em 3º lugar (245 mil toneladas), e o Pará, em 4º (172 mil toneladas) no ano de 2023 (IBGE, 2023). Dentre esses, o estado do Pará se destaca na região Norte do país, classificado como o primeiro maior produtor, com ênfase para os municípios de Moju e Acará, os quais são responsáveis por 39% do volume produzido em todo o estado paraense (IBGE, 2023; LINS; VIÉGAS, 2008).

A disseminação do coqueiro na região Norte e a elevação do consumo e demanda por água de coco promoveu o interesse em iniciar áreas de plantios irrigados no estado do Pará, por consequência da necessidade de fornecer água à cultura devido à maior sensibilidade da variedade anã a períodos grandes de déficit hídrico (KUMAR et al., 2021; FERREIRA NETO et al., 2007). Locais que apresentam subtipo climático “Am” são caracterizados por apresentar elevado volume de chuva, podendo alcançar valores de 2.000 mm anuais, contudo de forma irregular. Nesse sentido, cita-se, por exemplo, a Região geográfica imediata de Belém (IBGE, 2017), a qual possui um período chuvoso, que se inicia na segunda metade de dezembro até o final de junho, e um período menos chuvoso que se estende de julho aos meados de dezembro, que promove um déficit de água no solo e, conseqüentemente, proporciona efeitos negativos no crescimento, desenvolvimento e produtividade do coqueiro-anão (SOUZA et al., 2012; SILVA et al.,

2017). Considerando esses fatores, a utilização de técnicas de irrigação se constitui como uma alternativa, visando mitigar os prejuízos proporcionados pelo déficit hídrico no solo em virtude dos efeitos negativos impostos pelo clima (RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018).

De acordo com dados do IBGE (1998, 2009, 2019), o estado do Pará apresenta uma crescente evolução no que diz respeito ao uso da tecnologia de irrigação, com um aumento expressivo de 515% de 1995 a 2006 e 250% de 2006 a 2017, totalizando 103.343 ha de áreas irrigadas em 2017, e tal evolução ocorre em função principalmente do aumento do consumo de determinadas culturas, assim como em virtude da irregularidade das chuvas em determinados períodos dos anos (IBGE, 1998, 2009, 2019).

Dentro do contexto do ramo agrícola, a irrigação se constitui como uma das atividades que mais demandam uso de água e sua utilização de forma indiscriminada promove a ocorrência de impactos ambientais negativos, tendo como exemplo: redução da disponibilidade hídrica local, alteração de padrões no fluxo hidrológico, salinização do solo, lixiviação de fertilizantes e pesticidas, entre outros, além de influenciar negativamente em fatores econômicos e sociais (FITO; VAN HULLE, 2021). Com base nesses fatores, o uso de estratégias que promovam um racionamento correto dos recursos hídricos tem se configurado como objeto de estudo de diversos pesquisadores.

Nesse sentido, o coqueiro-anão é uma das culturas mais exigentes em termos de recursos hídricos, com um consumo diário de água em torno de 100 a 240 L/planta, podendo alcançar 350 L/planta em alguns casos (MIRANDA et al., 2019). Essa necessidade hídrica vai muito além de características de solo e planta, estando relacionado também às condições climáticas do ambiente, podendo citar a influência de elementos meteorológicos, como: temperatura e umidade relativa do ar, radiação solar, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica do ar; os quais são componentes que regem a demanda hídrica das plantas por meio da evapotranspiração (ALLEN et al., 1998; CARVALHO et al., 2013; ABDELKHALIK et al., 2020).

A evapotranspiração diz respeito a um processo natural que combina a evaporação da água do solo e a transpiração das plantas, as quais ocorrem simultaneamente e representa, em termos de taxa (milímetros por unidade de tempo), a quantidade de água perdida, em forma de vapor, de uma superfície cultivada para a atmosfera (ALLEN et al., 1998).

A evapotranspiração, além de ser um dos componentes principais do ciclo hidrológico, contribuindo para a movimentação da água na natureza, também se constitui como uma ótima ferramenta de gestão hídrica, possibilitando a realização de dimensionamentos de projetos de forma adequada, assim como auxilia no manejo de irrigação, de forma a repor a quantidade de água evapotranspirada por determinada cultura, visando manter o crescimento da planta e continuidade de sua produção, além de evitar desperdícios de recursos e reduzir impactos ambientais anteriormente citados (MOURA et al., 2012; BELAY et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019; PAZOLINI, 2022).

A evapotranspiração do coqueiro foi objeto de estudo de diversos pesquisadores ao longo do tempo, podendo citar as pesquisas de Rao (1989), o qual encontrou valores na faixa de 2,3 a 5,5 mm.d⁻¹, na região tropical úmida de Kerala, na Índia; Jayakumar et al., (1987), obtiveram uma evapotranspiração de cultura média equivalente a 3,3 mm.d⁻¹ na mesma região; Miranda et al. (2007), em região litorânea do Ceará, observaram valores que variaram de 0,5 a 5 mm.d⁻¹; Em Sergipe, no nordeste do Brasil, De Azevedo et al. (2006), irrigando o coqueiro sob vários tratamentos (50, 100 e 150 L.planta.d⁻¹), observaram valores máximos de evapotranspiração de cultura equivalentes a 5,2; 7,1 e 7,7 mm.d⁻¹, para os respectivos tratamentos; Já no estado do Pará, durante o período menos chuvoso, Carvalho et al. (2024) obteve valor médio diário de evapotranspiração para o coqueiro-anão-verde equivalente a 4.18 mm ($\pm 0,75$), com um Kc equivalente a 1,1.

Dessa forma, com base na importância da cocoicultura como uma das principais culturas cultivadas no estado do Pará e a carência de informações a respeito do ótimo manejo de irrigação para a cultura em períodos de déficit de água no solo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação em parâmetros de crescimento e produção, assim como analisar a viabilidade econômica do uso da irrigação na cultura do coqueiro-anão-verde em um plantio comercial sob as condições microclimáticas de Santa Isabel do Pará, na região do Nordeste Paraense.

Com base nisso, a dissertação foi dividida em dois capítulos, tendo como objetivo geral analisar a influência de quatro lâminas de irrigação em parâmetros de produção, assim como avaliar a viabilidade econômica do coqueiro-anão-verde sob diferentes lâminas de irrigação.

REFERÊNCIAS

- ABDELKHALIK, A. et al. Effects of deficit irrigation on the yield and irrigation water use efficiency of drip-irrigated sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under Mediterranean conditions. *Irrigation Science*, v. 38, n. 1, p. 89–104, 2020.
- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper*, v. 56, 1998.
- ALMEIDA, M. J. de. et al. Reposição deficitária de água e adubação com organomineral no crescimento e produção de tomateiro industrial. *IRRIGA*, v. 24, n. 1, p. 69–85, 2019.
- ALVES, R. M.; MULLER, A. A. Aspectos básicos do cultivo do coqueiro (*Cocos nucifera* L.) CPATU/EMBRAPA, Belém-PA, 1995.
- ARAGÃO, W. M. et al. Variedades e híbridos de coqueiro. In: Aragão WM (Ed.) *Coco: Pós-Colheita*. Embrapa Informação Tecnológica, p.26-34. Brasília – DF, 2002. (Série Frutas do Brasil, 29).
- AZEVEDO, P. V.; et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v.84, p.259-264, 2006.
- BELAY, S. A. et al. Conservation agriculture saves irrigation water in the dry monsoon phase in the Ethiopian Highlands. *Water*, v. 11, n. 10, p. 2103, 2019.
- BENASSI, A. C. et al. Biometric characterization in fruitages of green dwarf coconut palm (*Cocos nucifera* L.) in different stages of development. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 29, n. 2, 2007.
- BENASSI, A. C.; FANTON, C. J.; SANTANA, E. N. O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção. Vitória-ES, Incaper, 2013. 120p
- CARVALHO, E. O. T. et al. Water productivity in irrigated coconut palms in humid tropical climate conditions in Eastern Brazilian Amazon. *Ciência Rural*, v. 54, n. 11, 2024.
- CARVALHO, I. R. et al. Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico. *Enciclopédia Biosfera*, v. 9, n. 17, p. 969–985, 2013.

CARVALHO, J.M. et al. (2006). Água-de-coco: propriedades nutricionais, funcionais e processamento. Semina: Ciências Agrárias, v. 27, n. 3, 437-452, 2006.

DE AZEVEDO, P. V. et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. Agricultural Water Management, v. 84, n. 3, p. 259–264, 2006.

DEBMANDAL, M.; MANDAL, S. Coconut (*Cocos nucifera* L.: Arecaceae): in health promotion and disease prevention. Asian Pacific Journal of Tropical Medicine, v. 4, n. 3, p.241–247, 2011.

FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Disponível em:
<https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 14/12/2024.

FITO, J. VAN HULLE, S. W. Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: Towards environmental sustainability. Environ. Dev. Sustain, n.23, p.2949–2972, 2021.

FONTES, H. R.; FERREIRA, J. M. S. A cultura do coqueiro. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília – DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 101p.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 19, n. 4, p. 377–391, 2007.

IBGE. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Intermediárias. 2017. Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv100600.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2025.

IBGE. Produção Agrícola Municipal (PAM). 2023. Disponível em:
<<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017censoagropecuario.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 26 mai. 2025.

JAYAKUMAR, M. et al. Crop coefficient for coconut (*Cocos nucifera* L.): a lysimetric study. Agricultural and Forest Meteorology, Índia, v.43, p. 235-240, 1988.

KUMAR, M. et al. Nutritional and metabolomics characterization of the coconut water at different nut developmental stages. Journal of Food Composition and Analysis, v. 96, p. 103738, 2021.

- LINS, P. M. P.; VIÉGAS, I. J. M. Adubação do coqueiro no Pará. Documentos: 350, Embrapa Amazônia Oriental, Belém-PA, 2008.
- MARTINS, C. R.; JÚNIOR, L. A. Produção e comercialização de coco no Brasil frente ao comércio internacional: panorama. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracajú – SE, 2014
- MIRANDA, F. R. De. et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. IRRIGA, v. 24, n. 1, p. 109–124, 2019.
- MIRANDA, F. R. DE. et al. Evapotranspiração e coeficientes de cultivo do coqueiro anão-verde na região litorânea do Ceará. Revista Ciência Agronômica, v.38, n.2, p.129-135, 2007.
- MOURA, A. R. C. et al. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.
- NETO, M. F. et al. Quality of green fruits of “anão verde” coconut in relation to doses of nitrogen and potassium via fertigation. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 5, p. 453–458, 2007.
- OHLER, J.G. Coconut tree of life. Plant Production and Protection Paper, v. 75, FAO, ROMA, 1984. 446p.
- PASSOS, E. E. M. et al. Ecofisiologia. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. A cultura do coqueiro no Brasil. Brasília, Embrapa, 2018. p.91-100.
- PAZOLINI, P. V. D. Manejo da irrigação do café conilon com o uso de planilha eletrônica. 2022.
- PERERA, L. et al. Levels and distribution of genetic diversity of coconut (*Cocos nucifera* L., var. *typica* form *typica*) from Sri Lanka assessed by microsatellite markers. Euphytica, v. 122, n. 2, p. 381–389, 2001.
- RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. Agrometeoros, v. 25, n. 1, p. 19–26, 2018.

- RAO, A.S. Water requeriments of young coconut palm in humid tropical climate. Irrigation Science, Índia, n.10, p.245-249, 1989.
- RIBEIRO, F. E. et al. Population structures of Brazilian tall coconut (*Cocos nucifera* L.) by microsatellite markers. Genetics and Molecular Biology, v. 33, n. 4, p. 696–702, 2010.
- SANTANA, C. A. M. et al. 40 anos transformações na agricultura paraense: implicações para políticas públicas. In: Sinergias de mudanças da agricultura amazônica: conflitos e oportunidades. Embrapa, Brasília-DF, 2022.
- SILVA, A. R. A. da. et al. Physiological responses of dwarf coconut plants under water deficit in salt-affected soils. Revista Caatinga, v. 30, n. 2, p. 447–457, 2017.
- SILVA, D. N. A cultura do coqueiro. Emater. Vitória-ES, 1998. 14p
- SOBRAL, L. F. et al. Coqueiro-Anão Verde. In: CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. Adubando para Alta Produtividade e Qualidade: Fruteiras Tropicais do Brasil. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza – CE, 2009.
- SOUSA, I. F. et al. Lisímetro de pesagem de grande porte. parte II: consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.5, p.526–532, 2011.
- SOUZA, R. O. R. de M.; PANTOJA, A. V.; AMARAL, M. A. C. M.; PEREIRA NETO, J. A. Cenário da agricultura irrigada no Estado do Pará. Irriga, v. 17, n. 2, p. 177-188, abr./jun. 2012.
- Thai, N. Q. T.; Tran, T. H. D.; Tran, D. H. Impact of saline water irrigation on the growth and development of coconut (*Cocos nucifera* L.) seedlings. Research on Crops, v.25, 2024.

CAPÍTULO 1 – INFLUÊNCIA DE DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO EM PARÂMETROS DE PRODUÇÃO DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE EM SANTA IZABEL DO PARÁ, NORDESTE PARAENSE

RESUMO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira frutífera perene de grande relevância socioeconômica global, devido à diversidade de produtos e subprodutos derivados. Visando aumentar a produção e mitigar o déficit hídrico no período menos chuvoso, houve expansão da utilização de sistemas de irrigação em diversas espécies frutíferas, assim como surgiu o interesse de irrigar o coqueiro, visto que a falta de água por longos períodos é capaz de comprometer a sua produção e produtividade. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação na produção e na produtividade da água em termos de frutos e água de coco. O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, no município de Santa Izabel do Pará (PA), sob delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos que corresponderam à aplicação de diferentes lâminas de irrigação baseados em frações da evapotranspiração do coqueiro (Sequeiro, 50%ETc, 100%ETc e 125%ETc), seis blocos e 24 repetições. As plantas foram irrigadas diariamente durante o período menos chuvoso por um sistema de microaspersão, com um emissor por planta. A avaliação foi realizada em relação a parâmetros de produção: massa do fruto, volume e massa de água do fruto; produtividade de frutos por hectare e produtividade da água em termos de frutos e água. Adicionalmente avaliou-se o potencial hídrico foliar das plantas submetidas aos tratamentos em campanhas experimentais realizadas no período chuvoso e menos chuvoso utilizando uma bomba de pressão de Scholander. Todas as análises estatísticas foram realizadas a um nível de significância equivalente a $p < 0,05$. Os resultados mostraram que o potencial hídrico foliar das plantas irrigadas diferiu significativamente do tratamento em Sequeiro no período antemanhã, mas não houve diferenças significativas durante o dia na estação menos chuvosa, sendo observado semelhança estatística para todos os tratamentos em condições chuvosas, independente do momento. Os parâmetros de produção foram influenciados pela irrigação, com ênfase para o tratamento de 125% ETc, com incrementos de 15,1% na massa do fruto, 11,9% no volume de água e 14,7% na massa da água, em relação ao Sequeiro. Os tratamentos irrigados também foram superiores em relação ao número de frutos, com ênfase para as lâminas de 100% ETc e 125% ETc, as quais retornaram 22,4% e 32,1 % frutos/ha a mais em relação ao Sequeiro. A irrigação proporcionou efeito positivo para a produtividade da água em termos de frutos, contudo não diferiu entre os tratamentos para o volume de água. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a irrigação é essencial para maximizar parâmetro de produção e a produtividade de coco-anão-verde, especialmente em regiões com períodos de seca prolongada.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*, microaspersão, evapotranspiração de cultura, produtividade

CHAPTER 1 – INFLUENCE OF DIFFERENT IRRIGATION DEPTH ON PRODUCTION PARAMETERS OF THE DWARF COCONUT TREE IN SANTA IZABEL DO PARÁ, NORTHEAST OF PARÁ

ABSTRACT

The coconut palm (*Cocos nucifera* L.) is a perennial fruit palm of great global socioeconomic importance due to the diversity of products and byproducts derived from it. Aiming to increase production and mitigate water deficits during the dry season, the use of irrigation systems has expanded for several fruit species. Interest in irrigating coconut palms has also emerged, as a result of the increased risk of prolonged water shortages, which can compromise their production and productivity. Therefore, this study aimed to evaluate the influence of different irrigation depths on the production and water productivity of coconut fruits and water. The experiment was conducted at Fazenda Reunidas Sococo, in the municipality of Santa Izabel do Pará, Pará, Brazil. The experiment was conducted in a randomized block design, with four treatments corresponding to the application of different irrigation depths based on fractions of coconut evapotranspiration (rainfed, 50% ET_c, 100% ET_c, and 125% ET_c). Six blocks and 24 replicates. The plants were irrigated daily during the less rainy season using a micro-sprinkler system, with one sprinkler per plant. The following production parameters were evaluated: fruit mass, fruit volume and water mass; fruit yield per hectare; and water productivity in terms of fruit and water. Additionally, the leaf water potential of the plants subjected to treatments was evaluated in experimental campaigns conducted during the rainy and less rainy seasons using a Scholander pressure pump. All statistical analyses were performed at a significance level of $p < 0.05$. The results showed that the leaf water potential of the irrigated plants differed significantly from that of the dryland treatment in the pre-morning period, but there were no significant differences during the day in the less rainy season. Statistical similarity was observed for all treatments under rainy conditions, regardless of the time of day. Production parameters were influenced by irrigation, particularly the 125% ET_c treatment, with increases of 15.1% in fruit mass, 11.9% in water volume, and 14.7% in water mass, compared to the dryland treatment. The irrigated treatments also showed superior fruit number, particularly the 100% ET_c and 125% ET_c water depths, which yielded 22.4% and 32.1% more fruits/ha than the dryland treatment. Irrigation had a positive effect on water productivity in terms of fruit, but there was no difference between treatments in terms of water volume. Based on the results obtained, it is concluded that irrigation is essential to maximize production parameters and productivity of green dwarf coconut, especially in regions with prolonged drought periods.

KEYWORDS: *Cocos nucifera*, micro-sprinkling, crop evapotranspiration, productivity

INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.), palmeira frutífera cultivada em escala global, possui elevada importância socioeconômica em virtude da vasta gama de produtos e subprodutos passíveis de obtenção (ARIFIN, 2022). O cultivo da espécie é caracterizado por se concentrar em regiões tropicais e, no cenário brasileiro, a região Nordeste desponta como principal produtora, havendo também regiões com crescente aumento da expressão econômica, com destaque para a região Norte, em especial o estado do Pará, classificado como 4º maior produtor nacional no ano de 2023 (IBGE, 2023).

De caráter tropical, o coqueiro encontra condições de clima favorável nas latitudes entre 20°N e 20°S, faixa em que há regiões de clima quente que possibilitam a ocorrência do cultivo de forma adequada (SIVAKUKAR et al., 2021; NERY et al., 2025). De acordo com Ohler (1999), a espécie exige uma temperatura média equivalente a 27°C, com oscilações que podem variar de 5° a 7°, umidade relativa do ar entre 60 e 90%, assim como tempo de luminosidade em torno de 2.000 horas anuais ou no mínimo 120 horas mensais (PASSOS, 20018).

O coqueiro é uma cultura reconhecida por ser bastante exigente em recursos hídricos, requerendo uma precipitação anual em torno de 1.500 mm, distribuída uniformemente ao longo do ano (PASSOS, 2018). O consumo diário de água pelo coqueiro-anão, segundo Miranda et al. (2019) pode oscilar entre 100 e 240 L/planta, havendo registros de até 350 L/planta. Nesse sentido, Maheswarappa e Krishnakumar (2019) salientam que a disponibilidade hídrica corresponde a um fator crucial para a produção do coqueiro, exercendo papel fundamental no crescimento e desenvolvimento vegetal, bem como na produtividade do pomar. Ademais, Yusuf e Varadan (1993) abordam que a variabilidade na precipitação ao longo do ano é capaz de causar impactos negativos até mesmo em regiões em que o cultivo já está estabelecido.

A necessidade hídrica para o ótimo crescimento e produtividade do coqueiro é influenciada majoritariamente pelas condições climáticas (MAHESWARAPPA; KRISHNAKUMAR, 2019), em especial pela precipitação pluviométrica e a sazonalidade de chuvas, visto que possui relações diretas com a produtividade de coqueirais (SUBRAMANIAN et al., 2019). Pesquisadores relatam que a maioria das regiões produtoras de coco possuem concentração de chuva em poucos meses do ano, com estações secas prolongadas, as quais promovem estresse hídrico nas palmeiras e impactos

negativos, como: diminuição do potencial hídrico foliar e absorção de água e nutrientes; morte de raízes e pelos radiculares; amarelecimento de folhas inferiores; quebra de pecíolos e queda de folhas; abortamento e atraso na abertura de espatas; queda de frutos imaturos (SUBRAMANIAN et al., 2019). Desse modo, todos os efeitos anteriormente citados levam à redução da produção de frutos, diminuição do volume de água produzido e impactos negativos no rendimento.

A sazonalidade das chuvas em regiões produtoras de coco pode ser contornada por meio da utilização de tecnologias de irrigação, as quais consistem em fornecer água às plantas de modo artificial, em quantidade e qualidade necessárias ao ótimo desenvolvimento da cultura (MANTOVANI et al., 2009). Dentre os métodos existentes para determinar a lâmina de água ideal para a irrigação dos cultivos está a Evapotranspiração (ET), a qual corresponde a um processo natural que representa o somatório da evaporação da água do solo e a transpiração das plantas, em termos de quantidade de água perdida de uma superfície cultivada para a atmosfera (ALLEN et al., 1998). Nesse sentido, a ET do coqueiro é um objeto de estudo de muitos pesquisadores, os quais visam obter informações a fim de promover a realização de uma melhor gestão hídrica, principalmente em sistemas irrigados (FITO; VAN HULLE, 2021).

