



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

HELLEN KARINE GOMES MOREIRA

**SUSTENTABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE CULTIVOS IRRIGADOS NO
PROJETO DE IRRIGAÇÃO CURU PENTECOSTE, CE.**

FORTALEZA
2026

HELLEN KARINE GOMES MOREIRA

SUSTENTABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE CULTIVOS IRRIGADOS NO
PROJETO DE IRRIGAÇÃO CURU PENTECOSTE, CE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.

FORTALEZA
2026

HELLEN KARINE GOMES MOREIRA

SUSTENTABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DE CULTIVOS IRRIGADOS NO
PROJETO DE IRRIGAÇÃO CURU PENTECOSTE, CE.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Mestra em Engenharia Agrícola. Área de concentração: Irrigação e Drenagem.

Aprovada em 27/01/2026

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa (Orientador)
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dr. Rubens Sonsol Gondim
Embrapa - Agroindústria Tropical

Profa. Dra. Kenya Gonçalves Nunes
Universidade Estadual Vale do Acaraú - UVA

A Deus e a Nossa Senhora. *In memoriam* aos meus avós, **Mário Gomes e Maria do Rosário da Silva.**

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança ao longo de toda esta trajetória, sustentando-me nos momentos de dificuldade e permitindo a conclusão desta etapa tão significativa. À Nossa Senhora, pela proteção constante, pelo amparo espiritual e pela intercessão nos momentos em que a fé se tornou essencial para seguir adiante. À minha família, pelo apoio incondicional, principalmente aos meus pais Lúcio Flávio e Maria das Dores e meus padrinhos Sebastião e Ana, pela compreensão diante das ausências e pelo incentivo permanente, que foram fundamentais para que eu pudesse enfrentar os desafios inerentes à vida acadêmica e pessoal durante o desenvolvimento desta dissertação.

Ao meu amigo Paulo Marcelo, pelo companheirismo, pelas conversas, pelos momentos de descontração e, sobretudo, pelo suporte emocional oferecido nos períodos mais desafiadores e por ter me apresentado meus amigos da REU (que não moram mais na REU), LAMAI e do Vôlei. Aos meus amigos da Hidráulica por todo o café oferecido e por todas as risadas. Obrigado a todos vocês por acreditarem em mim, mesmo quando eu não acreditei e por tornarem essa experiência mais leve e significativa.

Ao Dr. Arnaldo Sales e Dr. Almiro Medeiros, pela convivência acadêmica, pelas trocas de conhecimento e pelo apoio ao longo do desenvolvimento deste trabalho. Suas contribuições, diretas ou indiretas, foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e profissional. E a todo grupo de funcionários da FEVC, que sem seu apoio essa pesquisa não seria possível.

Ao meu orientador, Raimundo Nonato Távora Costa, pelo trabalho excepcional desenvolvido ao longo desta pesquisa. Mais do que orientador, foi amigo e mentor, exercendo papel fundamental em minha formação acadêmica e pessoal, sempre com dedicação, paciência e incentivo, contribuindo de forma decisiva para a conclusão deste trabalho. À banca examinadora, composta pela Profa. Dra. Kenya Gonçalves Nunes e Dr. Rubens Sonsol Gondim pela disponibilidade, pelas contribuições e pelas valiosas considerações que certamente enriqueceram esta dissertação.

Ao Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Agricultura Sustentável no Semiárido Tropical (INCTAgriS) e ao Programa Cientista-Chefe em Agricultura pela concessão de bolsas de inovação e pelo suporte financeiro para a realização da pesquisa. À Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Funcap), pelo apoio financeiro com a concessão da bolsa de estudos. À Universidade Federal do Ceará (UFC), que me proporcionou a oportunidade de realização do Mestrado em Engenharia Agrícola. Aos

docentes do Programa de Pós-Graduação pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas cursadas.