Diversos pesquisadores objetivaram a realização de estudos acerca da ET do coqueiro, os quais podem ser citados: Rao (1989), encontrando valores entre 2,3 a 5,5 mm.d⁻¹ em diferentes momentos do ano na região de Kerela, Índia; Jayakumar et al. (1987), os quais obtiveram uma evapotranspiração de cultura (ETc) média equivalente a 3,3 mm.d⁻¹; Miranda et al. (2007), no Ceará, observou valores mínimos de 0,5 mm.d⁻¹ e máximos de 5,0 mm.d⁻¹; em Sergipe, Azevedo et al. (2006) obteve valores máximos de ETc equivalentes a 5,2 mm.d⁻¹, 2 mm.d⁻¹ e 7,7 mm.d⁻¹ irrigando em diferentes taxas crescentes de irrigação; e Carvalho et al. (2024), em Santa Isabel do Pará, no estado do Pará, encontrou valor médio diário de ET para o coqueiro-anão-verde de 4,18 mm.d⁻¹ e coeficiente de cultivo (Kc) equivalente a 1,1 em cultivo irrigado no período menos chuvoso da região (julho a dezembro).

Diante disso, apesar do grande volume de chuvas ocorrentes na região Norte do Brasil, a ocorrência de uma estação menos chuvosa impõe a ocorrência de déficit hídrico nas culturas agrícolas de importância, e tal fator impulsionou o interesse em implementar sistemas de irrigação nas áreas de cultivo, em especial no estado do Pará para o cultivo

do coqueiro-anão-verde, a fim de evitar quedas devido à maior sensibilidade da variedade à falta de água (KUMAR et al., 2021; FERREIRA NETO et al., 2007).

Dessa forma, com base na importância do coqueiro-anão como uma das principais culturas frutíferas no estado do Pará, assim como a necessidade de informação visando um manejo de irrigação eficiente no período menos chuvoso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a influência de diferentes lâminas de irrigação em parâmetros de produção e na produtividade da água em termos de produção de frutos e produção de água de coco, em um plantio comercial de coqueiro-anão-verde, no município de Santa Izabel do Pará, Pará.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, localizada no município de Santa Izabel do Pará ($01^{\circ}13'40,16''\text{S}$ $48^{\circ}02'54,35''\text{W}$), em um plantio comercial de coqueiro-anão-verde (7 ha), no período de agosto de 2023 a maio de 2025 (Figura 1.1).

Figura 1.1 – Mapa de localização da área experimental



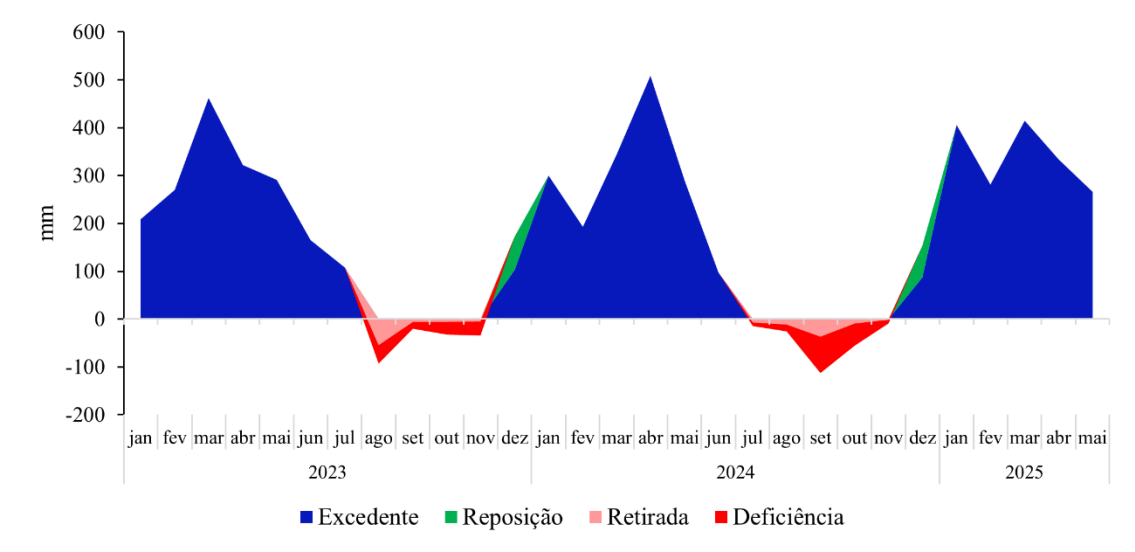
No início do experimento, as plantas da área possuíam cerca de 7 anos de idade, com altura média de 7,3 m, área de copa equivalente a 45,16 m² e densidade de plantio de 205 plantas/ha, com espaçamento adotado 7,5 m x 7,5 m x 7,5 m, em formato de triângulo equilátero. A cultivar utilizada correspondeu à anão-verde-do-brasil-de-jiqui (AveBrJ) (Figura 1.2) e a área apresentava cobertura vegetal constituída pela espécie leguminosa herbácea perene *Pueraria phaseoloides*, vulgarmente conhecida como puerária, e que foi introduzida em conjunto com o coqueiral.

Figura 1.2 – A) Coqueiro-anão-verde; B) Fruto do coqueiro-anão-verde



O clima da região é caracterizado como tropical úmido (subtipo climático “Am”), de acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger, apresentando uma estação chuvosa que ocorre de dezembro a junho, e uma estação menos chuvosa de julho a novembro. De acordo com Alvares et al. (2013), a região apresenta uma temperatura média anual do ar de aproximadamente 26 °C, umidade relativa do ar em torno de 80% e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm. A Figura 1.3 ilustra o balanço hídrico climatológico realizado para as condições da empresa entre o período de janeiro/2023 a maio/2025 (Figura 1.3).

Figura 1.3 – Balanço hídrico climatológico na Fazenda Reunidas Sococo de janeiro/2023 a maio/2025



O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2018) e suas características podem ser visualizadas na Tabela 1.1.

Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental

Tabela 1.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental

Parâmetros de caracterização	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (CaCl ₂)	4,43	4,10
Matéria Orgânica (g.dm ³)	8,75	3,25
Carbono Orgânico (g.dm ³)	5,00	2,00
P (mg.dm ³)	111,92	7,05
Ca ⁺² (mmolc.dm ³)	10,70	4,00
Mg ⁺² (mmolc.dm ³)	5,50	2,30
K ⁺ (mmolc.dm ³)	2,10	0,90
H ⁺ + Al ⁺³ (mmolc.dm ³)	33,70	32,70
CTC (mmolc.dm ³)	52,50	40,10
Saturação por bases (%)	34,85	17,95
Saturação por Al (%)	6,48	31,76
Areia (%)	70,00	-
Silte (%)	12,00	-
Argila (%)	18,00	-
Capacidade de campo (m ³ .m ³)	0,195	-
Ponto de murcha permanente (m ³ .m ³)	0,098	-

O manejo nutricional das plantas foi realizado duas vezes ao ano, com 3,3 kg da formulação NPK (10-07-20 + 1,0% de Mg + 5,5% de S + 3,5% de Ca e 0,10% de B + 0,11% de Mn). Durante o período experimental foram mantidos todos os procedimentos de manejo adotados pela empresa: capinas, controle de pragas e doenças.

Sistema e manejo de irrigação

A área experimental contou com um sistema de irrigação localizada do tipo microaspersão, com um emissor por planta, de característica autocompensante e vazão de 96 L h, posicionado a 1 m da base do estipe dos coqueiros e pressão de serviço de 3 bar. Foram realizados testes de uniformidade e eficiência de aplicação no sistema de irrigação, no qual foi constatado um coeficiente de uniformidade de 96%, assim como eficiência de aplicação de 86%, diâmetro molhado de 3 m.

O manejo de irrigação adotado para realização do experimento foi o via clima, de maneira diária, realizado com base na evapotranspiração de cultura (ET_c) (Equação 1.1), a qual era obtida através de dados de uma estação meteorológica instalada próximo à empresa, fazendo uso da equação parametrizada por Allen et al. (1998) (Equação 1.2), descrita no boletim N° 56 da FAO (Food and Agriculture Organization) de irrigação e drenagem, e em conjunto com o coeficiente de cultura (K_c) equivalente a 1.1 (CARVALHO, 2024). Em momentos de chuva, era descontado o valor da precipitação total da lâmina de irrigação calculada. O sistema de irrigação era ligado manualmente.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (\text{Eq. 1.1})$$

Em que:

ET₀: evapotranspiração de referência (mm.d⁻¹) (Equação 2);

K_c: coeficiente de cultivo (adimensional).

$$ET_0 = \frac{0,408 \times \Delta \times (R_n - G) + \frac{\gamma \times 900 \times U_2 \times (e_s - e_a)}{T_{ar} + 273}}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times U_2)} \quad (\text{Eq. 1.2})$$

Em que:

Δ: declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa.°C⁻¹);

R_n: saldo de radiação diário (MJm².d⁻¹);

G: fluxo total diário de calor no solo (MJm².d⁻¹);

γ: coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹);

U₂: velocidade média do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹);

e_s: pressão de saturação de vapor (kPa);

e_a: pressão atual de vapor (kPa);

T_{ar}: temperatura média do ar (°C).

Visando garantir que os respectivos tratamentos estavam recebendo água de forma adequada, o potencial matricial do solo foi obtido através da tensão da água do solo, a qual foi monitorada diariamente com auxílio de tensiômetros distribuídos na área

experimental, instalados na profundidade de 0,3 m, há 1,2 m dos troncos dos coqueiros e suas leituras eram realizadas no período da manhã (06:00 – 07:00), utilizando um tensímetro digital.

Instrumentação da torre micrometeorológica

Visando monitorar as condições atmosféricas, na área experimental foi instalada uma torre metálica com 12 m de altura e instrumentada com os sensores apresentados na Tabela 1.2, obedecendo as exigências mínimas de bordadura, com razão superior a 1:100, a fim de evitar influência de efeitos advectivos, assim como tornar representativa as medidas realizadas na área de estudo.

Os sensores foram conectados a dois sistemas de aquisição e armazenamento de dados (Datalogger CR1000 e CR10X, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) e a um multiplexador (AM416, Campbell Scientific, Inc., Logan, UT, EUA) programado para efetuar leituras instantâneas a cada 30 segundos e gravação de médias e totais a cada 20 minutos.

Tabela 1.2 – Instrumentação da torre micrometeorológica instalada na área experimental

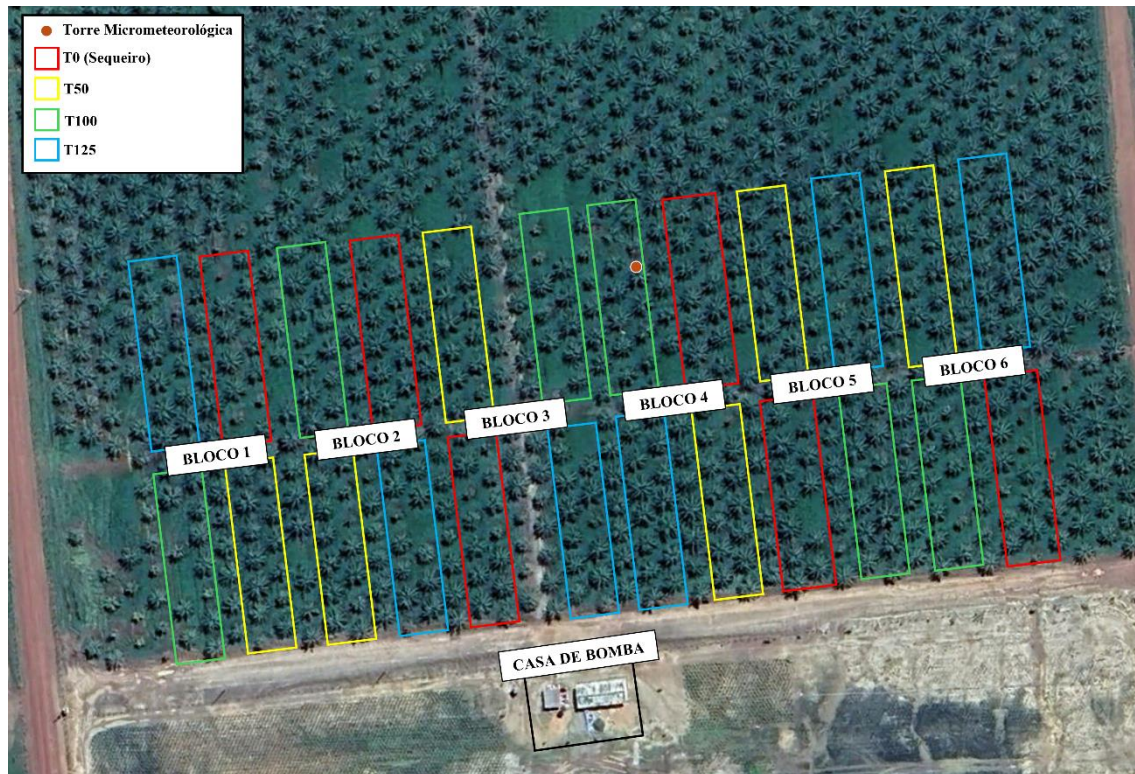
Variável meteorológica	Instrumento/Fabricante/Modelo	Nível dos sensores (m)
Radiação global incidente	Piranômetro (CMP3, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	0,4 acima do dossel
Velocidade do vento	Anemômetro (05106, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2,2 acima do dossel
Precipitação	Pluviômetro (TB4, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	2,3 acima do dossel
Temperatura do ar	Termohigrômetro (MeteoTemp, Barani Design Technologies, USA)	0,7 e 2,1 acima do dossel
Umidade relativa do ar	Termohigrômetro (MeteoTemp, Barani Design Technologies, USA)	0,7 e 2,1 acima do dossel
Temperatura do solo	Sonda de temperatura (108, Campbell Scientific Instrument, Logan, UT, USA)	0,06 e 0,08 de profundidade

Delineamento experimental

O experimento foi delineado em blocos ao acaso (DBC), com 6 blocos (Figura 1.4) a fim de separar os efeitos provenientes do ambiente. Os tratamentos aplicados consistiram em diferentes lâminas de irrigação com base nas frações da ET_c do coqueiro-

anão-verde: Sequeiro, 50% ETc, 100% ETc e 125% ETc. As diferentes lâminas foram aleatorizadas em cada bloco da área experimental, e foram escolhidas duas plantas por acaso, das quais foram coletados dois frutos de cada uma nos momentos de colheita, totalizando 24 repetições por tratamento.

Figura 1.4 - Desenho experimental da área de estudo



Análise de característica físicas dos frutos

Para análise das características dos frutos, foram coletados os frutos do cacho 20 (cerca de 210 dias após a abertura da inflorescência). As avaliações foram realizadas a cada 21 dias, em que eram dois frutos de cada cacho de duas plantas em cada bloco experimental, e transportados ao laboratório para posterior mensuração das variáveis:

- a) **Peso do fruto (PF):** foi realizada utilizando uma balança digital com precisão de 0,01 grama;
- b) **Volume da água do fruto (VAF):** realizada utilizando um perfurador de alumínio e becker para extração da água, a qual foi medida posteriormente em mL com auxílio de uma proveta;
- c) **Massa da água do fruto (MAF):** realizada com auxílio de uma balança digital com precisão de 0,01 grama.

- d) Número de frutos: foi realizada a contagem manual dos frutos do cacho colhido.

Produtividade da água

A produtividade da água, em termos de fruto (P_f) e volume de água de coco (P_v), foi calculada para todo o período experimental, de acordo com a metodologia proposta por Frizzzone e Mello (2021) e adaptada por Miranda et al. (2019), conforme as seguintes equações 1.3 e 1.4, respectivamente:

$$PA_f = \frac{P_f}{L} \quad (\text{Eq. 1.3})$$

$$PA_v = \frac{P_v}{L_a} \quad (\text{Eq. 1.4})$$

Em que:

P_f : produtividade dos frutos (frutos.ha^{-1});

P_v : produtividade da água de coco (L.ha^{-1});

L : lâmina de água acumulada (irrigação + precipitação) (mm).

Potencial hídrico foliar

Visando verificar o nível de estresse foliar das plantas em relação aos tratamentos aplicados, realizou-se nos períodos menos chuvosos e chuvosos avaliações do potencial hídrico foliar (Ψ_w) com auxílio de uma bomba de pressão de Scholander, utilizando um dos folíolos centrais da folha nº 14 do coqueiro e imediatamente condicionado dentro do equipamento, de forma que apenas o pecíolo se encontrasse do lado de fora (SCHOLANDER et al., 1965). Dessa maneira, realizou-se a injeção do gás nitrogênio líquido, havendo interrupção até que se observasse sinal de expulsão da seiva na extremidade do pecíolo. Por fim, o valor indicado no manômetro presente no equipamento indicou o potencial de xilema da planta ou potencial hídrico foliar (Figura 1.5). As medições foram realizadas no período antemanhã (02:00 – 04:00) e durante a manhã (10:00 – 12:00).

Figura 1.5 – Avaliação do potencial hídrico foliar com auxílio de uma bomba de pressão de Scholander



Análise estatística

Todas as análises estatísticas e a confecção dos gráficos foram realizadas no ambiente R Studio, do Software R (versão 4.5.1, R Core Team, 2025). O nível de significância adotado para todos os testes estatísticos foi de $\alpha = 0,05$. Para as variáveis resposta que não atenderam aos pressupostos, foi aplicada a transformação de dados mais apropriada de acordo com a análise de Box-Cox.

- **Potencial hídrico foliar**

A análise do potencial hídrico foliar consistiu no ajuste de um modelo linear de efeito misto (LMM) (MONTGOMERY, 2019; ZUUR et al., 2009) com estrutura fatorial 4x2x2, no qual foram incluídos os efeitos fixos referentes às lâminas de irrigação, ao período sazonal (chuvoso e menos chuvoso) e ao momento (antemanhã e dia), assim como suas respectivas interações. A fim de controlar a variação espacial, incluiu-se os efeitos aleatórios provenientes dos blocos do experimento. A significância dos efeitos foi avaliada por meio da Análise de Variância (ANOVA) e os resultados significativos foram explorados e a comparação das médias marginais estimadas foi realizada por meio do teste de Tukey (ZUUR, et al., 2009; SEARLE et al., 1980; LENTH, 2024; TUKEY, 1949). A validação dos pressupostos do modelo foi realizada, sendo a normalidade e a homoscedasticidade avaliadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan, respectivamente (SHAPIRO; WILK, 1965; BREUSCH; PAGAN, 2021).

- Parâmetros físicos dos frutos

A análise dos parâmetros físicos do fruto: massa dos frutos (g), massa da água (g) e volume da água (mL), consistiu na realização de uma Análise de Covariância (ANCOVA), utilizando um modelo linear de efeito misto (LMM) (Equação 1.5) (MONTGOMERY, 2019; ZUUR et al., 2009). A precipitação pluviométrica (mm) foi escolhida para ser incorporada à análise como covariável central de fator ambiental que exerce a principal influência na resposta da planta às diferentes lâminas de irrigação, visto que determina a necessidade de água suplementar em decorrência da sua disponibilidade. Para representar a influência da chuva ao longo do ciclo de desenvolvimento dos frutos, calculou-se a precipitação total acumulada para cada amostra de dados, retroativa à data da colheita.

$$Y = \text{Parâmetro} \sim \text{Lâmina} * \text{Precipitação Acumulada} + \text{Blocos} + \text{Plantas} \quad (\text{Eq. 1.5})$$

Em que:

Parâmetro: representa as variáveis dependentes (massa, volume e água e massa de água do fruto);

Efeitos fixos: compostos pelas lâminas de irrigação, a covariável Precipitação Acumulada e pelo termo de interação (Lâmina * Precipitação Acumulada), o qual permite que o efeito da chuva varie entre os diferentes níveis de irrigação;

Efeitos aleatórios: compostos por Bloco e Plantas, visando controlar a variabilidade espacial e a dependência entre as amostras coletadas em uma mesma planta, respectivamente.

A significância dos efeitos fixos foi determinada através da Análise de Variância (ANOVA) (FAI; CORNELIUS, 1996). A validação dos pressupostos do modelo foi realizada, sendo a normalidade e a homoscedasticidade avaliadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan, respectivamente (SHAPIRO; WILK, 1965; BREUSCH; PAGAN, 2021).

Para investigar a dinâmica temporal dos efeitos das lâminas de irrigação nos parâmetros físicos dos frutos, foi conduzida uma análise secundária de comparações múltiplas por janela deslizante, em que para cada data de colheita foram ajustados os dados de acordo com o LMM desenvolvido na equação 1.6. As médias marginais estimadas (EMMs) obtidas entre todos os pares de tratamentos foram então comparadas para cada colheita pelo teste de Tukey, permitindo a identificação dos períodos em que as diferenças entre tratamentos foram estatisticamente significativas

$$Y = \text{Parâmetro} \sim \text{Lâmina} + \text{Bloco} \quad (\text{Eq. 1.6})$$

Em que:

Parâmetro: representa as variáveis dependentes (massa, volume e água e massa de água do fruto);

Efeitos fixos: compostos pelas lâminas de irrigação;

Efeitos aleatórios: compostos por Bloco, visando controlar a variabilidade espacial.