“STILL I RISE”
Maya Angelou

RESUMO

O estudo foi conduzido no Projeto de Irrigação Curu Pentecoste (PICP), Estado do Ceará, com o objetivo geral de avaliar sob as perspectivas técnica e econômica, a sustentabilidade dos principais cultivos irrigados desenvolvidos na área. Os objetivos específicos foram: analisar o indicador Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI); avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação; analisar a qualidade da água de poços rasos para fins de irrigação e avaliar indicadores socioeconômicos associados aos principais cultivos irrigados. Para o cálculo do FRI, coletaram-se mensalmente dados referentes ao volume de água fornecido por meio de hidrômetros instalados nas cabeceiras das áreas, bem como a demanda hídrica das culturas. A avaliação dos sistemas de irrigação foi realizada a partir dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), de uniformidade estatística (CUE) e de uniformidade de distribuição (CUD). A análise técnico-econômica baseou-se nos dados de produção anual dos agricultores irrigantes, considerando custos fixos e variáveis, o que possibilitou o cálculo do Valor Agregado (VA), da Renda do Agricultor (RA) e do Nível de Reprodução Social (NRS). O FRI indicou excesso de água aplicada em todas as áreas analisadas, diretamente relacionado às práticas de irrigação adotadas pelos irrigantes, potencializadas pela falta de apoio técnico e do processo de mudança do sistema de irrigação por sulcos para sistema de irrigação localizada tipo microaspersão. Os sistemas de irrigação apresentaram desempenho técnico satisfatório quanto à uniformidade, mas foram observados problemas relacionados à operação. A produtividade da água de irrigação foi superior quando a produção foi destinada à comercialização da água de coco por meio de contrato. A qualidade da água de irrigação indica condições adequadas para uso agrícola, sem restrições relacionadas a riscos de salinidade ou sodicidade dos solos. Os indicadores socioeconômicos demonstraram que os cenários com financiamento apresentaram desempenho superior aos cenários sem financiamento.

Palavras-chave: água subterrânea; fruticultura irrigada; indicadores sociais, econômicos e ambientais.

ABSTRACT

The study was conducted in the Curu Pentecoste Irrigation Project (PICP), located in the state of Ceará, Brazil, with the overall objective of assessing the sustainability of the main irrigated crops developed in the area from both technical and economic perspectives. The specific objectives were to analyze the Relative Irrigation Supply (RIS) indicator; evaluate the performance of irrigation systems; assess the quality of shallow well water for irrigation purposes; and analyze socioeconomic indicators associated with the main irrigated crops. For the calculation of RIS, monthly data were collected on the volume of water supplied through flow meters installed at the headworks of the areas, as well as on crop water demand. The evaluation of irrigation systems was carried out based on the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), the Statistical Uniformity Coefficient (SUC), and the Distribution Uniformity Coefficient (DUC). The technical and economic analysis was based on annual production data from irrigating farmers, considering fixed and variable costs, which enabled the calculation of Added Value (AV), Farmers' Income (FI), and the Social Reproduction Level (SRL). The RIS indicated an excess of applied water in all analyzed areas, directly related to the irrigation practices adopted by farmers, exacerbated by the lack of technical assistance and by the ongoing transition from furrow irrigation systems to localized irrigation systems, specifically micro-sprinkler irrigation. The irrigation systems showed satisfactory technical performance in terms of uniformity; however, operational problems were identified. Irrigation water productivity was higher when production was intended for the commercialization of coconut water through contractual arrangements. Irrigation water quality indicated suitable conditions for agricultural use, with no restrictions related to soil salinity or sodicity risks. Socioeconomic indicators demonstrated that scenarios with financing exhibited superior performance compared to scenarios without financing.

Keywords: groundwater; irrigated fruit production; social, economic, and environmental indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Desempenho produtivo da variedade de coqueiro anão de três irrigantes do PICP, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D), respectivamente, avaliadas no período de 2024 a 2025.....	50
Figura 2 – Valor agregado anual para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento para pequeno produtor (venda da água de coco e da unidade de coco), referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D).....	55
Figura 3 – Valor agregado anual para a banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico D1), B (Setor hidráulico D2) e C (Setor hidráulico D3)..	56
Figura 4 – Renda do agricultor na produção de coqueiro anão com e sem financiamento, 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D).....	60
Figura 5 – Renda do agricultor na produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, 1,0 ha, A (Setor hidráulico D1), B (Setor hidráulico D2) e C (Setor hidráulico D3).....	61
Figura 6 – Análise de sensibilidade do valor agregado para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento para pequeno produtor, referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D).....	65
Figura 7 – Análise de sensibilidade do valor agregado para a cultura da bananeira ‘Pacovan’ com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico D1), B (Setor hidráulico D2) e C (Setor hidráulico D3).....	65
Figura 8 – Análise de sensibilidade da renda do agricultor para a cultura do coco anão com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D).....	68