Por fim, avaliou-se o efeito dos tratamentos ao longo de todo período experimental sob os parâmetros físicos do fruto por meio de uma ANOVA em DBC, e as médias foram comparadas por meio do teste de Tukey; a precisão experimental foi avaliada através do coeficiente de variação.

- Produtividade de frutos

Da mesma forma que os parâmetros físicos, foi conduzida uma análise de comparação múltiplas por janela deslizante visando verificar a dinâmica temporal dos efeitos das lâminas de irrigação na produtividade dos frutos. Para cada data de colheita os dados foram ajustados a um LMM (equação 1.7). As EMMs obtidas entre os pares de tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a fim de identificar os períodos do experimento em que as diferenças entre os tratamentos foram significativas (ZUUR, et al., 2009; SEARLE et al., 1980; LENTH, 2024; TUKEY, 1949). A validação dos pressupostos do modelo foi realizada, sendo a normalidade e a homoscedasticidade avaliadas por meio dos testes de Shapiro-Wilk e Breusch-Pagan, respectivamente (SHAPIRO; WILK, 1965; BREUSCH; PAGAN, 2021).

$$Y = \text{Produtividade} \sim \text{Lâmina} + \text{Bloco} \quad (\text{Eq. 1.7})$$

Em que:

Produtividade: representa o número de frutos colhido por hectare;

Efeitos fixos: compostos pelas lâminas de irrigação;

Efeitos aleatórios: compostos por Bloco, visando controlar a variabilidade espacial.

Em seguida, o efeito dos tratamentos na produtividade foi analisado de forma acumulada para todo o experimento, em que foi realizada uma ANOVA simples, considerando os efeitos fixos das lâminas de irrigação e o efeito aleatório de bloco e, por fim, realizou-se o teste de Tukey para a comparação das médias dos tratamentos, sendo a precisão experimental avaliada através do coeficiente de variação.

- Produtividade da água em termos de frutos e volume de água de coco

O efeito dos tratamentos na produtividade da água foi analisado de forma acumulada para todo o experimento, em que foi realizada uma ANOVA simples, considerando os efeitos fixos das lâminas de irrigação e o efeito aleatório de bloco e, por fim, realizou-se o teste de Tukey para a comparação das médias dos tratamentos, sendo a precisão experimental avaliada através do coeficiente de variação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Monitoramento meteorológico

No período menos chuvoso, em que houve aplicação dos tratamentos e manejo da irrigação, a radiação solar (R_g) média diária na escala mensal foi equivalente a $15,2 (\pm 1,43) \text{ MJm}^2.\text{d}^{-1}$, enquanto no período chuvoso, o valor de R_g médio correspondeu a $15,1 (\pm 3,05) \text{ MJm}^2.\text{d}^{-1}$ (Figura 1.6A). Observa-se que a R_g foi 0,7% maior no período menos chuvoso e isso ocorre devido ao aumento da nebulosidade na época das chuvas, fazendo com que haja diminuição da incidência dos raios solares e aumento do espalhamento da radiação (SOUZA et al., 2018).

A temperatura do ar (T_{ar}) média diária na escala mensal variou de $26,2^\circ\text{C}$ (fevereiro/2025) a $28,0^\circ\text{C}$ (setembro/2024), com valor médio de $27,0 (\pm 0,59)^\circ\text{C}$ ao longo de todo o período estudado e com valores médios equivalentes a $27,6 (\pm 0,27)^\circ\text{C}$ e $26,6 (\pm 0,39)^\circ\text{C}$ para os períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente (Figura 1.6A). Dessa forma, as plantas não sofreram limitação térmica, visto que a T_{ar} se manteve em torno de $27,0^\circ\text{C}$, valor recomendado para o cultivo da cultura do coqueiro (PASSOS et al., 2018).

A umidade relativa do ar (UR) média diária na escala mensal variou de 80,43% (novembro/2025) a 96,83% (março/2025), com uma média equivalente a $90,86 (\pm 5,31) \%$ ao longo de todo o período experimental. No período menos chuvoso a UR correspondeu em média a $85,33 (\pm 2,87) \%$, e no período chuvoso a $94,68 (\pm 2,25) \%$ (Figura 1.6A). Com base nos dados, observa-se uma redução da UR nos meses mais secos do ano, corroborando com o aumento do déficit de pressão de vapor (DPV), associado à maior frequência de ventos fortes e maior temperatura.

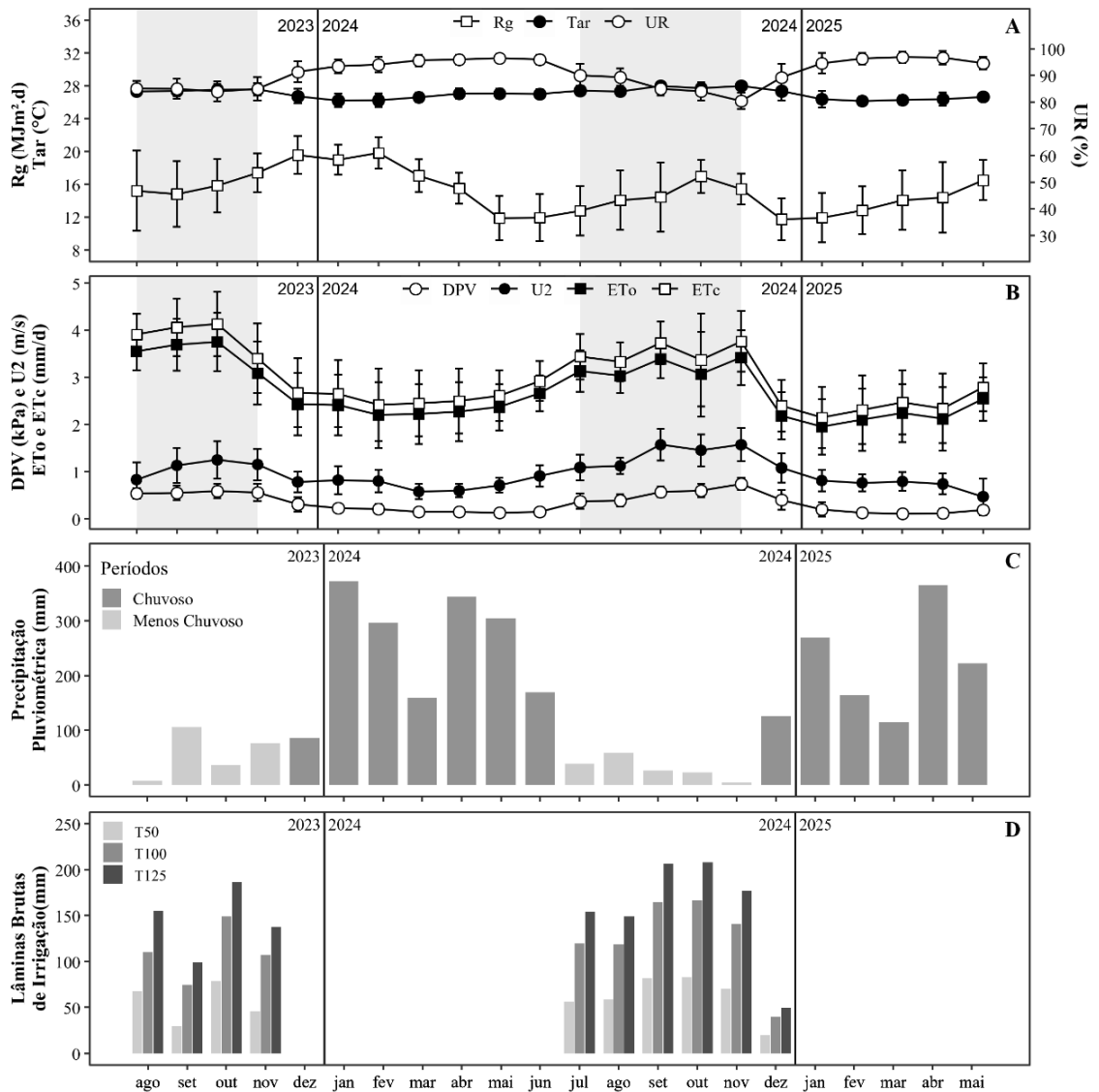
A velocidade do vento (U2) média diária na escala mensal variou de 0,47 m.s⁻¹ (maio/2025) a 1,57 m.s⁻¹ (setembro/2024), com valor médio de 0,96 (\pm 0,31) m.s⁻¹ (Figura 1.6B). A velocidade média mensal do vento correspondeu a 1,24 (\pm 0,26) m.s⁻¹ no período menos chuvoso e a 0,76 (\pm 0,15) m.s⁻¹ no período chuvoso. Nesse sentido, observa-se que a média da U2 no período menos chuvoso foi 63% e tal condição promove a maior ocorrência de renovação das massas de ar e aumento do DPV, o qual correspondeu, em média, a 0,55 (\pm 0,11) kPa e 0,19 (\pm 0,08) kPa para os períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente (Figura 1.6B).

Durante o período menos chuvoso, a área de estudo apresentou uma ET₀ média diária na escala mensal de 3,35 (\pm 0,28) mm.d⁻¹ e ETc equivalente a 3,69 (\pm 0,31) mm.d⁻¹. Já nos meses chuvosos, a média diária na escala mensal da ET₀ e ETc corresponderam a 2,28 (\pm 0,19) mm.d⁻¹ e 2,51 (\pm 0,21) mm.d⁻¹ (Figura 1.6B). Os dados observados indicam que tanto a ET₀ como a ETc são maiores no período menos chuvoso e tal comportamento é explicado em função de outros elementos meteorológicos, podendo citar a temperatura do ar, a qual provoca maior evaporação da água do solo, assim como o aumento da capacidade volumétrica da atmosfera em receber vapor d'água e, em conjunto com a menor umidade relativa do ar e ventos mais fortes, proporciona aumento da demanda evapotranspirativa local. Em contrapartida, a redução dos valores no período chuvoso pode ser explicada devido à menor demanda atmosférica por vapor d'água sendo que, mesmo com a ocorrência de um grande volume de chuva, há maior limitação da evapotranspiração devido à redução da temperatura do ar, diminuição do DPV, ocorrência de ventos mais fracos e aumento da umidade relativa do ar.

Durante todo o período experimental, a precipitação pluviométrica acumulada correspondeu a 3.372 mm, sendo o mês de janeiro/2024 correspondente ao maior evento de chuva (372,4 mm) e o mês de novembro/2024 com o menor evento (4,0 mm) (Figura 1.6C). O experimento sofreu influência do fenômeno El Niño, que foi classificado como de intensidade moderada a forte no ano de 2023 (INPE, 2024). O fenômeno teve início em junho de 2023, após a identificação de padrões de temperatura da superfície do mar, caracterizados por uma faixa de águas quentes na região do Oceano Pacífico equatorial. Além disso, observou-se sinais de atividade convectiva anômala e o desenvolvimento de nuvens profundas em agosto de 2023, ambas anomalias típicas do El Niño (INPE, 2024). Esse comportamento persistiu até junho de 2024, quando foram registrados padrões de temperatura da superfície do mar no Pacífico equatorial próximos à média climatológica,

indicando a descaracterização do fenômeno e um retorno à neutralidade (INPE, 2024). Durante o El Niño de 2023-2024, houve aumento de áreas em situação de seca severa na região Norte do Brasil, em especial no estado do Pará, onde alguns municípios registraram os menores índices de precipitação em décadas, afetando as atividades agrícolas e afetando o abastecimento de água, assim como proporcionando aumento em focos de incêndio (INPE, 2024).

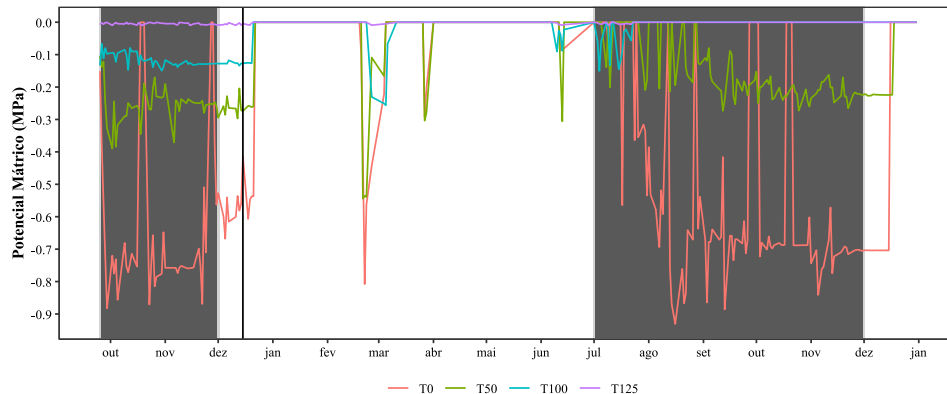
Figura 0.6 – Monitoramento meteorológico mensal para o período de agosto/2023 a maio/2025 na área de estudo. A: Radiação Solar Global (Rg), Temperatura do Ar (Tar) e Umidade Relativa do Ar (%); B: Déficit de Pressão de Vapor (DPV), Velocidade do Vento (U2), Evapotranspiração de Referência (ET₀) e Evapotranspiração de Cultura (ET_c); C: Precipitação Pluviométrica (mm); D: Lâminas Brutas de Irrigação (mm).



As lâminas brutas aplicadas em cada tratamento podem ser visualizadas na figura 1.6D, as quais foram equivalentes a: 591 mm, 1.191 mm e 1.522 mm para os tratamentos

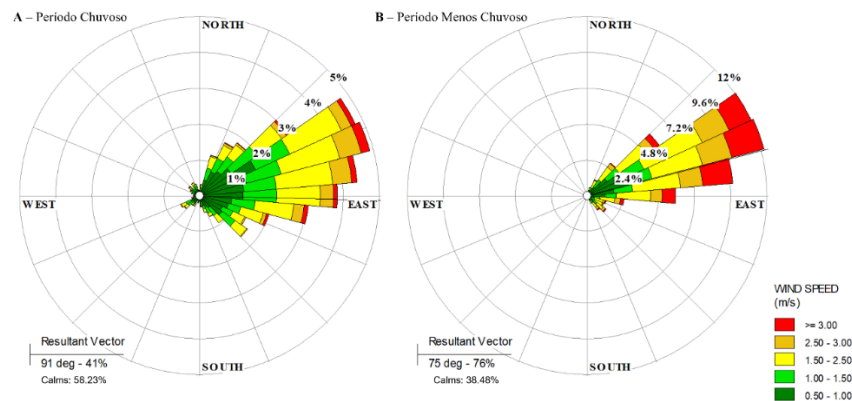
50%ETc, 100%ETc e 125%ETc, respectivamente. A figura 1.7 ilustra o potencial matricial do solo para os respectivos tratamentos, no qual valores mais negativos indicam haver menor volume de água no solo e vice-versa. Nesse sentido, é possível visualizar que o potencial matricial do solo para o tratamento T0 (Sequeiro) apresenta os valores mais negativos, enquanto há diminuição à medida que os tratamentos irrigados foram aplicados.

Figura 0.7 – Potencial matricial (MPa) do solo para cada tratamento.



A Figura 1.8 ilustra rosas dos ventos para o período chuvoso (Figura 1.8A) e menos chuvoso (Figura 1.8B), sendo possível observar que durante o período chuvoso há maior distribuição dos ventos, os quais ocorrem predominantemente nas direções 22,5° a 135°, com maior frequência para ventos classificados como “calmos” (até 0.5 m.s⁻¹) (58,23%) e ventos de até 2,5 m.s⁻¹. Já no período menos chuvoso, a distribuição dos ventos é mais restrita à faixa de direção que engloba 22,5° a 112,5°, com uma percentagem de ventos calmos equivalente a 38,48% e maior frequência de ventos maiores que 3,0 m.s⁻¹. Para ambos os períodos, observa-se que o vetor resultante de direção do vento se encontra na direção nordeste.

Figura 1.8 – Gráficos de rosa dos ventos para o período chuvoso (A) e menos chuvoso (B)



Potencial hídrico foliar (Ψ)

O potencial hídrico foliar das plantas foi significativamente influenciado pelas lâminas de irrigação e sua interação com o período sazonal e o momento da análise (antemanhã ou dia), de acordo com a ANOVA (Tabela 1.3).

Tabela 1.3 - Análise de Variância para os efeitos das lâminas de irrigação, período sazonal e momento da análise sobre o potencial hídrico foliar das plantas.

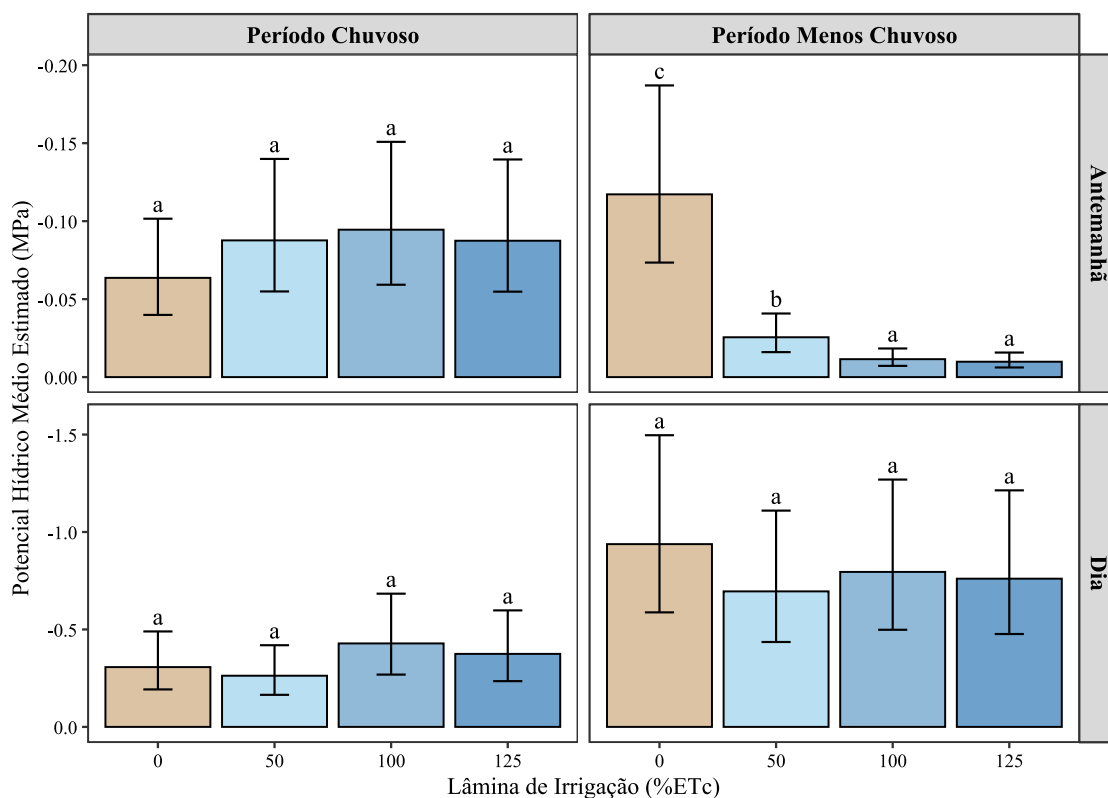
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Lâminas	3	0.913*
Períodos	1	0.557*
Momento	1	96.051*
Lâminas:Período	3	6.880*
Lâminas:Momento	3	3.332*
Período:Momento	1	17.340*
Lâminas:Período:Momento	3	1.188*
Componentes de Variação		
Residual		75,7%
Entre blocos		24,3%
R ² Marginal		0,95
R ² Condicional		0,96

Nota: * indica significância estatística ($p < 0,05$).

A análise do potencial hídrico foliar das plantas revelou uma interação tripla significativa entre os fatores estudados (Tabela 1.3).