Figura 9 – Análise de sensibilidade da renda do agricultor para a cultura da banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico D1), B (Setor hidráulico D2) e C (Setor hidráulico D)..... 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Atributos físicos e químicos do solo das áreas analisadas para a cultura do coqueiro anão.....	26
Tabela 2 –	Atributos químicos do solo em áreas com a cultura da bananeira.....	27
Tabela 3 –	Classificação do CUC, CUD e CUE para sistemas de irrigação por microaspersão.....	29
Tabela 4 –	Classificação da água de irrigação quanto ao risco de salinidade.....	32
Tabela 5 –	Classificação da água de irrigação quanto ao risco de problemas de infiltração.....	32
Tabela 6 –	Fornecimento relativo de irrigação em área irrigada nos setores hidráulicos B (0,44 ha), C (0,33 ha) e D (0,34 ha), respectivamente, com o plantio de coqueiro de pequenos produtores no ano de 2024....	36
Tabela 7 –	Fornecimento relativo de irrigação em área irrigada nos setores hidráulicos D ₁ (0,33 ha) e D ₃ (0,29 ha), respectivamente, com o plantio de bananeira de pequenos produtores no ano de 2025.....	36
Tabela 8 –	Coeficientes de Uniformidade (CUC, CUD e CUE) em sistemas de irrigação por microaspersão na cultura do coqueiro.....	39
Tabela 9 –	Coeficientes de Uniformidade (CUC, CUD e CUE) em sistema de irrigação por microaspersão na cultura da bananeira.....	39
Tabela 10 –	Coeficientes de Uniformidade (CUC, CUD e CUE) em sistema de irrigação por microaspersão em hortaliças.....	39
Tabela 11 –	Classificação da eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação por microaspersão considerando o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição.....	39
Tabela 12 –	Produtividade da água de irrigação na variedade coco anão: Irrigação (I), Número de Frutos (NF), Litros de água de coco (Lac), Produtividade da água de irrigação por frutos (PAIf), Produtividade da água de irrigação por água de coco (PAIac), Produtividade da água de irrigação (PAI)	45
Tabela 13 –	Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, no setor hidráulico B, 2024.....	51

Tabela 14 –	Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, no setor hidráulico C, 2024.....	51
Tabela 15 –	Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, no setor hidráulico D, 2024.....	52
Tabela 16 –	Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, no setor hidráulico D ₁ , 2025.....	53
Tabela 17 –	Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, no setor hidráulico D ₂ , 2025.....	53
Tabela 18 –	Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, no setor hidráulico D ₃ , 2025.....	54
Tabela 19 –	Renda do agricultor (RA) anual para produção de coco anão, setor hidráulico B, 2024 – (Venda da água de coco).....	58
Tabela 20 –	Renda do agricultor (RA) anual para produção de coco anão, setor Hidráulico C, 2024.....	58
Tabela 21 –	Tabela 21 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de coco anão, setor hidráulico D, 2024.....	58
Tabela 22 –	Renda do agricultor (RA) anual para produção de banana ‘Pacovan’, setor hidráulico D ₁ , 2025.....	58
Tabela 23 –	Renda do agricultor (RA) anual para produção de banana ‘Pacovan’, setor hidráulico D ₂ , 2025.....	58
Tabela 24 –	Renda do agricultor (RA) anual para produção de banana ‘Pacovan’, setor hidráulico D ₃ , 2025.....	59
Tabela 25 –	Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, setor hidráulico B, 2024.....	62
Tabela 26 –	Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, setor hidráulico C, 2024.....	62
Tabela 27 –	Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, setor hidráulico D, 2024.....	63

Tabela 28 –	Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, setor hidráulico D ₁ , 2025.....	63
Tabela 29 –	Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, setor hidráulico D ₂ , 2025.....	63
Tabela 30 –	Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, setor hidráulico D ₃ , 2025.....	64
Tabela 31 –	Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico B, 2024 - (Venda da água de coco).....	66
Tabela 32 –	Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico C, 2024 - (Venda da unidade de coco).....	66
Tabela 33 –	Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D, 2024 - (Venda da unidade de coco).....	66
Tabela 34 –	Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D ₁ , 2025 – banana ‘Pacovan’.....	66
Tabela 35 –	Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D ₂ , 2025 –banana ‘Pacovan’.....	67
Tabela 36 –	Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D ₃ , 2025 – banana ‘Pacovan’.....	67