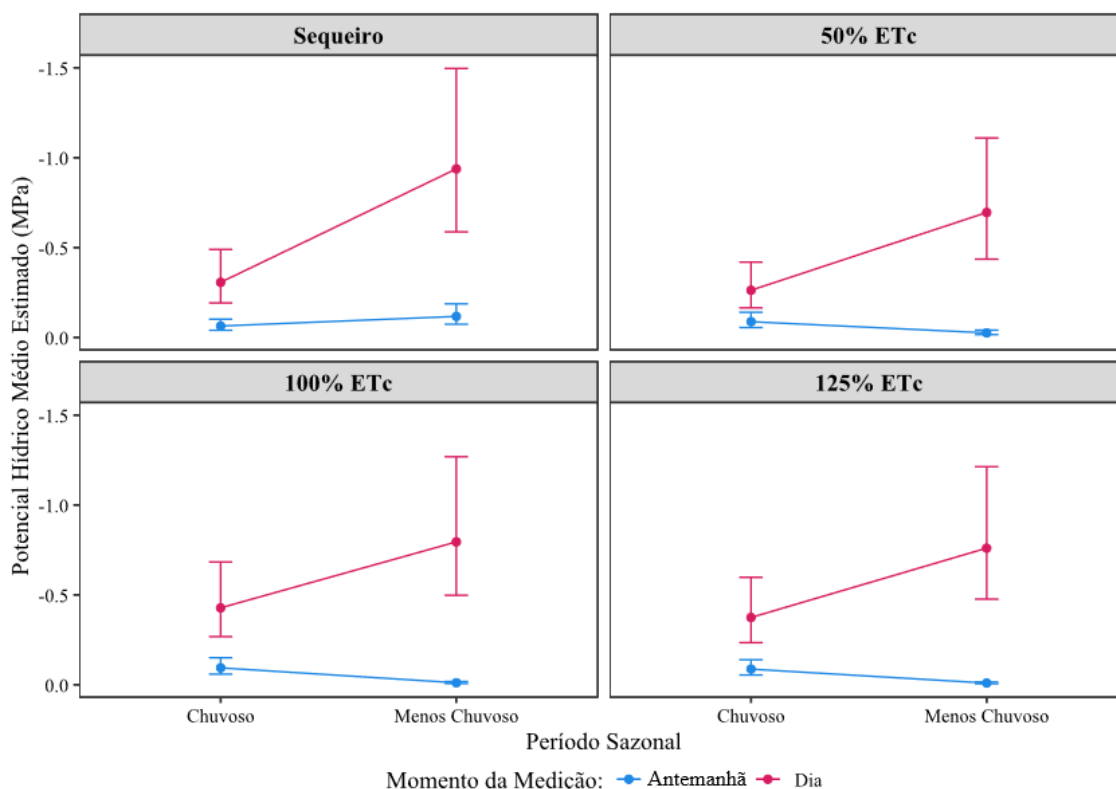
A figura 1.9 ilustra que o efeito da irrigação foi manifestado apenas durante o momento antemanhã do período menos chuvoso e, nessa condição, apenas todos os tratamentos irrigados apresentaram potencial hídrico foliar superior ao do tratamento Sequeiro. Tal resultado demonstra que, no período menos chuvoso, a irrigação proporcionou uma recuperação do status hídrico das plantas, como demonstrado também na Figura 1.10. Nos demais cenários analisados, a irrigação não proporcionou efeito significativo sob o status hídrico das plantas.

Figura 1.9 – Potencial hídrico foliar médio estimado (MPa) do coqueiro-anã-verde nos momentos antemanhã e dia dos períodos menos chuvoso e chuvoso



Na Figura 1.10, observa-se a interação entre os dois períodos sazonais e o momento da análise, demonstrando que há uma queda do potencial hídrico do momento antemanhã para o dia, e tal mudança do status hídrico foliar das plantas indica aumento do estresse hídrico, sendo um padrão observado em todos os tratamentos. Dessa forma, pode-se inferir que a irrigação não foi capaz de mitigar esse comportamento diurno. Já analisando os períodos chuvoso e menos chuvoso, observa-se que houve maior estresse hídrico durante a estiagem em comparação com a época de chuvas e tal resultado é uma consequência direta do balanço hídrico entre a planta e a atmosfera, o qual é governado pela oferta de água às raízes e a demanda pela atmosfera.

Figura 1.10 – Interação do potencial hídrico foliar médio estimado (MPa) do coqueiro-anão-verde nos períodos chuvosos e menos chuvosos sob diferentes momentos (antemanhã e dia) para os tratamentos



Com base nos resultados, salienta-se que o potencial hídrico foliar antemanhã representa o status hídrico do sistema solo-planta-atmosfera, sendo determinado antes dos primeiros raios solares, ou seja, sem influência da energia solar e, consequentemente, sob ausência de transpiração, enquanto o potencial hídrico foliar diurno considera apenas o status hídrico da planta (KATERJI; HALLAIRE, 1984; REICH; HINCLEY, 1989). Dessa maneira, à medida que as plantas sofrem influência da radiação solar, há ativação da fotossíntese, proporcionando o aumento da demanda de água e transpiração (COSTA; MARENCO, 2007).

Em seus estudos, Machado Filho et al. (2006) abordam que as variáveis climáticas são capazes de causar efeito pronunciado no status hídrico foliar em plantas frutíferas, fazendo com que o potencial hídrico seja fortemente influenciado pela demanda evapotranspirativa da atmosfera (LANGE et al., 1971). Em condições de estiagem (período seco ou menos chuvoso), em que a umidade relativa do ar é baixa, associado a baixa nebulosidade, assim como elevadas temperaturas e déficit de pressão de vapor, a demanda da atmosfera por água pode se tornar superior à taxa de absorção de água pelas raízes, fazendo com que haja decaimento no potencial hídrico foliar e redução da condutância estomática, a fim de evitar a perda excessiva de água e, consequentemente,

redução do potencial hídrico foliar, como observado na Figuras 1.9 e 1.10, independente do tratamento (COSTA; MARENCO, 2007; PASSOS et al., 2006).

Peçanha (2007) aborda que o potencial hídrico de plantas de coqueiro-anão se relaciona diretamente com a disponibilidade hídrica, de forma que, quanto menor o conteúdo de água no solo, menor o potencial hídrico e, conseqüentemente, maior o estresse hídrico sofrido pela planta. Tal abordagem é corroborada por Rajapogal e Kasturi Bai (2002), os quais, estudando o déficit hídrico em plantas de coqueiro, relataram que a redução do potencial hídrico se configura como uma das principais respostas ao estresse hídrico.

Sabendo que o coqueiro-anão-verde é uma cultivar com elevada transpiração, espera-se que sob condições de altas taxas evapotranspirativas, associadas ao fornecimento de lâminas de água que atendessem à demanda hídrica da cultura. Todavia, em seus estudos, Passos et al. (1999) aborda que sob condições atmosféricas semelhantes ao período menos chuvoso da região trabalhada, o elevado DPV faz com que a demanda evapotranspirativa da atmosfera seja bastante superior à taxa de absorção de água pelas raízes do coqueiro, fazendo com que as plantas fechem seus estômatos e reduzam sua transpiração, como resposta a um certo grau de déficit hídrico e, conseqüentemente, haja diminuição do potencial hídrico foliar mesmo em condições de suplementação por irrigação localizada e independente do teor de umidade do solo (PEIRIS; THATTIL, 1998; SARMENTO, 2004; KASTURIBAI et al., 1988; RAJAGOPAL et al., 1989; ROUPSARD et al., 2006).

Trabalhando com irrigação, Rajagopal et al. (1989) observaram uma redução no potencial hídrico foliar diurno na faixa de -0,9 a -1,4 MPa à medida que o turno de rega aumentava de 12 para 16 e 24 dias. Já em Kerala, na região Sul da Índia, o potencial hídrico foliar foi monitorado durante o dia por Shivashankar et al. (1991) em plantas de coqueiro-anão-vermelho sob condições de sequeiro, no qual foi observado uma diminuição dos valores à medida que a estação seca se prolongava (-1,0 a -2,0 MPa); em contrapartida, as plantas submetidas à irrigação apresentaram média de Ψ_w equivalente a -1,3 MPa.

Também monitorando o status hídrico foliar de coqueiro anão, Milburn e Zimmerman (1977) registraram mudanças diurnas e sazonais no potencial hídrico foliar, obtendo valores mais baixos que -1,3 MPa durante o dia, em condições de estação

chuvosa e valores médios em torno de -0,2 MPa à noite, indicando que houve a reidratação das plantas em decorrência da mudança dos fatores climáticos, em especial a radiação solar e o déficit de pressão de vapor da atmosfera.

Considerando o exposto, sugere-se que, mesmo com conteúdo de água no solo garantida pelo uso da irrigação, as condições edafoclimáticas da região em períodos de estiagem fazendo com que haja um maior controle estomático por parte das plantas, forçando o fechamento dos estômatos a fim de evitar perdas excessivas de água. Isso é evidenciado pelo nivelamento do potencial hídrico entre as plantas de todos os tratamentos durante o dia, contudo a irrigação possibilita a recuperação noturna do status hídrico das plantas.

Análise de Parâmetros Físicos dos Frutos

A ANCOVA revelou um efeito de interação significativa entre as lâminas de irrigação e a precipitação acumulada durante o ciclo de desenvolvimento do fruto para todos os parâmetros físicos de fruto analisados, conforme detalhado na Tabela 1.4.

Tabela 1.4 – Resumo da Análise de Covariância (ANCOVA) dos efeitos das lâminas de irrigação e da precipitação acumulada sobre os parâmetros físicos dos frutos de coqueiro-anão-verde.

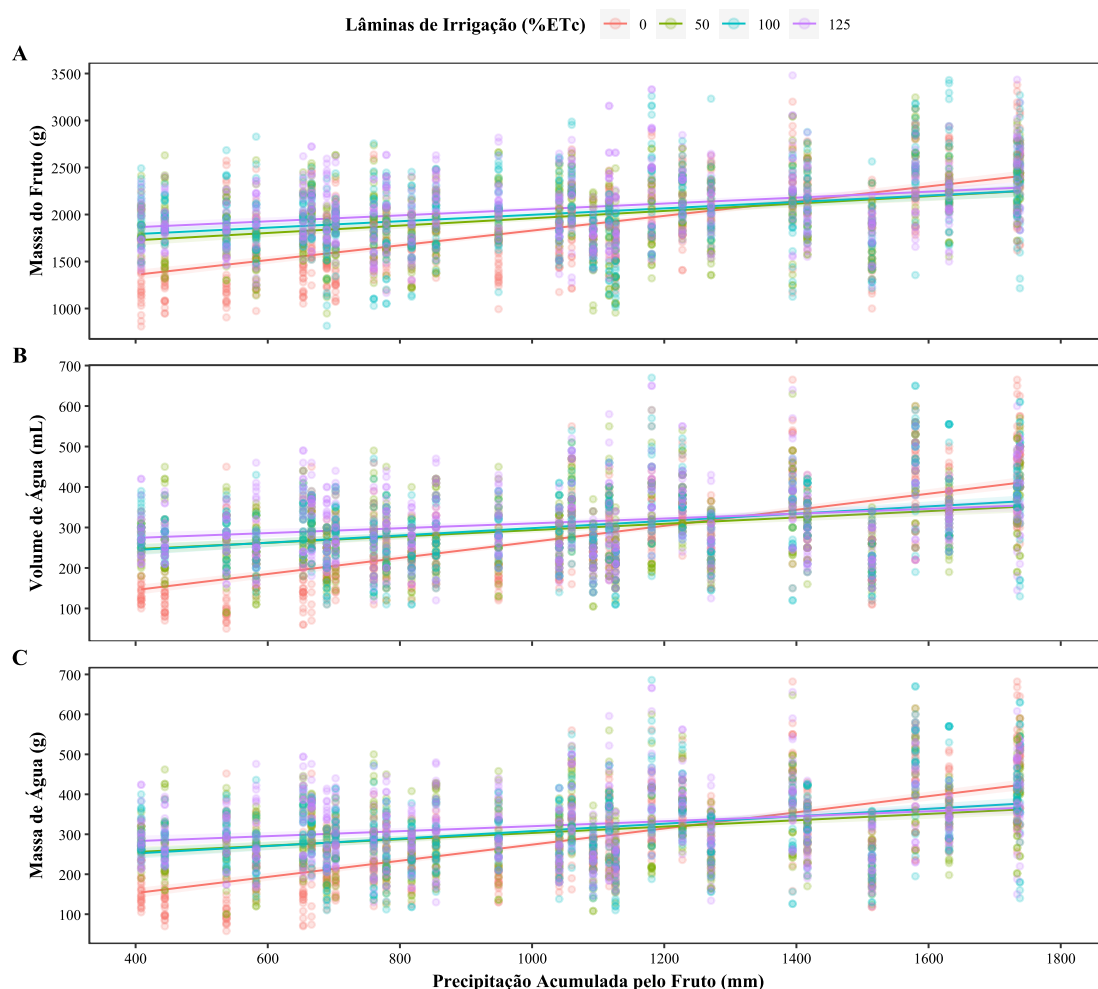
Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio		
		MF	VAF	MAF
Lâmina	3	2,935*	10,873*	10,113*
Precipitação Acumulada	1	21,040*	51,863*	50,428*
Lâmina:Precipitação Acumulada	3	1,811*	7,564*	7,050*
Componentes de Variação				
Residual		97,7%	96,5%	96,4%
Entre blocos		0,0%	1,8%	1,8%
Entre Plantas		2,3%	1,7%	1,8%
R ² Marginal		0,24	0,24	0,24
R ² Condicional		0,25	0,27	0,27

Nota: * indica significância estatística ($p < 0,05$); MF: massa do fruto; VAF: volume de água do fruto; MAF: massa de água do fruto

A interação entre as lâminas de irrigação e a precipitação acumulada durante o desenvolvimento do fruto pode ser visualizada na Figura 1.11, no qual foram plotadas as predições dos modelos. Observando a figura, é possível visualizar que o efeito das lâminas sobre os parâmetros físicos dos frutos é fortemente dependente do nível da precipitação pluviométrica. Desse modo, percebe-se que a resposta à irrigação é mais pronunciada em cenários de baixa precipitação e diminui progressivamente à medida que

a disponibilidade de água proporcionada por chuva aumenta, havendo um padrão consistente para a MF (Figura 1.11A), VAF (Figura 1.11B) e MAF (Figura 1.11C).

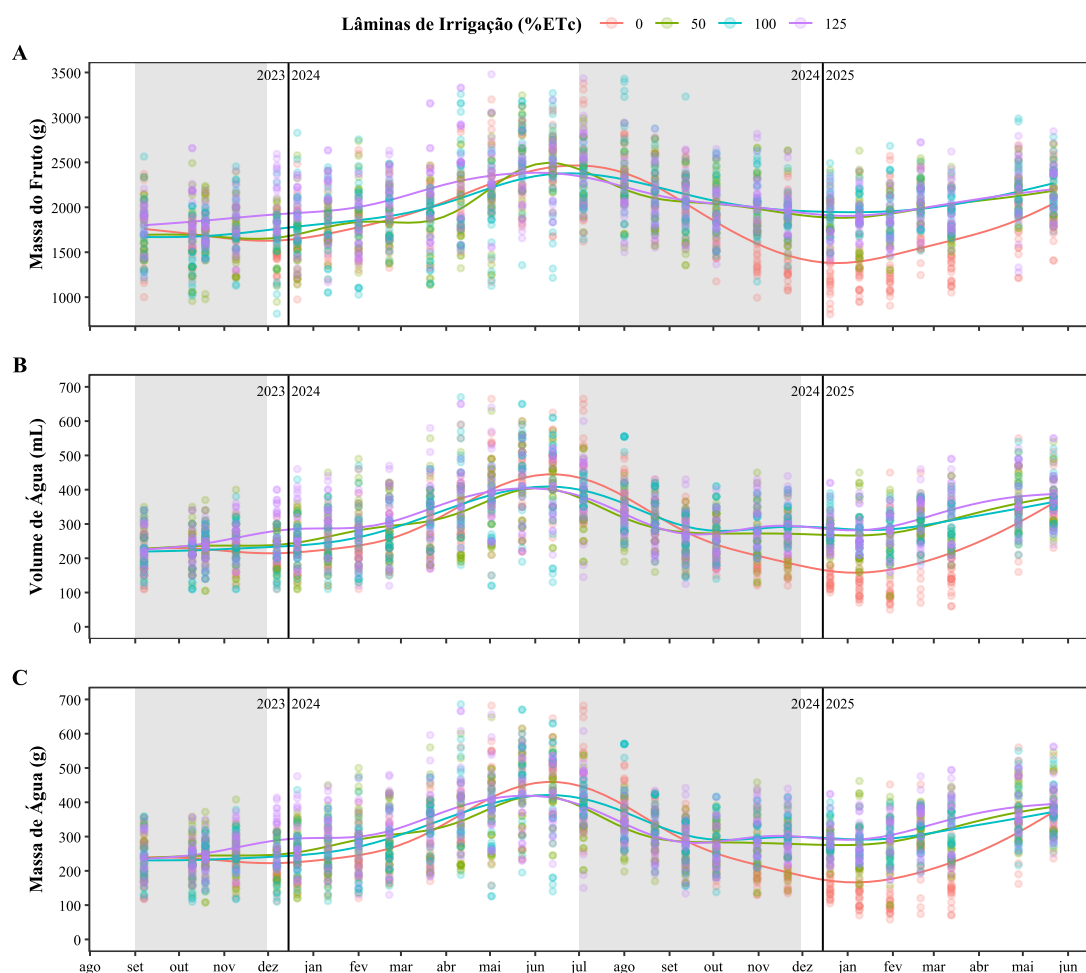
Figura 1.11 – Relação entre a precipitação acumulada durante o desenvolvimento do fruto e os parâmetros físicos dos frutos de coqueiro-anão-verde sob diferentes lâminas de irrigação. Os painéis representam a MF (A), VAF (B) e MAF (C)



Em cenários de acúmulo de precipitação pluviométrica entre 400 e 1200 mm, observa-se um contraste entre os tratamentos, em que as previsões do modelo indicam que a aplicação de maiores lâminas de irrigação, com ênfase para a de 125%ETc, resultam em valores superiores para os parâmetros físicos analisados, diferente do tratamento sequeiro, o qual apresentou o menor desempenho (Figura 1.11). À medida em que a precipitação acumulada aumenta, a previsão do modelo para todos os tratamentos converge, fazendo com que não haja diferenças entre os tratamentos e posterior aumento dos valores do tratamento sequeiro, em virtude da reposição de água no solo proporcionado pela chuva.

Na Figura 1.12 é possível observar a evolução dos parâmetros físicos analisados ao longo do período experimental, dando ênfase aos tratamentos irrigados, os quais apresentam comportamento de manutenção dos valores; em detrimento ao sequeiro, o qual foi observada redução após os efeitos do período menos chuvoso.

Figura 1.12 – Evolução dos parâmetros físicos do fruto: A) Massa do Fruto (g); B) Volume de Água (mL); C) Massa de Água (g) ao longo do período experimental.



Segundo Passos et al. (2018), os efeitos do déficit hídrico no coqueiro podem se manifestar por até 30 meses após a ocorrência do estresse, se manifestando em forma de aborto de inflorescências, redução do número de frutos e, mais especificamente para a variedade anã-verde, a submissão de plantas ao manejo de sequeiro é capaz de reduzir o tamanho dos frutos, assim como o peso e o volume de água produzida, como observado nos resultados referentes ao tratamento Sequeiro.

Apesar do período menos chuvoso apresentar maior demanda evapotranspirativa, fazendo com que a transpiração exceda a absorção de água pelas raízes e cause estresse

hídrico, a suplementação de água por irrigação de forma ideal permite que haja água disponível no solo, e tal condição não compromete o coqueiro em termos de produção (PASSOS et al., 2018).

Com base nesse contexto, alguns pesquisadores relatam resultados que vão de encontro ao que foi analisado no presente trabalho, podendo citar: a) Nainanayake et al. (2008), os quais obtiveram respostas significativas da irrigação em comparação ao manejo de sequeiro para parâmetros físicos do fruto; b) Cintra et al. (2009), os quais visualizaram relação linear do volume médio de água do fruto com o volume de água aplicada e c) Souza et al. (2006), trabalhando com pomar de coqueiro-anão e diferentes tratamentos de irrigação visualizaram resultados semelhantes, concluindo que o volume de água aplicado não influencia necessariamente em produtividade, mas sim de forma positiva no volume de água do fruto e biomassa.

A Figura 1.13 aborda a dinâmica temporal dos efeitos das lâminas de irrigação sob os parâmetros físicos do fruto, na qual pode-se visualizar as comparações múltiplas entre os tratamentos e permite indicar os momentos em que a irrigação proporcionou efeito significativo.

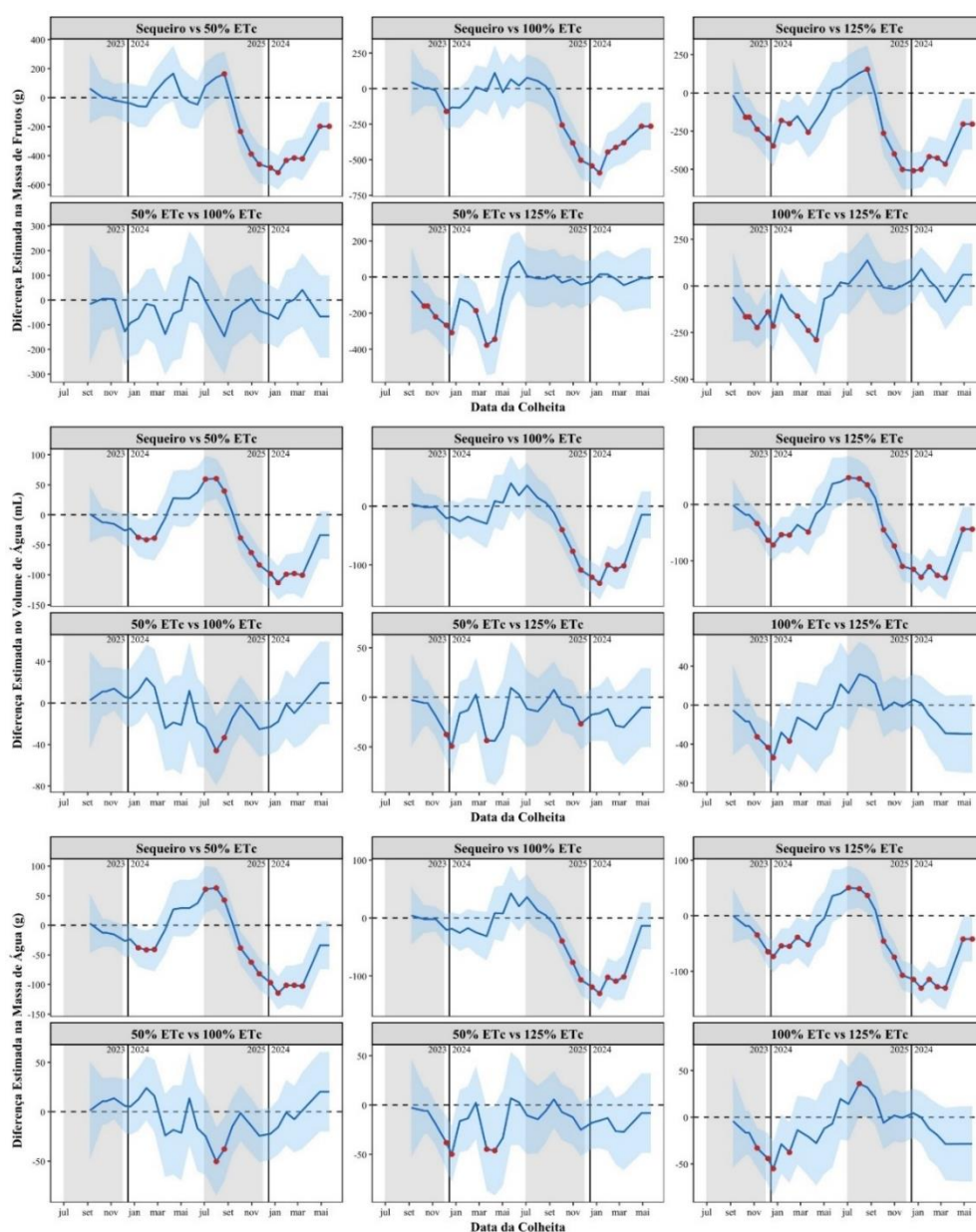
Analisando a Figura 1.13A (massa de frutos) observa-se que o efeito positivo para a lâmina de 50% ETc ocorreu apenas no segundo período de irrigação quando comparado às plantas manejadas em sequeiro, enquanto para a lâmina de 100% ETc o efeito ocorreu logo após o primeiro período de irrigação e para o tratamento de 125% ETc houve diferenças significativas em torno de 3 meses após o início da irrigação. Na comparação entre os tratamentos, não houve diferenças significativas entre 50% ETc e 100% ETc e resultado semelhante entre as comparações de 50% ETc – 125% ETc e 100% ETc – 125% ETc, em que o efeito ocorreu por volta de 3 meses após a submissão aos tratamentos, seguido de uma posterior estabilidade ao longo do período experimental.

A Figura 1.13B (volume de água do fruto) e 1.13C (massa de água do fruto) apresentaram resultados semelhantes, em que, na comparação do tratamento sequeiro com os tratamentos irrigados, a lâmina de 50% ETc apresentou efeito após o primeiro período de irrigação e a lâmina de 125% ETc cerca de 3 meses após o início dos tratamentos, enquanto a lâmina de 100% ETc proporcionou efeito apenas no segundo período de irrigação. Na comparação entre as lâminas, observa-se que 50% ETc – 100% ETc proporcionou efeitos apenas no segundo período de irrigação, seguido por

estabilidade; 50% ETc – 125% ETc demonstrou diferenças significativas logo após o final do primeiro período de irrigação e 100% ETc – 125% ETc apenas 4 meses após a submissão das plantas aos tratamentos.

Com base nos resultados demonstrados na Figura 1.13, deve-se dar ênfase ao tratamento de 125% ETc, o qual foi capaz de proporcionar efeito positivo de forma mais rápida em todos os parâmetros estudados, assim como promover estabilização dos valores observados ao longo do tempo, principalmente quando comparado ao tratamento sequeiro, o qual é utilizado atualmente na empresa.

Figura 1.13 – Dinâmica temporal das diferenças estimadas entre as lâminas de irrigação sob os parâmetros físicos do fruto: A) Massa do Fruto; B) Volume de Água do Fruto; C) Massa de Água do Fruto; e a comparação múltipla entre os respectivos tratamentos.



Indo de encontro com os resultados obtidos, alguns estudos relatam que após a irrigação há promoção de melhorias fisiológicas imediatas, sendo: aumento do potencial hídrico foliar, redução da temperatura do dossel e aumento da condutância estomática (MAHESWARAPPA; KRISHNAKUMAR, 2001; CARVALHO et al., 2024).

Em função disso, pesquisadores também abordam acerca de avanços na produção de frutos e em seus parâmetros físicos após a irrigação em períodos secos, contudo plantas já estressadas advindas de secas anteriores apresentam produção de frutos e melhoras de seus parâmetros físicos como rendimento de água e biomassa de forma mais lenta e a sua recuperação total ocorre a longo prazo, podendo levar alguns meses a até três anos, como citado por Carr (2011), Nainanayake et al. (2008) e Rajagopal et al. (1989).

Dessa maneira, a recuperação da produção também é inerente ao longo ciclo de desenvolvimento reprodutivo e de formação dos frutos do coqueiro-anão-verde e fortemente dependente da frequência da irrigação e volume de aplicação de água, a qual deve ser adaptada às condições locais, assim como ao tipo de solo e ao manejo agrônômico realizado (SURENDRAN et al., 2019).

A ANOVA da Tabela 1.5, realizada para testar o efeito dos tratamentos de irrigação sob os parâmetros físicos ao longo de todo o período experimental, demonstrou efeito significativo para as lâminas de irrigação.

Tabela 0.5 – Resumo da Análise de Variância (ANOVA) dos efeitos das lâminas de irrigação sobre os parâmetros físicos dos frutos de coqueiro-anão-verde.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio		
		MF	VAF	MAF
Tratamento	3	46.659*	1.801*	1.819*
Blocos	5	9.296	1.029	1.040
Resíduo	15	7.030	407	4.15
Coefficiente de Variação (%)		4,24	6,83	6,67

Nota: * indica significância estatística ($p < 0,05$); MF: massa do fruto; VAF: volume de água do fruto; MAF: massa de água do fruto

A Tabela 1.6 apresenta os resultados obtidos após a realização do teste de comparação múltipla de médias Tukey.

Tabela 0.6 – Médias e desvio padrão para Massa do Fruto (MF), Volume de Água do Fruto (VAF) e Massa de Água do Fruto (MAF) e resultado do teste de Tukey.

Tratamento	Médias		
	MF	VAF	MAF
Sequeiro	1.845,13 ($\pm 94,69$) b	271,30 ($\pm 18,64$) b	281,10 ($\pm 19,10$) a

50% ETc	1.973,61 ($\pm 81,05$) ab	296,17 ($\pm 27,66$) ab	306,02 ($\pm 27,62$) ab
100% ETc	2.008,98 ($\pm 85,08$) a	301,40 ($\pm 23,91$) ab	311,07 ($\pm 24,34$) ab
125% ETc	2.064,69 ($\pm 87,24$) a	312,22 ($\pm 23,76$) a	322,34 ($\pm 23,72$) a

Nota: letras iguais indicam que não houve diferença estatística de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$); MF: massa do fruto; VAF: volume de água do fruto; MAF: massa de água do fruto

Segundo os resultados obtidos, percebe-se que a aplicação da irrigação, independentemente do nível, se mostrou superior ao tratamento sequeiro, com ênfase à lâmina de 125% ETc, a qual apresentou resultados independentes dos outros tratamentos e valores superiores ao manejo de sequeiro, como: +11,89% na MF; +15,08% no VAF e +14,66% na MAF.

Estudos semelhantes também relatam resultados equivalentes, podendo citar Camboim Neto (2002) e Silva (2006), os quais observaram influência positiva na massa dos frutos em função da elevação da lâmina de irrigação, e tal incremento é associado a um aumento no volume da água do fruto ou ao acúmulo de fibras, assim como detectaram efeito linear positivo ao analisar o suprimento de diferentes lâminas de irrigação e o volume de água em frutos com sete meses, evidenciando também o aumento dessa variável em diferentes porcentagens de área molhada e níveis de salinidade.

Trabalhando com frutos de cinco meses, Gomes do Ó (2017) também observou incremento no VAF em função do aumento das lâminas de irrigação, de forma que o tratamento equivalente à 125% ETc também proporcionou os maiores volumes de água do fruto. Nesse sentido, Fernandes et al. (2024) descreve que irrigações sazonais são capazes de proporcionar estabilidade, de forma a evitar diminuição na massa dos frutos em relação a plantas em condição de sequeiro e, consequentemente, promover aumento do volume de água e da massa de água dos frutos.

Com base nos resultados abordados anteriormente acerca das características do fruto, na Figura 1.14 é possível visualizar a diferença nos frutos após o período experimental para cada tratamento.

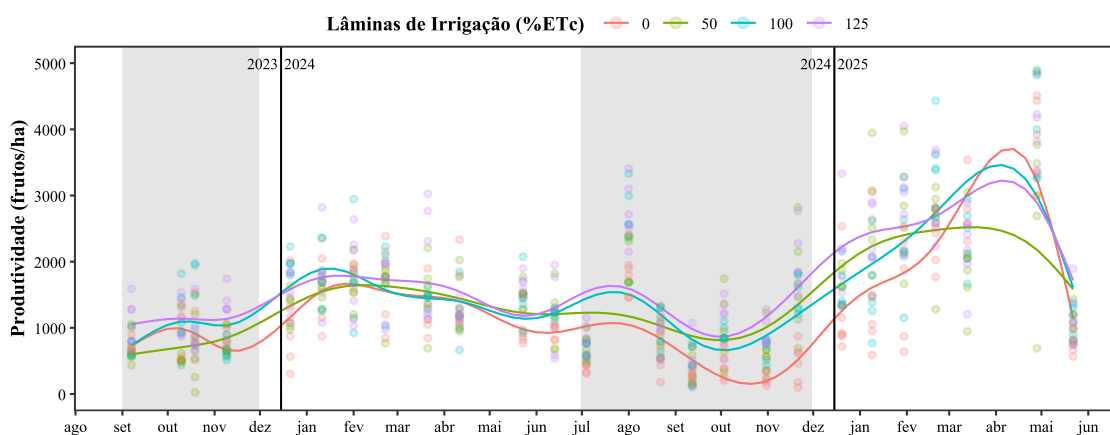
Figura 1.14 – Ilustração dos frutos após o período experimental



Análise da Produtividade de Frutos

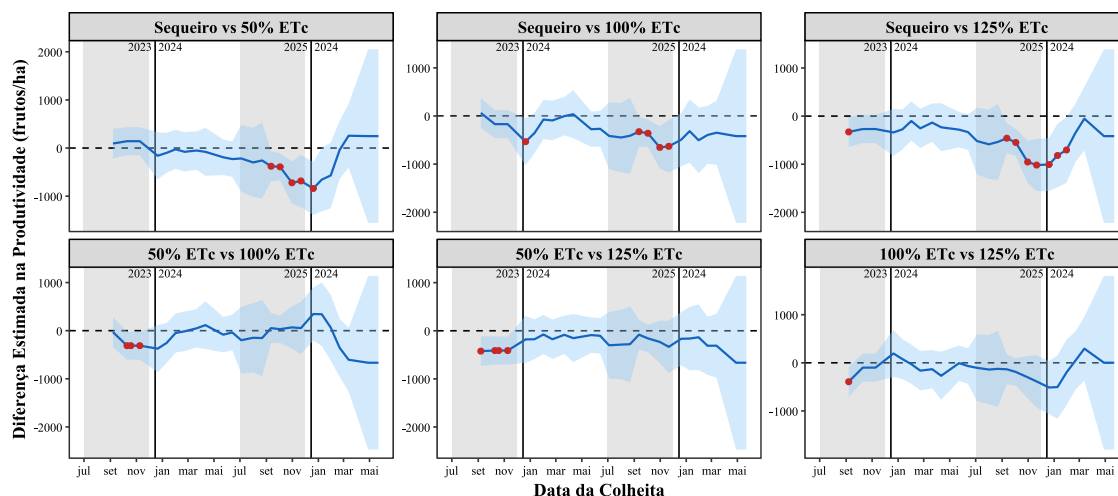
A Figura 1.15 ilustra a evolução da produtividade de frutos (frutos/hectare) ao longo do período experimental para os diferentes tratamentos de irrigação. É possível observar o decaimento da produtividade para o tratamento sequeiro ao longo do segundo período menos chuvoso, em que foram aplicadas as lâminas de irrigação.

Figura 1.15 – Evolução da produtividade de frutos (frutos/hectare) ao longo do período experimental



A Figura 1.16 ilustra a dinâmica temporal dos efeitos das lâminas de irrigação sob a produtividade de frutos, na qual pode-se visualizar as comparações múltiplas entre os tratamentos e permite indicar os momentos em que a irrigação proporcionou efeito significativo.

Figura 1.16 – Dinâmica temporal das diferenças estimadas entre as lâminas de irrigação sob a produtividade de frutos



De acordo com os resultados da Figura 1.16, na comparação com o tratamento sequeiro, observa-se que a lâmina referente à 50% ETc proporcionou efeitos significativos na produtividade apenas no segundo momento de irrigação, em contrapartida às lâminas de 100% ETc e 125% ETc, as quais indicaram efeito logo após o final do primeiro momento de irrigação e após três meses, respectivamente, assim como no segundo momento de irrigação.

Entre as lâminas de irrigação, observa-se que o tratamento de 100% ETc e 125% ETc proporcionaram efeito significativo na produtividade de frutos em cerca de três meses após o início da irrigação, em comparação à lâmina de 50% ETc. O mesmo resultado foi obtido na comparação das lâminas 100% ETc – 125% ETc, seguido de uma estabilização para todas as comparações realizadas, a qual deve ser explicada em função da recuperação da planta e a ocorrência do segundo momento de irrigação logo após o período chuvoso.

A análise dos efeitos das lâminas de irrigação em relação à produtividade de frutos acumulada para todo o período experimental pode ser observada na Tabela 1.7, a qual demonstra haver efeito significativo dos tratamentos.

Tabela 1.7 – Resumo da Análise de Variância (ANOVA) dos efeitos das lâminas de irrigação sobre a produtividade de frutos acumulada ao longo do período experimental.

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio
Tratamentos	3	0,10*
Blocos	5	0,03
Resíduo	15	0,01
Coefficiente de Variação (%)		16,1

Nota: * indica significância estatística ($p < 0,05$).

A Tabela 1.8 apresenta os resultados obtidos após a realização do teste de comparação múltipla de médias Tukey.

Tabela 0.8 – Médias e desvio padrão para a produtividade média dos frutos acumulada e resultado do teste de Tukey.

Tratamento (% ETc)	Produtividade Média dos Frutos Acumulada (frutos/ha)
Sequeiro	33.291 (\pm 3.339) b
50	37.276 (\pm 5.494) ab
100	40.744 (\pm 5.777) a
125	43.994 (\pm 5.678) a

Nota: letras iguais indicam que não houve diferença estatística de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com o teste de Tukey, observa-se que os tratamentos irrigados foram superiores ao Sequeiro, dando ênfase às lâminas de 100% ETc e 125% ETc, diferindo do Sequeiro em torno de +22,39% e +32,14%, respectivamente.

Como visto anteriormente, a recuperação noturna do status hídrico das plantas irrigadas, evidenciada pelos valores superiores de potencial hídrico antemanhã, provavelmente conferiu às plantas maior capacidade de sustentar o desenvolvimento dos frutos durante o período de estiagem, resultando em menor abortamento e, consequentemente, maior produtividade de frutos acumulada em comparação ao tratamento sequeiro.

Considerando os resultados obtidos, Ollagnier e Ochs (1978) destacam a característica exigente do coqueiro em relação ao fornecimento de água para suprimento de suas necessidades, assim como abordam que a produção potencial da espécie somente será possível de ser atingida com uma disposição de lâminas de água equivalente ou superior à evapotranspiração máxima da cultura.

Análise de Produtividade da Água

A análise dos efeitos das lâminas de irrigação na produtividade da água, tanto em termos de produtividade de frutos (PAf) e produtividade da água (PAv) pode ser vista na ANOVA da tabela 1.9, a demonstra que houve efeito dos tratamentos apenas para a PAf.

Tabela 1.9 – Resumo da análise de variância para produtividade da água em termos de produção de frutos (PAf) e produção de água de coco (PAv) em um hectare de coqueiro-anão-verde em função das diferentes lâminas de irrigação

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	
		PAf	PAv
Tratamento	5	0,277*	0,01
Bloco	3	0,065	0,09
Resíduo	15	0,033	0,003
Coeficiente de Variação (%)		13,93	15,88

Nota: * indica significância estatística ($p < 0,05$).

A Tabela 1.10 apresenta os resultados obtidos após a realização do teste de comparação múltipla de médias Tukey.

Tabela 1.10 – Resumo do teste de Tukey para produtividade da água em termos de produção de frutos (PAf) e produção de água de coco (PAv) em um hectare de coqueiro-anão-verde em função das diferentes lâminas de irrigação.

Tratamentos (%ETc)	PAf (frutos/ha/mm)	PAv (L/ha/mm)
Sequeiro	1,62 ($\pm 0,29$) a	0,37 ($\pm 0,07$) a
50	1,34 ($\pm 0,19$) ab	0,39 ($\pm 0,08$) a
100	1,17 ($\pm 0,17$) b	0,36 ($\pm 0,07$) a
125	1,16 ($\pm 0,14$) b	0,36 ($\pm 0,06$) a

Nota: letras iguais indicam que não houve diferença estatística de acordo com o teste de Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com os resultados obtidos (Tabela 1.19), observa-se que a PAf apresentou diferenças significativas entre o tratamento Sequeiro e os tratamentos irrigados, com exceção da lâmina de 50% ETc, a qual não apresentou diferenças. Dentre os tratamentos, salienta-se ênfase às lâminas de irrigação equivalentes à 100% ETc e 125% ETc, as quais não diferiram entre si, promovendo resultados semelhantes na produtividade da água em termos da produtividade de frutos. Em contrapartida, a PAv não apresentou diferenças significativas para nenhum dos tratamentos, demonstrando a manutenção da produtividade da água em termos de produtividade de água de coco para os tratamentos irrigados.

Resultados semelhantes também foram obtidos por Azevedo et al. (2006), trabalhando com lâminas de irrigação crescentes de 50, 100 e 150 L/planta, em coqueiro-

anão-verde, o qual enfatiza que o suprimento de água por irrigação influencia mais em parâmetros de produção, principalmente no volume de água, do que na produtividade do uso da água (AZEVEDO et al., 2006).

Trabalhando com níveis de irrigação deficitária com base na ET_c, Silva (2020) avaliou que a produtividade da água em termos de frutos e água de coco diminuía à medida que a irrigação aumentava de 50% ET_c para 100% ET_c, e tal resultado ocorre em função do aumento do volume de água aplicada. Se tratando de outras frutíferas perenes, Leite et al. (2013), trabalhando com cajueiro-anão obteve redução na produtividade da água em termos da produção de frutos à medida que aumentava a lâmina de irrigação. O mesmo comportamento foi enfatizado por Tolk e Howell (2003), os quais abordam que a produtividade do uso da água decresce em função do aumento do volume de água aplicada por irrigação.

Em virtude do resultado exposto, observa-se que os valores de produtividade da água vão em sentido contrário ao obtido na literatura citada, a qual enfatiza que a produtividade da água possui tendência de queda à medida que há aumento da lâmina de irrigação. Observações realizadas por Hatfield et al. (2001) e Riaz et al. (2020) retratam que a produtividade do uso da água pode ser influenciada por diversos fatores que vão desde a morfologia da cultura, condições do solo, tratos culturais (adubação, controle fitossanitário, entre outros), assim como condições meteorológicas locais.

CONCLUSÃO

A aplicação de diferentes lâminas de irrigação demonstrou ser uma estratégia fundamental para otimizar os parâmetros produtivos do coqueiro-anão-verde em Santa Izabel do Pará. Os tratamentos irrigados, especialmente a lâmina de 125% da ET_c, foram consistentemente superiores ao manejo de sequeiro, resultando em frutos com maior massa, maior volume de água e um incremento de até 32,1% na produtividade de frutos por hectare. Embora a irrigação não tenha mitigado a queda do potencial hídrico foliar durante o dia no período menos chuvoso, ela foi crucial para a recuperação noturna do status hídrico das plantas. Conclui-se que a irrigação, ajustada pela evapotranspiração da cultura, é essencial para maximizar a produção e a qualidade dos frutos, garantindo a sustentabilidade do cultivo em regiões com sazonalidade de chuvas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, v. 56, 1998.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013
- ARIFIN, Z. The analysis of coconut market value chain. International Journal of Law Police and Governance, v.1, p.33-39, 2022.
- ATAIDE, W. L. S.; OLIVEIRA, F. A.; PINTO, C. A. D. Balanço de radiação, energia e fechamento do balanço em uma floresta prístina na Amazônia oriental. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 13, n. 6, p. 2603-2627, 2020.
- AZEVEDO, P. V. et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchard in northeast Brazil. Agricultural Water Management, v. 84, p. 259-264, 2006.
- BRUM, M. et al. Effects of irrigation on oil palm transpiration during ENSO-induced drought in the Brazilian Eastern Amazon. Agricultural Water Management, v.245, p.106569, 2021.
- BREUSCH, T. S.; PAGAN, A. R. A Simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. Econometrica, v. 47, p.1287-1294. 1979.
- CAMBOIM NETO; L. F. Coqueiro anão verde: influência de diferentes lâminas de irrigação e de porcentagens de área molhada no desenvolvimento, na produção e nos parâmetros físico-químicos do fruto. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.
- CARVALHO, E. O. T. et al. Net radiation partitioning, evapotranspiration, and crop coefficients on the green dwarf coconut in Santa Izabel do Pará, Brazilian Amazon Bragantia, v. 83, 2024.
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). Acta Amazônica, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CINTRA, F. L. D. et al. Efeitos de volumes de água de irrigação no regime hídrico de solo coeso dos tabuleiros e na produção do coqueiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 33, n. 4, 2009.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2018. Available on: <<https://www.agroapi.cnptia.embrapa.br/portal/assets/docs/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>>. Accessed on: May, 2025.