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Fornecimento relativo de irrigação (FRI).....	17
2.2	Avaliação de sistemas de irrigação localizada.....	19
2.3	Fonte de água em aquíferos aluviais.....	21
2.4	Indicadores socioeconômicos em cultivos irrigados.....	23
3	MATERIA E MÉTODOS.....	26
3.1	Caracterização da área da pesquisa.....	26
3.2	Fornecimento relativo de irrigação (FRI).....	27
3.3	Avaliação de sistemas de irrigação.....	28
3.3.1	Coeficiente Uniformidade de Christiansen - CUC (1942).....	29
3.3.2	Coeficiente de Uniformidade de Distribuição – CUD.....	29
3.3.3	Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).....	30
3.4	Produtividade da água de irrigação.....	30
3.5	Qualidade da água dos poços para irrigação.....	31
3.6	Análise da sustentabilidade econômico-social.....	33
3.6.1	Valor agregado.....	33
3.6.2	Renda do agricultor.....	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1	Fornecimento Relativo de Irrigação.....	36
4.2	Avaliação de Sistema de Irrigação.....	39
4.3	Produtividade da água de irrigação.....	44
4.4	Qualidade da água de poços rasos para irrigação.....	46
4.5	Análise da sustentabilidade econômico-social.....	49
4.5.1	Valor agregado.....	50
4.5.2	Renda do Agricultor.....	57
4.5.3	Análise de sensibilidade econômica para os cultivos do coqueiro e da bananeira com e sem financiamento.....	61
4.5.3.1	Análise de sensibilidade do valor agregado.....	61
4.5.3.2	Análise de sensibilidade da renda do agricultor.....	66
5	CONCLUSÕES.....	70

REFERÊNCIAS	71
ANEXO A – TABELA DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DO COQUEIRO IRRIGANTE B.....	84
ANEXO B – TABELA DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DO COQUEIRO IRRIGANTE C.....	85
ANEXO C – TABELA DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DO COQUEIRO IRRIGANTE D.....	86
ANEXO D – TABELA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DA BANANEIRA IRRIGANTE D₁.....	87
ANEXO E – TABELA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DA BANANEIRA IRRIGANTE D₂.....	88
ANEXO F – TABELA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DA BANANEIRA IRRIGANTE D₃.....	89
ANEXO G – TABELA DE ANÁLISE DE ÁGUA DO IRRIGANTE DOS NÚCLEOS B, C, E D (Fe).....	90

1 INTRODUÇÃO

O Projeto de Irrigação Curu Pentecoste foi concebido para irrigação por superfície (sulcos). Entretanto, em razão da crise hídrica (2012-2017), a liberação de água do reservatório General Sampaio foi suspensa em 2014. Em decorrência desse fator e do sucateamento da infraestrutura dos canais, o projeto permanece sem água de superfície desde aquele ano.

No sentido de dar continuidade às atividades, os agricultores irrigantes mesmo desprovidos de Assistência Técnica optaram por fazer a mudança do método de irrigação para sistemas pressurizados por microaspersão, utilizando água proveniente do aquífero aluvial por meio de poços rasos.

A água é recurso natural escasso, cuja disponibilidade sofre perdas cada dia mais significativas, de forma mais acentuada nas regiões áridas e semiáridas, com variações entre as regiões conforme a época do ano. Nas regiões semiáridas, esse cenário vem se intensificando, tornando necessária a realização de pesquisas mais detalhadas, para assegurar a melhor utilização e exploração desse recurso (Brasil, 2012).

Conforme discutido por Brito *et al.* (2021), a exploração desordenada e o uso inadequado dos recursos hídricos têm contribuído para que a água esteja entre os recursos naturais mais suscetíveis à degradação ambiental. Entre os principais fatores de impacto destacam-se o desperdício, a poluição decorrente do lançamento de efluentes e resíduos sólidos, a ocupação irregular do solo e a desmatamento da vegetação ciliar. Esses processos comprometem de forma significativa, sobretudo, a qualidade da água, reduzindo sua disponibilidade para o consumo humano.

A problemática da escassez hídrica no semiárido não está associada somente ao volume de água disponível, mas também à qualidade da água dos reservatórios ao longo dos anos. À medida que os volumes são reduzidos, ocorre o acúmulo de sais, o que modifica as características físico-químicas da água e a torna inadequada para culturas não tolerantes. Para utilizar a água na irrigação, é necessário conhecer a concentração de sais, devido ao risco de diversos danos às plantas (Lira *et al.*, 2016).

Dentre os indicadores utilizados na gestão da irrigação em nível de parcela irrigada, destaca-se o Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI), que relaciona a quantidade de água fornecida à cultura e a quantidade de água requerida, sendo, portanto, um indicador estratégico na tomada de decisão em nível de parcela irrigada, podendo ter reflexos em nível de bacia hidrográfica.

Para Nascimento *et al.* (2017), a falta ou qualquer diminuição na uniformidade de aplicação de água em sistemas de irrigação provoca o excesso em uma parte da área irrigada e escassez na outra, reduzindo a disponibilidade de água da cultura, aumentando o custo de produção e promovendo a utilização da água de forma desnecessária.