FAI, A. H.; CORNELIUS, P. L. Approximate F-tests of multiple degree of freedom hypotheses in generalized least squares analyses of unbalanced split-plot experiments. *Journal of Statistical Computation and Simulation*, v. 54, n. 4, p. 363-378, 1996.

FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 14/12/2024.

FERNANDES, G. S. T. et al. Meteorological conditions affect the seasonal development and yield of green dwarf coconut. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 54, 2024.

FITO, J.; VAN HULLE, S. W. Wastewater reclamation and reuse potentials in agriculture: towards environmental sustainability. *Environment, Development and Sustainability*, v.23, p.2949-2972, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00732-y>

FRIZZONE, J. A.; MELO, V. G. M. L. Produtividade da água na agricultura irrigada. In: PAOLINELLI, A. et al. Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: Técnica e Cultura. ESALQ/USP, Piracicaba-SP, v. 1, 1ed., p. 277-298, 2021.

GOMES DO Ó, L. M. Fisiologia e produção de plantas de coqueiro anão verde sob diferentes níveis de irrigação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza-CE, 2017.

GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, v. 19, n. 4, p. 377–391, 2007.

HATFIELD, J. L., et al. Managing soils to achieve greater water use efficiency: a review. *Agronomy J.* v. 93 n. 2, p.271–280, 2001

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Boletim Mensal No. 08 – 12 de Junho de 2024. Painei El Niño: 2023-2024, 2024.

IRHO-CIRAD. Coconut: water supply and drought tolerance. Oléagineux, v. 47, n. 6, p. 334- 337, 1992

KASTURIBAI, K. V.; VOLETI, S. R.; RAJAGOPAL, V. Water relations of coconut palms as influenced by environmental variables. Agricultural Forest Meteorology, v. 43, p. 193-199, 1988.

KATERJI, N.; HALLAIRE, M. Les grandeurs de référence utilisables dans l'étude de l'alimentation em eau des cultures. Agronomie, Paris, v. 4, n. 10, p. 999-1008, 1984.

KUZNETSOVA, A.; BROCKHOFF, P. B.; CHRISTENSEN, R. H. B. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. Journal of Statistical Software, v. 82, n. 13, p. 1-26, 2017.

LANGE, O.L.; LÖSCH, R.; SCHULZE, E.D.; KAPPEN, L. Responses of stomatato changes in. Planta, Heidelberg, v.100, p.76-86, 1971.

LEITE, K. N. et al. Economic analysis of cashew early dwarf crops BRS-189 depending on water levels and doses of potassium fertilization. Revista Engenharia Agrícola, v. 33, n. 4, p. 739-747, 2013.

LENTH, R. V. emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means. R package version 1.11.1, 2024.

MACHADO FILHO, J. A. et al. Variação sazonal das trocas gasosas em folhas de mamoeiro cultivado em condições de campo. Bragantia, v. 65, n. 2, p.185-196, 2006.

MAHESWARAPPA, H. P.; KRISHNAKUMAR, V. An overview on water management in coconut (*Cocos nucifera*). Indian Journal of Agronomy, v. 64, n. 4, pag. 431-439, 2019.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Editora UFV: Viçosa, 3ed., 2009. 355p.

MILLBURN, J. A.; ZIMMERMAN, M. H. Preliminary studies on sap flow in *Cocos nucifera* L. II. The hydraulic architecture of the palm. New Phytologist, v. 79, n. 3, p. 543-558, 1977.

- MIRANDA, F. R. et al. Comportamento reprodutivo e qualidade da água dos frutos de coqueiro-anão irrigado no Vale do Curu, Ceará. Embrapa Agroindústria Tropical, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 32, 2008. 28p
- MIRANDA, F. R. et al. Eficiência do uso da água na irrigação do coqueiro anão. Irriga, v. 24, n. 1, p. 109-124, 2019.
- MONTGOMERY, D. C. Design and Analysis of Experiments (10th ed.), 2019.
- NAINANAYAKE, A. D. et al. Effects of drip irrigation on canopy and soil temperature, leaf gas exchange, flowering and nut setting of mature coconut (*Cocos nucifera* L.). Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka, v. 36, n. 1, p. 33-40, 2008.
- NERY, M. K. M.; et al. The Application of Machine Learning to Model the Impacts of Extreme Climatic Events on the Productivity of Dwarf Green Coconut Trees in the Eastern Amazon. AgriEngineering, v.7, 2025.
- OHLER, J.G. Coconut tree of life. Plant Production and Protection Paper, v. 75, FAO, ROMA, 1984. 446p.
- OLLAGNIER, M.; OCHS, R. L'eau et le cocotier. Oléagineux, v. 33, n. 12, p. 609-615, 1978.
- PASSOS, C. D. et al. Comportamento fenológico do coqueiro anão verde nos tabuleiros costeiros de Sergipe. Revista Brasileira de Biociências, Porto Alegre, v. 5, p. 393-395, 2007.
- PASSOS, E. E. M. Ecofisiologia do coqueiro. In: FERREIRA, J. M. S., WARWICK, D. R. N.; SIQUEIRA, L. A. (Ed). A cultura do coqueiro no Brasil. Aracajú: EMBRAPA-CPATC, 1997b. p. 65-72.
- PASSOS, E. E. M. et al. Ecofisiologia. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. A cultura do coqueiro no Brasil. Brasília, Embrapa, p. 91-100, 2018.
- PASSOS, E. E. M.; PASSOS, C. D. & PRADO, C. H. B. Comportamento sazonal do potencial hídrico e das trocas gasosas de quatro variedades de coqueiro-anão. Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006, 19p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 18).

PASSOS, E. E. M.; PRADO, C. H. B. A.; LEAL, M. L. S. Condutância estomática, potencial hídrico foliar e emissão de folhas e inflorescências em três genótipos de coqueiroanão. *Agrotrópica*, v. 11, n. 3, p. 147-152, 1999.

PEÇANHA, A. L. Biometria, relações hídricas e trocas gasosas do coqueiro anão verde em função da compactação, lâmina de irrigação e classe de solo. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2007.

PEIRIS, T. S. G.; THATTIL, R. O. The study of climate effects on the nut yield of coconut using parsimonious models. *Experimental Agriculture*, v. 34, p. 189-206, 1998.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2023.

RAJAGOPAL, V. et al. Influence of irrigation on leaf water relations and dry matter production in coconut palms. *Irrigation Science*, v. 10, p. 73-81, 1989.

RAJAGOPAL, V., KASTURI BAI, K.V. Drought tolerance mechanism in coconut. *Burotrop Bull*, v.17, s.n, p. 21–22, 2002.

RAJAGOPAL, V., RAMADASAN, A., KASTURI BAI, K. V. AND BALASIMHA, D. Influence of irrigation on leaf water relations and dry matter production in coconut palms. *Irrigation Science* 10:73–81.1989.

REICH; P. B.; HINCKLEY, T. M. Influence of pre-dawn water potential and soil-to-leaf hydraulic conductance on maximum daily leaf diffusive conductance in two oak species. *Ecology*, New York, v. 3, p. 719-726, 1989.

RIAZ, F. et al. Alternative and Non-conventional soil and crop management strategies for increasing water use efficiency. *Plant and Vegetation Growth*, p. 323-338, 2020.

ROSA, M. F.; ABREU, F. A. P. Água de coco: métodos de conservação. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT/SEBRAE/CE, 2000. 40p. Documento 37.

ROUPSARD, O. et al. Partitioning energy and evapo-transpiration above and below a tropical palm canopy. *Agricultural Forest Meteorology*, v. 139, p. 252-268, 2006.

SARMENTO, C. A. Condutância estomática, transpiração e produtividade de plantas de coqueiro anão (*Cocos nucifera* L.) submetidas a diferentes níveis de irrigação. 2004. 49 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Fitotecnia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SEARLE, S. R.; SPEED, F. M.; MILLIKEN, G. A. Population marginal means in the linear model: An alternative to least squares means. *The American Statistician*, v. 34, n. 4, p. 216–221, 1980.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, P. C. M. Cultivo do coqueiro anão verde sob diferentes lâminas de irrigação e salinidade da água. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2006.

SHIVASHANKAR, S., KUSTURI BAI, K. V. AND RAJAGOPAL, V. Leaf water potential, stomatal resistance and activities of enzymes during the development of moisture stress in the coconut palm. *Tropical Agriculture*, Trinidad 68:106–110. 1991.

SILVA, J. B. Produção inicial do coqueiro anão verde sob diferentes lâminas e sistemas de irrigação. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, CE, 2020.

SCHOLLANDER, R. F.; HAMELL, H. T.; BRADSTREET, E. D. & HEMMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148: 339-346, 1965.

SIVAKUMAR, V.; et al. Correlation and path coefficient studies for fruit component traits in coconut (*Cocos nucifera* L.) hybrids. *Electronic Journal of Plant Breeding*, v.12, p.224-227, 2021.

SOUZA, I. F. et al. Estimativa da evapotranspiração do coqueiro irrigado pelo método do balanço hídrico no solo. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 14, n. 1, p. 33-42, 2006.

SOUZA, P. J. de O. P. de. et al. Diurnal Energy Balance in a Mango Orchard in the Northeast of Pará, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.33, n.3, p.537–546, 2018.

- SUBRAMANIAN, P. et al. Coconut (*Cocos nucifera* L.) In: THOMAS, G. V.; KRISHNAKUMAR, V. Soil Health Management for Plantation Crops: Recent Advances and New Paradigms. Springer Nature Singapore, p.37-109, 2024.
- SURENDRAN, U. et al. FAO CROPWAT Model-Based Irrigation Requirements for Coconut to Improve Crop and Water Productivity in Kerala, India, v. 11, n. 5132, 2019.
- TOLK, J. A., HOWELL, T. A. Water use efficiencies of grain sorghum grown in three USA southern Great Plains soils. Agric. Water Manage. v. 59, n. 2, p. 97–111, 2003.
- TUKEY, J. W. Comparing individual means in the Analysis of Variance. Biometrics, v. 5, n. 2, p. 99–114, 1949.
- YUSUF, M.; VARADAN, K.M. Water management studies on coconut in India. In: NAIR, M.K.; KLAN, H.H.; GOPALASUNDARAM, P.; BHASKAARARAO, E.V.V. Advances in coconut research and development. New Delhi: IBH, p.337-346. 1993.
- ZUUR, A. F. et al. Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Springer, 2009.

CAPÍTULO 2 – VIABILIDADE ECONÔMICA DO COQUEIRO-ANÃO-VERDE IRRIGADO SOB DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO

RESUMO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma palmeira frutífera perene de grande relevância socioeconômica global, devido à diversidade de produtos e subprodutos derivados. Considerando as particularidades edafoclimáticas locais, a região Norte destaca-se como um dos principais produtores, com o Pará ocupando a terceira posição na produção de coco-anão-verde, especialmente no Nordeste Paraense. Todavia, devido à sazonalidade de chuvas houve expansão da utilização de sistemas de irrigação em diversas espécies frutíferas, assim como surgiu o interesse de irrigar o coqueiro, dada a sensibilidade da cultura à escassez de água. Com base nisso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade econômica da produção do coqueiro-anão-verde sob influência de diferentes lâminas de irrigação. O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, no município de Santa Izabel do Pará (PA), nos anos de 2023 e 2024, com a aplicação de quatro lâminas de irrigação baseadas em frações da evapotranspiração do coqueiro (Sequeiro, 50%ETc, 100%ETc, 125%ETc). As plantas foram irrigadas diariamente durante o período menos chuvoso do ano por um sistema de microaspersão, com um emissor por planta e o número de frutos total produzido foi monitorado a cada 21 dias. Realizou-se uma análise econômica para verificar a viabilidade dos diferentes tratamentos, considerando um horizonte de planejamento de 12 anos de cultivo, com estimativas de custos, receitas, fluxos de caixa para um hectare de produção por tratamento. A análise de preços do fruto realizada entre 2014 e 2024 elucidou uma valorização no preço, apresentando uma tendência e estimativa de tendência de alta. A análise econômica indicou que todos os tratamentos possuem viabilidade, contudo os tratamentos irrigados se destacaram em virtude de apresentar maior Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Benefício/Custo para um mesmo tempo de payback. As análises de sensibilidade e de cenário demonstraram que os tratamentos irrigados possuem maior resiliência a riscos e incertezas associados à produção de frutos e ao aumento do custo de produção e investimentos, trazendo ênfase à lâmina de 125% ETc, o qual se destacou como mais expressivo e robusto a cenários pessimistas.

PALAVRAS-CHAVE: *Cocos nucifera*, valor presente líquido, custo-benefício, evapotranspiração de cultura

CHAPTER 2 – ECONOMIC VIABILITY OF THE DWARF COCONUT TREE IRRIGATED UNDER DIFFERENT IRRIGATION DEPTH

ABSTRACT

The coconut palm (*Cocos nucifera* L.) is a perennial fruit palm of great global socioeconomic importance due to the diversity of products and byproducts derived from it. Considering local edaphoclimatic peculiarities, the North region stands out as one of the main producers, with Pará ranking third in green dwarf coconut production, especially in the Northeast region of Pará. However, due to seasonal rainfall, there has been an expansion in the use of irrigation systems for several fruit species, as well as an interest in irrigating coconut palms, given the crop's sensitivity to water scarcity. Based on this, the present study aimed to evaluate the economic viability of green dwarf coconut production under the influence of different irrigation depths. The experiment was conducted at the Reunidas Sococo Farm in the municipality of Santa Izabel do Pará, Pará, in 2023 and 2024. Four irrigation depths were applied based on fractions of coconut evapotranspiration (rainy, 50% ETc, 100% ETc, and 125% ETc). The plants were irrigated daily during the less rainy season using a micro-sprinkler system, with one emitter per plant, and the total number of fruits produced was monitored every 21 days. An economic analysis was performed to verify the viability of the different treatments, considering a 12-year planning horizon of cultivation, with estimates of costs, revenues, and cash flows for one hectare of production per treatment. An analysis of coconut prices conducted between 2014 and 2024 revealed an appreciation in the price, presenting a trend and an estimated upward trend. The economic analysis indicated that all treatments are viable; however, irrigated treatments stood out due to their higher Net Present Value, Internal Rate of Return, and Benefit/Cost ratio for the same payback period. Sensitivity and scenario analyses demonstrated that irrigated treatments are more resilient to risks and uncertainties associated with fruit production and increased production and investment costs, highlighting the 125% ETc threshold, which stood out as the most significant and robust to pessimistic scenarios.

KEYWORDS: *Cocos nucifera*, net present value, cost-benefit, crop evapotranspiration

INTRODUÇÃO

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) é uma espécie de palmeira frutífera, pertencente à família Arecaceae, caracterizada por ser uma planta monocotiledônea, perene, com sistema radicular fasciculado e caule do tipo estipe, folhas pinadas, inflorescência paniculada, e o seu fruto, o coco, é classificado como drupa (PASSOS, 2018). Tipicamente tropical, o coqueiro concentra seu cultivo entre as latitudes 20°N e 20°S, ambientes estes que apresentam as condições meteorológicas favoráveis ao crescimento e desenvolvimento da espécie, podendo citar a temperatura do ar média anual em torno de 27°C, com oscilações entre 5 e 7°C; umidade relativa do ar média de 80%, assim como precipitação pluviométrica acima de 1.500 mm anuais (BENASSI; FANTON; SANTANA, 2013; PASSOS, 2018).

O coqueiro é caracterizado por ser uma cultura com elevada diversidade de utilização comercial e aliado à sua ampla abrangência de cultivo, se constitui como uma das atividades agrícolas mais importantes no âmbito socioeconômico e rentável, capaz de gerar um sistema autossustentável de exploração com a produção de diversas matérias-primas, como: óleos, cordas, fios, fibras, cerdas, biocombustíveis, madeira etc. (AZEVEDO et al., 2006; GOMES; PRADO, 2007; SOUSA et al., 2011).

Sendo uma cultura cultivada em mais de 90 países, dados da FAO demonstram que a Indonésia corresponde ao maior produtor mundial de coco, contando com mais de 17 milhões de toneladas do fruto no ano de 2022, seguido por Filipinas com 15 milhões, Índia com 13 milhões e Brasil, com cerca de 2,74 milhões (FAOSTAT, 2022). Dentro do cenário nacional, o estado do Ceará ocupa a liderança como maior estado produtor, totalizando cerca de 570 mil toneladas; em 2º lugar o estado da Bahia, com 341 mil toneladas, e em 3º o estado do Pará com 175 mil toneladas (IBGE, 2024).

O cultivo do coqueiro no estado do Pará tem destaque na região do Nordeste Paraense, a qual engloba 48 municípios e possui 67% de participação na produção total de coco, em especial de frutos do coqueiro-anão-verde. Sendo caracterizada por ser um local com subtipo climático “Am”, a região do Nordeste Paraense apresenta elevado volume de chuva, capaz de alcançar valores superiores a 2.000 mm anuais, porém de forma irregular, caracterizando um período chuvoso que ocorre em meados de dezembro ao final de junho, e um período menos chuvoso que vai de julho a meados de dezembro (SOUZA et al., 2013).

Com o advento do aumento do consumo e demanda mundial de água de coco, a produção do coqueiro-anão-verde no estado do Pará, em especial na região do Nordeste Paraense, sofreu um incremento de área cultivada, assim como houve aumentos de plantios irrigados como forma de mitigar o déficit hídrico imposto pelo período de estiagem, o qual é bastante prejudicial à cultura devido à maior sensibilidade da variedade anã (KUMAR et al., 2021; FERREIRA NETO et al., 2007). Desse modo, a utilização de técnicas de irrigação, em especial para o método localizado, se constitui como alternativa para mitigar prejuízos impostos pelo déficit de água no solo devido aos efeitos negativos impostos pelo clima (RADIN; SCHÖNHOFEN; TAZZO, 2018).

Dentre os tipos de manejo de irrigação, a irrigação baseada na evapotranspiração da cultura se constitui como uma ótima ferramenta de gestão hídrica, sendo útil para a realização de dimensionamentos agronômicos de projetos de irrigação, assim como facilitar a reposição do volume de água necessário para suprir a demanda hídrica das culturas de forma a manter o crescimento da planta e a continuidade da produção, evitando recursos e reduzir impactos ambientais (MOURA et al., 2012; BELAY et al., 2019; ALMEIDA et al., 2019; PAZOLINI, 2022).

Todavia, as práticas de irrigação realizadas em grande parte dos plantios de coqueiro-anão ainda ocorrem de forma bastante incipiente sobre dinâmica da água no solo e valores de evapotranspiração, fazendo com que haja desperdício de recursos hídricos e perdas econômicas (ALVARES et al., 2014; HOMMA et al., 2014). Em virtude de tais condições, e considerando a relevância socioeconômica da cultura do coqueiro-anão para a economia regional do estado do Pará surgem questão acerca da viabilidade econômica do uso da irrigação, assim como quanto irrigar para obter níveis de produção satisfatórios aliado ao retorno financeiro sem ocorrência de prejuízo. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade econômica do cultivo do coqueiro-anão-verde submetido a diferentes lâminas de irrigação em um plantio comercial de coqueiro-anão-verde- no município de Santa Izabel do Pará, Pará.

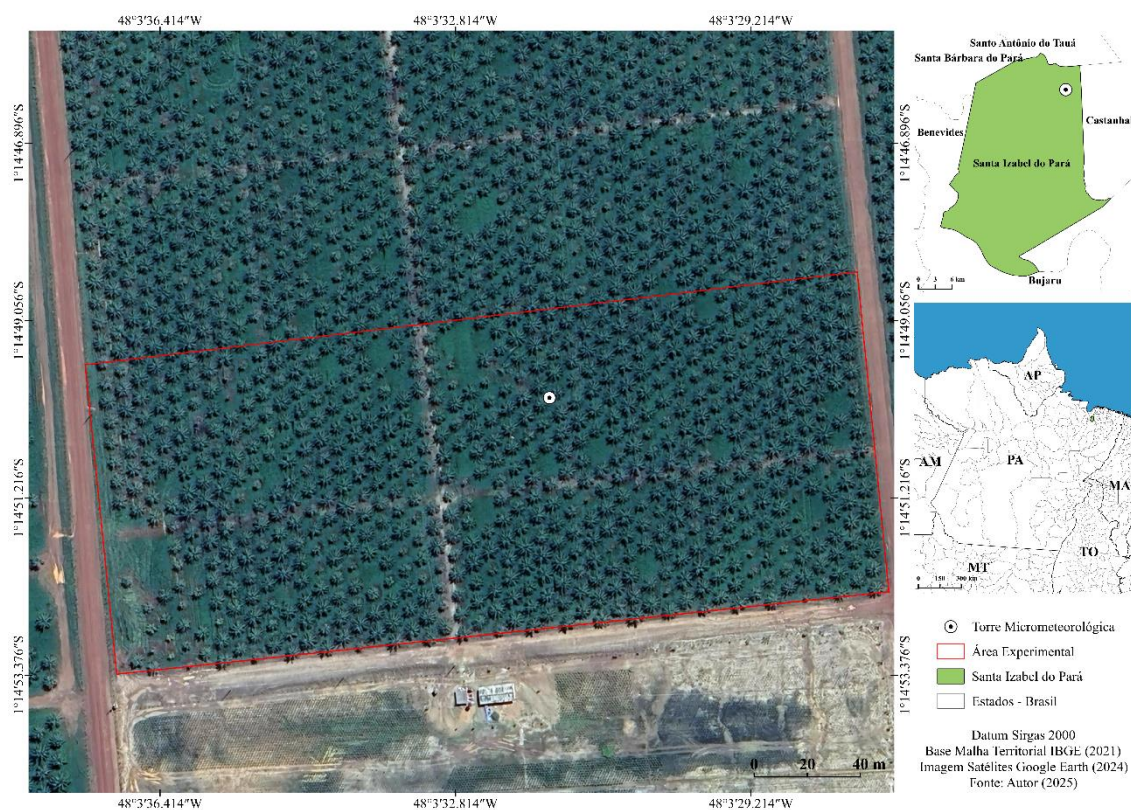
MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Reunidas Sococo, localizada no município de Santa Izabel do Pará (01°13'40,16"S 48°02'54,35"W), em um plantio

comercial de coqueiro-anão-verde, em uma área de aproximadamente 7 ha, no período de agosto de 2023 a dezembro de 2024 (Figura 1).

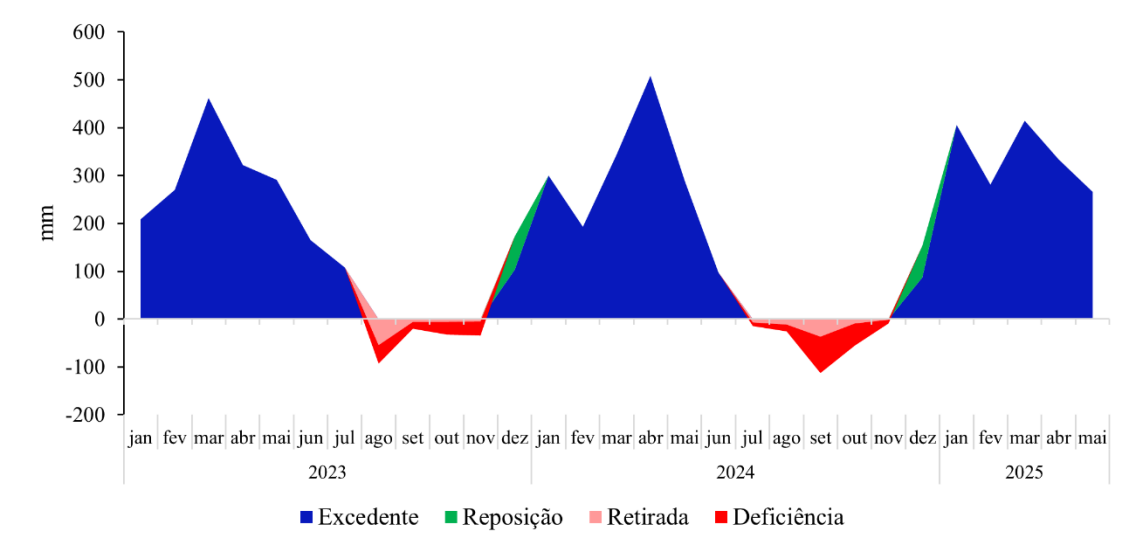
Figura 2.1 – Mapa de localização da área experimental



No início do experimento, as plantas da área apresentavam cerca de 7 anos de idade, com altura média de 7,30 m, área de copa equivalente a 45,16 m² e densidade de plantio de 205 plantas ha, com espaçamento adotado 7,5 m x 7,5 m x 7,5 m, em formato de triangulo equilátero. A cultivar utilizada correspondeu à anão-verde-do-brasil-de-jiqui (AveBrJ) e a área apresentava cobertura vegetal constituída pela espécie leguminosa herbácea perene *Pueraria phaseoloides*, vulgarmente conhecida como puerária, e que foi introduzida em conjunto com o coqueiral.

O clima da região é caracterizado como tropical úmido (subtipo climático “Am”), de acordo com a classificação climática de Koppen-Geiger, apresentando uma estação chuvosa que ocorre de dezembro a junho, e uma estação menos chuvosa de julho a novembro (Figura 2.2). De acordo com Alvares et al. (2013), a região apresenta uma temperatura média anual do ar de aproximadamente 26 °C, umidade relativa do ar em torno de 80% e precipitação pluviométrica anual acima de 2.000 mm.

Figura 2.2 – Balanço hídrico climatológico na Fazenda Reunidas Sococo de janeiro/2023 a maio/2025



O solo da área é classificado como Neossolo Quartzarênico de textura franco-arenosa (EMBRAPA, 2018) e suas características podem ser visualizadas na Tabela 1.

Tabela 2.1 – Caracterização físico-química e hídrica do solo da área experimental

Características	Profundidade (cm)	
	0-20	20-40
pH (CaCl ₂)	4,43	4,10
Matéria Orgânica (g.dm ³)	8,75	3,25
Carbono Orgânico (g.dm ³)	5,00	2,00
P (mg.dm ³)	111,92	7,05
Ca ⁺² (mmolc.dm ³)	10,70	4,00
Mg ⁺² (mmolc.dm ³)	5,50	2,30
K ⁺ (mmolc.dm ³)	2,10	0,90
H ⁺ + Al ⁺³ (mmolc.dm ³)	33,70	32,70
CTC (mmolc.dm ³)	52,50	40,10
Saturação por bases (%)	34,85	17,95
Saturação por Al (%)	6,48	31,76
Areia (%)	70,00	-
Silte (%)	12,00	-
Argila (%)	18,00	-
Capacidade decampo (m ³ .m ³)	0,195	-
Ponto de murcha permanente (m ³ .m ³)	0,098	-

O manejo nutricional das plantas era realizado duas vezes ao ano, com 3,3 kg da formulação NPK (10-07-20 + 1,0% de Mg + 5,5% de S + 3,5% de Ca e 0,10% de B + 0,11% de Mn). Durante o período experimental foram mantidos todos os procedimentos de manejo adotados pela empresa: capinas, controle de pragas e doenças.

Sistema e manejo de irrigação

A área experimental contou com um sistema de irrigação localizada do tipo microaspersão, com um emissor por planta, de característica autocompensante e vazão de 96 L h, posicionado a 1 m da base do estipe dos coqueiros e pressão de serviço de 3 bar. Foram realizados testes de uniformidade e eficiência de aplicação no sistema de irrigação, no qual foi constatado um coeficiente de uniformidade de 96%, assim como eficiência de aplicação de 86%, diâmetro molhado de 3 m.

O manejo de irrigação adotado para realização do experimento foi o via clima, de maneira diária, realizado com base na evapotranspiração de cultura (ET_c) (Equação 1.1), a qual era obtida através de dados de uma estação meteorológica instalada próximo à empresa, fazendo uso da equação parametrizada por Allen et al. (1998) (Equação 1.2), descrita no boletim N° 56 da FAO (Food and Agriculture Organization) de irrigação e drenagem, e em conjunto com o coeficiente de cultura (K_c) equivalente a 1.1 (CARVALHO, 2024). Em momentos de chuva, era descontado o valor da precipitação total da lâmina de irrigação calculada. O sistema de irrigação era ligado manualmente.

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Em que:

ET₀: evapotranspiração de referência (mm.d⁻¹) (Equação 2);

K_c: coeficiente de cultivo (adimensional).

$$ET_0 = \frac{0,408 \times \Delta \times (Rn - G) + \frac{\gamma \times 900 \times U_2 \times (es - ea)}{Tar + 273}}{\Delta + \gamma \times (1 + 0,34 \times U_2)} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Em que:

Δ: declividade da curva de pressão de vapor em relação à temperatura (kPa.°C⁻¹);

Rn: saldo de radiação diário (MJm².d⁻¹);

G: fluxo total diário de calor no solo (MJm².d⁻¹);

γ: coeficiente psicrométrico (kPa.°C⁻¹);

U₂: velocidade média do vento a 2 m de altura (m.s⁻¹);

es: pressão de saturação de vapor (kPa);

ea: pressão atual de vapor (kPa);

Tar: temperatura média do ar (°C).

A tensão da água do solo foi monitorada diariamente com auxílio de tensiômetros distribuídos na área experimental, instalados na profundidade de 0,3 m, há 1,2 m dos

troncos dos coqueiros e suas leituras eram realizadas no período da manhã (06:00 – 07:00), utilizando um tensímetro digital.

Delineamento experimental

O experimento foi delineado em blocos ao acaso (DBC), com 6 blocos (Figura 1.4) a fim de separar os efeitos provenientes do ambiente. Os tratamentos aplicados consistiram em diferentes lâminas de irrigação com base nas frações da ETc do coqueiro-anão-verde: Sequeiro, 50% ETc, 100% ETc e 125% ETc. As diferentes lâminas foram aleatorizadas em cada bloco da área experimental, e o número de frutos foi coletado em toda a área experimental.

Análise de preço

Os dados foram obtidos na plataforma “Preços agrícolas, da sociobio e da pesca” da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2025), a qual disponibiliza o preço nominal médio mensal do coco verde ao nível de produtor para o estado do Pará no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2024.

Realizou-se o deflacionamento dos preços utilizando o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) (IPEADATA, 2025) a fim de obter o preço real do coco verde (Equação 2.3), sendo os resultados obtidos utilizados posteriormente para permitir uma avaliação da valorização efetiva do produto.

$$Preço Real = \left(\frac{Valor\ Médio\ Mensal}{IGP - DI} \right) \times 100 \quad \text{Eq. 2.3}$$

Após o deflacionamento, foram obtidos o Índice Cíclico (IC) e o Índice Estacional de Preços (IEP) e, visando validar os padrões identificados, realizou-se uma análise de decomposição utilizando o método STL (Seasonal and Trend decomposition using Loess) (CLEVELAND et al., 1990), o qual serviu para comparar e verificar a consistência dos componentes de tendência e sazonalidade.

Análise Econômica

Para a análise econômica, será adotado um horizonte de planejamento de 12 anos de cultivo, considerando estimativas de custos, receitas e fluxo de caixa para cada

tratamento em uma área de 1 hectare. Os dados de produção e custos serão coletados durante os anos de 2023 e 2024, sendo utilizados nas avaliações correspondentes ao 7º e 8º anos de idade das plantas. Esse método é justificado pela observação de que essas culturas tendem a apresentar uma estabilidade produtiva nas idades analisadas. Os itens que compõem os custos de produção serão agrupados da seguinte forma:

- a) Irrigação: projeto de irrigação e energia elétrica;
- b) Implantação: mudas, limpeza do solo, calagem, abertura de covas e plantio;
- c) Manejo nutricional: adubos, calcário e os serviços operacionais de aplicação dos insumos;
- d) Tratos culturais: manejo de plantas daninhas, controle fitossanitário e podas;
- e) Colheita: sacarias, fios, recipientes plásticos e mão-de-obra;
- f) Outros custos: correspondendo a 1,5% do serviço técnico e 4,0% de taxas e impostos (CONAB, 2010).

O custo da lâmina de irrigação foi calculado pela soma do custo do projeto de irrigação e do consumo de energia elétrica necessário para a aplicação da lâmina. No projeto, foi considerado o valor de uma motobomba de 3 cv, além das tubulações hidráulicas essenciais para o funcionamento do sistema de irrigação. A depreciação do equipamento foi considerada ao longo de 20 anos, com uma taxa de manutenção do sistema fixada em 1% (CONAB, 2010). O uso do sistema foi estimado em 5 meses por ano, alinhando-se às condições climáticas que demandam irrigação.

O custo da energia elétrica foi estimado pela metodologia de Santos et al. (2001) (Eq. 2.5), a qual considera o tempo em que o sistema de irrigação ficou em funcionamento, para cada tratamento, e o preço da tarifa adotado foi o aplicado em imóveis rurais (0,74366 R\$/kWh) (EQUATORIAL, 2025).

$$CE = V \times T \times \frac{736 \times Pot}{1000 \times \eta} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Em que:

CE: custo de energia (US\$);

V: valor do kWh em US\$

T: tempo total de funcionamento do sistema de irrigação (h), variável para cada tratamento;

Pot: potência do conjunto motobomba (cv);

η: rendimento do conjunto motobomba (decimal).

O levantamento dos custos de produção será realizado conforme estrutura utilizada pelo Instituto de Economia Agrícola (MATSUNAGA et al., 1976). Neste método, obtém-se o Custo Operacional Total (COT), que é dado pela soma do Custo Operacional Efetivo (COE) mais o item “Outros custos” (referente ao grupo F (4.5%) sobre o valor do COE).

O fluxo de caixa anual (CF) será obtido a partir da diferença entre receitas e custos totais (COT) para cada tratamento, descontados a uma taxa de juros de 15% ao ano. As receitas serão estimadas a partir da multiplicação da produtividade pelo preço médio anual de venda do coco-verde (CONAB, 2025)

Para avaliação da viabilidade econômica serão estimados a partir do fluxo de caixa, com horizonte de planejamento de 12 anos, o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR), relação benefício-custo (B/C) e o ponto de nivelamento (PN).

O VPL (Eq. 2.6) de um projeto de investimento é obtido a partir da soma dos valores descontados do fluxo de caixa do empreendimento. A regra de decisão quanto à viabilidade econômica do projeto consiste em aceitá-lo se o $VPL > 0$. Esse resultado indica que a soma dos fluxos de caixa descontados supera o valor do investimento no ano inicial. Na comparação entre os múltiplos tratamentos avaliados, o melhor será aquele com maior VPL.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^N \frac{CF_t}{(1 + K)^t} \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Em que:

VPL : valor presente líquido;

CF : fluxo de caixa no t-ésimo período;

I : investimento inicial;

K : taxa de desconto ou custo do capital;

n : horizonte de planejamento ou vida útil.

A taxa interna de retorno (TIR) é a taxa de desconto que faz com que o valor atribuído a receitas futuras iguale o custo do investimento, isto é, a taxa que anula o valor atual do projeto. A TIR é um indicador importante para a tomada de decisão, pois permite inferir se a rentabilidade de um investimento é inferior, igual ou superior ao custo do

capital que será utilizado para financiar o empreendimento. Na comparação entre os tratamentos analisados, o melhor será aquele que exibir maior TIR (Eq. 2.7).

$$\sum_{t=0}^n \frac{CF_j}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (\text{Eq. 2.7})$$

Em que:

TIR: Taxa interna de retorno;

CF_j: Fluxo de caixa líquido no momento *i*;

n: horizonte de planejamento ou vida útil.

A relação B/C consiste em determinar a relação entre o valor descontado das receitas e o valor descontado dos custos totais (COT), ou seja, é quanto se espera obter de retorno econômico para cada unidade de capital investido, se a relação B/C for maior que 1 o projeto é considerado viável, resultados iguais a 1 são considerados de risco elevado e não são recomendáveis, se a relação B/C for menor que 1 o projeto não é viável e, portanto, não recomendável.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{b^t}{(1 + K)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Ct}{(1 + K)^t}} \quad (\text{Eq. 2.8})$$

Também será determinado o ponto de nivelamento para cada tratamento, com o objetivo de estimar os níveis mínimos de produtividade de cada sistema que permitem cobrir os custos totais (COT) de produção. Para este cálculo será considerada a divisão do custo total pelo preço médio dos produtos.

Análise de sensibilidade

Realizou-se análises de sensibilidade para todos os tratamentos, a qual consiste na avaliação dos resultados à medida que há alteração em alguma variável. Dessa forma, com base no exposto por Correia Neto (2009), foram selecionadas variáveis cujo comportamento seja incerto, sendo elas: produtividade de frutos por hectare e custos/investimentos a fim de verificar mudanças nos indicadores VPL e TIR. Considerou-se uma variação nas variáveis de -40% a 40%.

Análise de cenários

Realizou-se análises de cenários para todos os tratamentos, de modo a considerar variações simultâneas nas variáveis: produtividade de frutos por hectare e custos/investimentos. Foram simulados nove cenários, sendo eles descritos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Cenários e variáveis consideradas para realização da análise

Cenários	Produtividade (frutos/ha)	Custos/Investimentos (R\$)
Otimista 4	40%	-40%
Otimista 3	30%	-30%
Otimista 2	20%	-20%
Otimista 1	10%	-10%
Realista	0%	0%
Pessimista 1	-10%	10%
Pessimista 2	-20%	20%
Pessimista 3	-30%	30%
Pessimista 4	-40%	40%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise de preço

A Tabela 2.1 ilustra o preço médio mensal e anual do coco verde no período de janeiro de 2015 a dezembro de 2024. O preço mínimo ocorreu em maio de 2015, quando a unidade do coco verde custou R\$ 0,81 e o preço máximo em novembro de 2024, custando R\$ 3,60, com uma média de R\$ 1,37 para todo o período. De acordo com os dados da CONAB (CONAB, 2025), o preço nominal do coco verde apresentou uma alta de 197% no mês de dezembro de 2024, em relação a janeiro de 2015.

Tabela 2.3 – Preço médio (R\$) do coco-verde no estado do Pará, de janeiro de 2015 a dezembro de 2024.

Mês	Ano										Média Mensal
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	
Janeiro	1,01	1,20	1,35	1,15	1,30	1,20	1,83	1,96	1,50	2,34	1,48
Fevereiro	1,03	1,10	1,18	1,22	1,30	1,02	2,00	1,75	1,55	1,69	1,38
Março	0,99	1,13	1,00	1,10	1,23	1,42	2,00	1,27	1,70	1,68	1,35
Abril	0,85	1,00	0,97	1,16	1,00	1,28	1,80	1,23	1,25	1,82	1,24
Maio	0,81	1,02	0,95	1,00	1,12	1,50	1,60	1,15	2,00	1,76	1,29
Junho	0,82	0,99	1,00	1,06	1,05	1,27	1,64	1,22	1,50	2,14	1,27
Julho	0,83	1,11	1,03	1,21	1,00	1,13	1,74	1,20	1,97	2,83	1,41
Agosto	0,90	1,08	0,94	1,17	1,09	1,20	1,63	1,37	1,30	2,58	1,32
Setembro	0,91	1,06	0,98	1,19	0,97	1,42	1,40	1,18	1,06	2,33	1,25
Outubro	0,98	1,21	1,02	1,20	0,98	1,80	1,33	1,30	2,06	2,74	1,46
Novembro	1,05	1,24	1,04	1,20	1,01	1,60	1,20	1,38	1,72	3,60	1,50
Dezembro	1,11	1,03	1,00	1,30	1,10	1,83	1,35	1,67	1,79	3,00	1,52

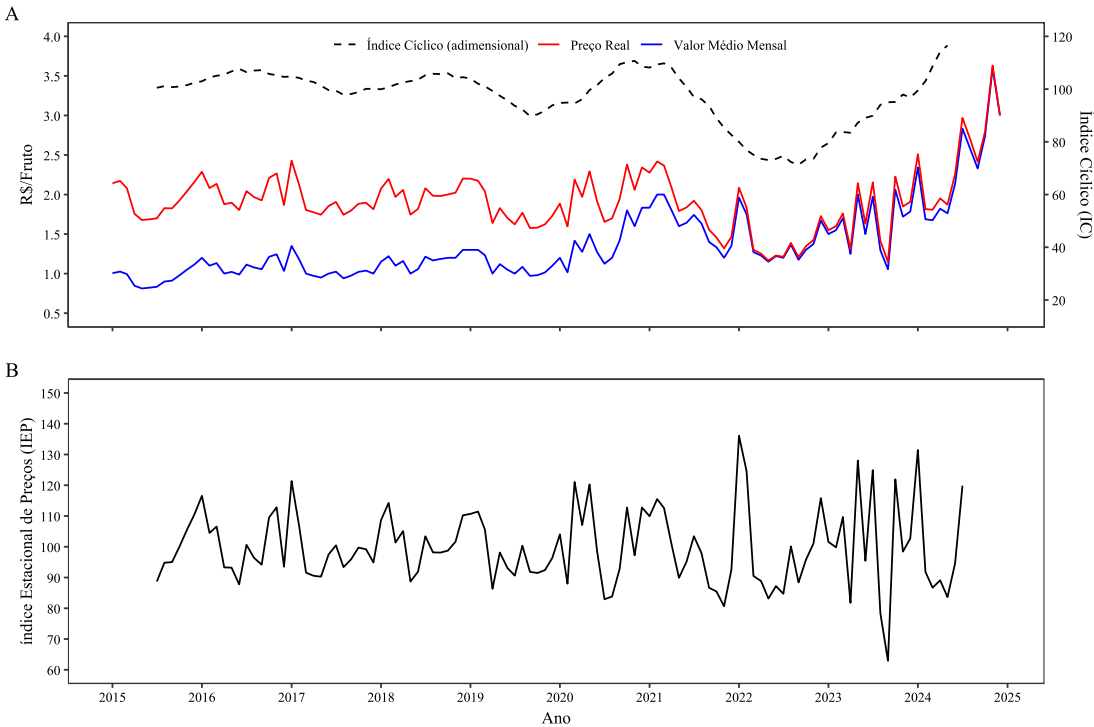
Média Anual	0,94	1,10	1,04	1,16	1,10	1,39	1,63	1,39	1,62	2,38	-
-------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

Fonte: CONAB, 2025

Na Figura 2.3, é possível visualizar o comportamento do preço real, valor médio mensal ao longo do tempo, demonstrando também o Índice Cíclico (IC) e o Índice Estacional de Preços (IEP) para o coco verde no estado do Pará. De acordo com os dados de preço, observa-se uma tendência de valorização do coco verde ao longo dos anos, a qual se acentua a partir de 2022 (Figura 2.3A). O Índice Cíclico ilustra a fases de expansão e contração do mercado, em que é possível observar uma fase de queda de preços entre 2022 e 2023, seguido por uma ascensão e patamar recorde de valor. Por fim, a Figura 2.3B demonstra a ocorrência da sazonalidade nos preços por meio do IEP, o qual demonstra haver um impacto significativo da época do ano, independente do ciclo do mercado ou tendência geral de preços.

Dessa forma, observa-se uma elevação no preço de venda majoritariamente próximo do final dos anos, em virtude da baixa produção devido aos impactos do déficit de chuvas e aumento da demanda do mercado, seguido por uma posterior diminuição dos preços, podendo ser explicada pela retomada das chuvas e aumento da produção.

Figura 2.3 – A: preço real, valor médio mensal e índice cíclico para frutos de coco verde no estado do Pará entre janeiro de 2015 a dezembro de 2024; B: índice estacional de preços do coco verde no estado do Pará entre janeiro de 2015 a dezembro de 2024.

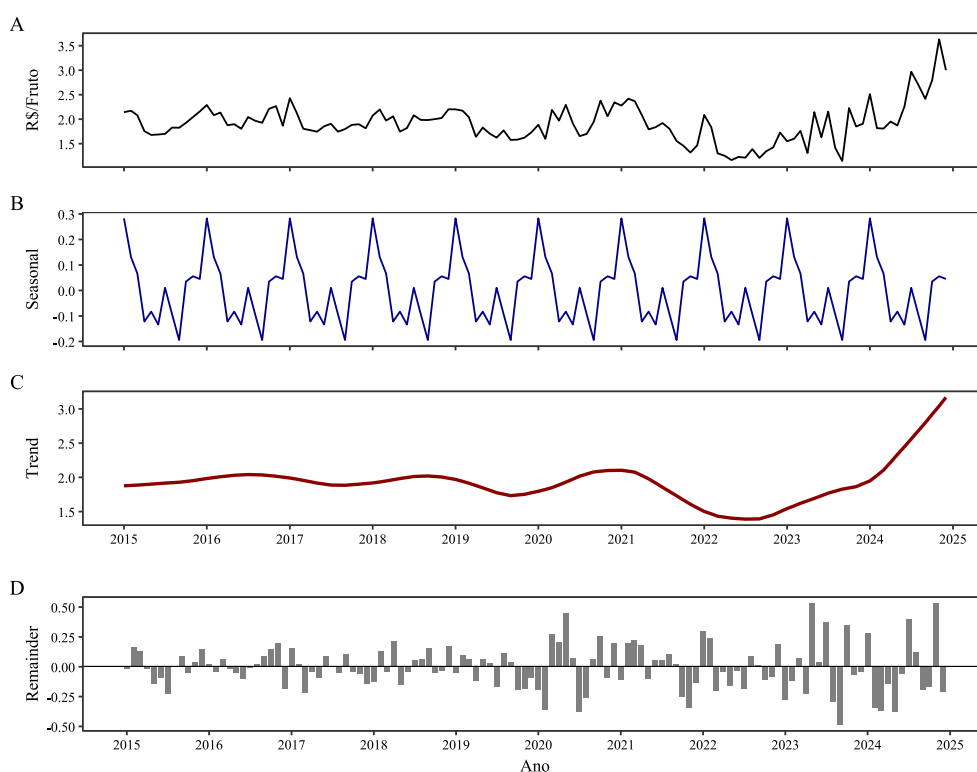


A Figura 2.4 confirma de maneira estatística o que foi abordado na Figura 2.3, em que é possível observar o preço real (Figura 2.4A), o padrão de sazonalidade anual (Figura 2.4B), a tendência do preço ao longo do tempo (Figura 2.4C) e a variação residual não explicada (Figura 2.4D).

De acordo com a Figura 2.4B, o preço médio do coco apresenta ritmo anual e previsível, confirmando a ocorrência da sazonalidade, em que os picos podem representar o período de queda de produção devido a fatores climáticos e os valores representam o período de safra da cultura, em que há disponibilidade hídrica ideal e aumento da produção.

A tendência de preços é confirmada na Figura 2.4C, em que o preço é disposto de maneira suave, sem flutuações sazonais e livre de ruídos aleatórios. Observa-se que o período entre 2015 e 2021 há uma certa estabilidade, apresentando ondas cíclicas de médio prazo, seguido por uma queda a partir de 2021 e posterior reversão para tendência de alta em 2022, entrando em uma fase de valorização do produto, a qual ocorre majoritariamente em virtude do aumento da demanda por água de coco.

Figura 2.4 – Decomposição STL do preço real do coco verde para verificação da consistência dos componentes de tendência e sazonalidade. A: preço real do coco verde (R\$/fruto); B: padrão de sazonalidade anual; C: tendência do preço a longo prazo; D: resíduo ou variações não explicadas pela tendência e sazonalidade.



Análise econômica

A Tabela 2.4 ilustra os dados de Custo Operacional Total (COT) obtidos para um hectare de coqueiro-anão-verde, desde o momento da implantação até o final do experimento. Observa-se a elevação da COT nos anos 7 e 8 de produção, o qual é explicado em virtude do início da irrigação e somatório dos custos com projeto, instalação e energia elétrica.

Tabela 2.4 – Custo Operacional Total (COT) de um ha de coqueiro-anão-verde

Ano	R\$ ha
0	15073.52
1	14154.90
2	6233.56
3	7753.56
4	8673.56
5	9453.56
6	9453.56
7 (2023 ^{1;2})	
<i>Sequeiro</i>	9453.56
<i>50% ETc</i>	21.668,22
<i>100% ETc</i>	21.736,83
<i>125% ETc</i>	21.780,15
A partir do 8 (2024 ¹⁺)	
<i>Sequeiro</i>	9453.56
<i>50% ETc</i>	10.219,46
<i>100% ETc</i>	10.339,13
<i>125% ETc</i>	10.399,31

Notas: ¹Anos experimentais com os tratamentos de irrigação; ²Adicionou-se os custos de implementação da irrigação ao ano de 2023, equivalente a R\$ 11.000,00.

A Tabela 2.5 apresenta a produtividade, o preço de venda unitário do coco verde e a receita bruta obtida com a comercialização do produto. É possível observar que os tratamentos irrigados apresentaram maior produtividade de frutos nos anos experimentais, seguido de maior receita bruta.

Tabela 2.5 – Produtividade, preço de venda unitário e receita bruta

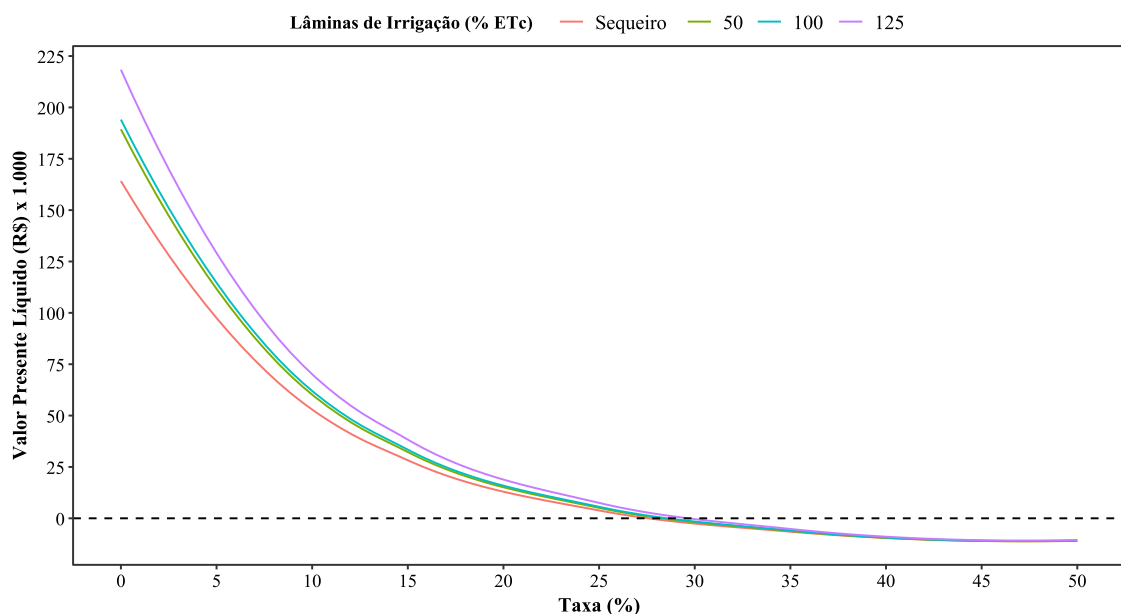
Ano	Produtividade (frutos/ha)	Preço de Venda Unitário (R\$)	Receita Bruta (R\$/ha)
0 e 1	-	-	0,00
2	10.946,93	1,16	12.698,44
3	14.895,00	1,10	16.384,50

4	19.946,12	1,39	27.725,11
5	22.381,12	1,63	36.481,23
6	24.108,07	1,39	33.510,22
7 (2023 ¹)			
<i>Sequeiro</i>	14.602,51	1,62	23.656,07
<i>50% ETc</i>	14.299,28	1,62	23.164,83
<i>100% ETc</i>	15.969,17	1,62	25.870,06
<i>125% ETc</i>	16.199,80	1,62	26.243,68
A partir do 8 (2024 ¹)			
<i>Sequeiro</i>	15.191,35	2,38	36.155,41
<i>50% ETc</i>	19.496,53	2,38	46.401,74
<i>100% ETc</i>	19.765,59	2,38	47.042,10
<i>125% ETc</i>	22.310,83	2,38	53.099,78

Notas: ¹Anos experimentais completos com os tratamentos de irrigação.

Com base nos dados compilados, traçou-se o perfil do VPL para todos os tratamentos (Figura 2.5) (Tabela 2.6). Diante dos dados, todos os tratamentos se mostraram viáveis, considerando uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA) equivalente a 15%, contudo o tratamento de lâmina de irrigação de 125% ETc apresentou a maior TIR, demonstrando ser o mais rentável.

Figura 2.5 – Perfil do Valor Presente Líquido (VPL) para diversas taxas de acordo com a lâmina de irrigação (% ETc)



Na Tabela 2.6 estão descritos os indicadores econômicos calculados para cada tratamento de irrigação. Como já demonstrado anteriormente, o tratamento equivalente a

125% ETc apresentou maior VPL e TIR, confirmando ser o mais rentável em comparação aos outros. Todos os tratamentos apresentaram payback simples e payback descontado equivalente a 6,3 e 7,6 anos, respectivamente e a relação benefício/custo foi maior para a lâmina de 125% ETc, a qual é capaz de proporcionar um lucro de R\$ 0,63 a cada R\$ 1,00 investido.

Tabela 2.6 – Indicadores Econômicos

Indicador	Lâminas de Irrigação (% ETc)			
	Sequeiro	50	100	125
VPL (R\$) ¹	28.709,51	32.791,62	33.963,68	38.924,46
TIR (%)	28,03	28,79	29,12	30,23
Payback Simples (anos)	6,3	6,3	6,3	6,3
Payback Descontado (anos)	7,6	7,6	7,6	7,6
Relação B/C	1,50	1,53	1,55	1,63

Nota: ¹Considerando a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) equivalente a 15%.

Análise de sensibilidade

A Tabela 2.7 ilustra os resultados da análise de sensibilidade para as variáveis produtividade de frutos por hectare e custos/investimentos, influenciando na VPL e TIR do empreendimento. Considerando uma TMA equivalente a 15%, observa-se que, para todos os tratamentos, uma variação de -40% na produtividade tornaria o empreendimento inviável, todavia mesmo com uma elevação de até 40% nos custos e investimentos, o projeto ainda se manteria viável.

A análise de sensibilidade revela que uma queda de 40% na produtividade torna o empreendimento inviável para todos os tratamentos. Notavelmente, o tratamento sequeiro é o mais vulnerável a essa queda, uma vez que está totalmente exposto aos riscos de um período de estiagem extenso, como o ocorrido sob influência do El Niño. Em contraste, a irrigação, ao estabilizar e aumentar a produção, atua como uma ferramenta de mitigação de risco, garantindo a resiliência econômica do cultivo, como visto na superioridade do tratamento de 125% ETc em cenários pessimistas.

Dessa forma, a análise de sensibilidade é capaz de demonstrar que o maior fator de risco e incerteza do empreendimento corresponde à variação da produtividade, podendo inferir que a rentabilidade é mais variável a mudanças no rendimento da lavoura do que variações drásticas no orçamento de produção.

Tabela 2.7 – Análise de sensibilidade para VPL e TIR em decorrência de variações na produtividade de frutos por hectare e custos/investimentos

Tratamento (% ETc)	Variação (%)	Produtividade (frutos/ha)		Custos e Investimentos (R\$)	
		VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)
Sequeiro	-40%	-5872.47	11,45	51807.69	45.22
	-30%	2773.03	16,53	46033.14	39.86
	-20%	11418.52	20,84	40258.60	35.35
	-10%	20064.02	24,63	34484.06	31.46
	0%	28709.51	28,03	28709.51	28.03
	+10%	37355.01	31,13	22934.97	24.95
	+20%	46000.50	33,99	17160.42	22.15
	+30%	54646.00	36,66	11385.88	19.58
	+40%	63291.49	39,17	5611.34	17.19
50	-40%	-5060.70	12,15	57527.29	45.92
	-30%	4402.38	17,26	51343.37	40.59
	-20%	13865.46	21,59	45159.45	36.10
	-10%	23328.54	25,39	38975.54	32.22
	0%	32791.62	28,79	32791.62	28.79
	+10%	42254.70	31,89	26607.70	25.71
	+20%	51717.78	34,75	20423.78	22.91
	+30%	61180.86	37,41	14239.86	20.32
	+40%	70643.94	39,91	8055.94	17.92
100	-40%	-4404.12	12,55	58746.01	46.20
	-30%	5187.83	17,63	52550.42	40.88
	-20%	14779.78	21,95	46354.84	36.41
	-10%	24371.73	25,73	40159.26	32.54
	0%	33963.68	29,12	33963.68	29.12
	+10%	43555.63	32,21	27768.10	26.05
	+20%	53147.58	35,06	21572.52	23.26
	+30%	62739.53	37,71	15376.94	20.68
	+40%	72331.48	40,20	9181.36	18.29
125	-40%	-1452.30	14,25	63731.44	46.97
	-30%	8641.89	19,11	57529.70	41.75
	-20%	18736.08	23,26	51327.95	37.35
	-10%	28830.27	26,93	45126.21	33.57
	0%	38924.46	30,23	38924.46	30.23
	+10%	49018.65	33,25	32722.72	27.25
	+20%	59112.84	36,03	26520.97	24.54
	+30%	69207.04	38,63	20319.23	22.04
	+40%	79301.23	41,08	14117.48	19.74

Análise de cenários

Analisando diversos cenários, tanto pessimistas como otimistas para o empreendimento, percebe-se, segundo a Tabela 2.8, que os tratamentos irrigados possuem resiliência em cenários em que haja diminuição de até 20% da produtividade e aumento de 20% dos custos, mantendo a TIR acima da TMA estabelecida, trazendo destaque ao tratamento equivalente a 125% ETc. Observa-se que o tratamento Sequeiro deixa de ser economicamente viável no cenário Pessimista 2, em virtude da diminuição da produção e aumento dos custos, enquanto os tratamentos irrigados apresentam inviabilidade apenas a partir do cenário Pessimista 3.

Tabela 2.8 – Análise de diferentes cenários para os tratamentos irrigados

Cenários	Produtividade	Custos e Investimentos	Tratamentos (% ETc)							
			Sequeiro		50		100		125	
			VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)
Otimista 4	40%	-40%	86.389,67	57,66	95.379,61	58,27	97.113,80	58,52	10.4108,21	59,12
Otimista 3	30%	-30%	71.969,63	49,10	79.732,61	49,78	81.326,27	50,04	87.812,27	50,76
Otimista 2	20%	-20%	57.549,59	41,54	64.085,61	42,26	65.538,74	42,55	71.516,33	43,38
Otimista 1	10%	-10%	43.129,55	34,60	48.438,62	35,35	49.751,21	35,66	55.220,40	36,63
Realista	0%	0%	28.709,51	28,03	32.791,62	28,79	33.963,68	29,12	38.924,46	30,23
Pessimista 1	-10%	10%	14.289,47	21,56	17.144,62	22,32	18.176,15	22,67	22.628,53	23,96
Pessimista 2	-20%	20%	-130,57	14,94	1.497,62	15,66	2.388,62	16,04	6.332,59	17,58
Pessimista 3	-30%	30%	-14.550,60	7,75	-14.149,38	8,43	-13.398,91	8,85	-9.963,34	10,74
Pessimista 4	-40%	40%	-28.970,64	-0,79	-29.796,38	-0,11	-29.186,44	0,37	-26.259,28	2,90

CONCLUSÃO

A análise econômica da produção do coqueiro-anão-verde sob diferentes lâminas de irrigação aponta viabilidade econômica para todos os sistemas estudados. Apesar da implementação da irrigação elevar os custos de produção, a estratégia potencializa a rentabilidade do cultivo de forma expressiva em comparação ao cultivo de sequeiro. O uso da irrigação confere maior resiliência e segurança econômica ao empreendimento, diminuindo riscos associados às incertezas de produção, podendo citar a sazonalidade das chuvas e o déficit hídrico imposto pelo clima. Deve-se enfatizar que a lâmina de 125% ETc foi o mais expressivo, tornando o empreendimento mais robusto a cenários pessimistas.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines of computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper, v. 56, 1998.
- ALMEIDA, M. J. de. et al. Reposição deficitária de água e adubação com organomineral no crescimento e produção de tomateiro industrial. IRRIGA, v. 24, n. 1, p. 69–85, 2019.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, [s. l.], v. 22, n. 6, p. 711–728, 2014.
- AZEVEDO, P. V.; et al. Water-use efficiency of dwarf-green coconut (*Cocos nucifera* L.) orchards in northeast Brazil. Agricultural Water Management, v.84, p.259-264, 2006.
- BELAY, S. A. et al. Conservation agriculture saves irrigation water in the dry monsoon phase in the Ethiopian Highlands. Water, v. 11, n. 10, p. 2103, 2019.
- BENASSI, A. C.; FANTON, C. J.; SANTANA, E. N. O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção. Vitória-ES, Incaper, 2013. 120p
- CARVALHO, E. O. T. et al. Net radiation partitioning, evapotranspiration, and crop coefficients on the green dwarf coconut in Santa Izabel do Pará, Brazilian Amazon, Bragantia, v. 83, 2024.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Data. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#home>. Acesso em: 14/12/2024.
- CONAB. Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB. Brasília: CONAB, 2010.
- GOMES, F. P.; PRADO, C. H. B. A. Ecophysiology of coconut palm under water stress. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 19, n. 4, p. 377–391, 2007.
- HOMMA, A. K. O.; NOGUEIRA, O. L.; DE MENEZES, A. J. E. A.; DE CARVALHO, J. E. U.; NICOLI, C. M. L. Açaí: novos desafios e tendências. Extrativismo Vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação. p.468, 2014. Brasília: Embrapa

IBGE. Censo Agropecuário. 2022. Disponível em: Acesso em: 08 ago. 2024.

KUMAR, M. et al. Nutritional and metabolomics characterization of the coconut water at different nut developmental stages. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 96, p. 103738, 2021.

MATSUNAGA, M.; BEMELMANS, P. F.; TOLEDO, P. E. N. DE; et al. Metodologia de custo de produção utilizada pelo IEA. *Agricultura em São Paulo*, v. 23, p. 123–139, 1976.

MOURA, A. R. C. et al. Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco – Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

PASSOS, E. E. M. et al. Ecofisiologia. In: FERREIRA, J. M. S.; WARWICK, D. R. N. & SIQUEIRA, L. A., 3. ed. *A cultura do coqueiro no Brasil*. Brasília, Embrapa, 2018. p.91-100.

PAZOLINI, P. V. D. Manejo da irrigação do café conilon com o uso de planilha eletrônica. 2022.

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. *Agrometeoros*, v. 25, n. 1, p. 19–26, 2018.

SANTOS, C. Irrigação da cafeicultura no cerrado. Uberlândia: UFU, 2001.

SOUSA, I. F. et al. Lisímetro de pesagem de grande porte. parte II: consumo hídrico do coqueiro anão verde irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.526–532, 2011.

SOUZA, R. O. R. de M.; PANTOJA, A. V.; AMARAL, M. A. C. M.; PEREIRA NETO, J. A. Cenário da agricultura irrigada no Estado do Pará. *Irriga*, v. 17, n. 2, p. 177-188, abr./jun. 2012.