A produção agrícola corresponde a uma fração significativa da renda nacional e os pequenos agricultores se encontram em uma situação de vulnerabilidade às mudanças climáticas (SEO, 2011). Magrin *et al.* (2007) concluíram que é de extrema importância a irrigação em pequena escala na agricultura familiar, como uma forma de mitigar as consequências provocadas pelas mudanças climáticas, e dessa maneira, políticas de crédito específicas para agricultores menos capitalizados possuem grande importância.

Diante no exposto, a pesquisa teve como objetivo geral avaliar sob a ótica técnica e econômica a sustentabilidade dos principais cultivos irrigados, tendo ainda como objetivos específicos: - analisar os valores do indicador Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI); - avaliar o desempenho de sistemas de irrigação; - analisar a qualidade da água dos poços rasos com vistas ao seu uso para irrigação; e - avaliar indicadores socioeconômicos dos principais cultivos irrigados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Fornecimento relativo de irrigação (FRI)

A água constitui um dos recursos naturais mais relevantes para a manutenção da vida, além de ser indispensável ao desenvolvimento socioeconômico. Seu uso abrange múltiplos setores, incluindo o abastecimento urbano, a indústria, a geração de energia e, de maneira ainda mais significativa, a agricultura irrigada. Este último setor apresenta o maior consumo de água em escala global, uma vez que busca ampliar a produção agrícola com base em um insumo cada vez mais escasso (Gonfa *et al.*, 2021; FAO, 2023; WWAP, 2022).

No cenário brasileiro, essa situação assume contornos ainda mais expressivos. Reconhecido como um dos principais exportadores mundiais de *commodities* agrícolas, o Brasil também se destaca pelo elevado volume de água embutido na produção. Estimativas indicam que a obtenção de 1 kg de soja demanda, em média, 1.800 litros de água, enquanto a produção da mesma quantidade de milho requer aproximadamente 900 litros. Tais números posicionam o país como o quarto maior exportador de água associada a produtos agrícolas (ANA, 2022; Tuneu *et al.*, 2020; ANA, 2023). Esse quadro evidencia a urgência de práticas de gestão hídrica responsáveis, sobretudo diante do agravamento dos episódios de escassez em diferentes regiões brasileiras e internacionais.

Diversos trabalhos ressaltam que a agricultura transcende seu caráter econômico, configurando-se como um pilar fundamental para a segurança alimentar em escala global (Cialdea *et al.*, 2021). Nesse contexto, o uso eficiente da água torna-se estratégico para a mitigação da pobreza e para a garantia do fornecimento estável de alimentos (Ringler *et al.*, 2022).

Entre as alternativas propostas, a irrigação de pequena escala desponta como uma abordagem promissora. Essa modalidade pode favorecer o acesso de agricultores familiares aos recursos hídricos, elevar os níveis de produtividade agrícola e reduzir a insegurança alimentar, além de fortalecer a geração de renda e a estabilidade econômica em comunidades rurais (Zhu *et al.*, 2022; Bross *et al.*, 2021).

Contudo, nem todos os pesquisadores compartilham dessa perspectiva positiva. Parte da literatura adverte que a expansão desorganizada da irrigação pode intensificar a exploração dos recursos hídricos, provocar degradação e salinização do solo, além de estimular disputas entre diferentes usuários (Grafton *et al.*, 2021; Bertotto *et al.*, 2025). Assim, enquanto alguns autores defendem o potencial da irrigação de pequena escala para enfrentar a

insegurança alimentar, outros sustentam que seus benefícios só serão duradouros se vinculados a políticas públicas de monitoramento e regulação.

Para que a irrigação desempenhe plenamente sua função estratégica, é imprescindível que os sistemas sejam constantemente avaliados, levando-se em conta tanto os rendimentos agrícolas quanto a eficiência no uso da terra e da água. Indicadores como eficiência, uniformidade, estabilidade e adequação constituem instrumentos-chaves para subsidiar a formulação de políticas e o aprimoramento dos projetos de irrigação (Moges, 2022; Pires *et al.*, 2020; Watkins *et al.*, 2021).

Ainda assim, há controvérsias quanto à suficiência desses parâmetros técnicos. Enquanto alguns trabalhos defendem que a eficiência e a uniformidade são critérios satisfatórios para mensurar o desempenho (Watkins *et al.*, 2021), outros argumentam que tais métricas são limitadas, pois desconsideram fatores socioeconômicos e ambientais, como o custo energético, os impactos sobre o solo e a sustentabilidade em longo prazo. Tais divergências reforçam a necessidade de integrar indicadores complementares que incorporem múltiplas dimensões do uso da água.

Nesse contexto, é importante destacar o Serviço de Assessoramento ao Irrigante (SAI), que fornece orientações técnicas aos produtores rurais. Entre suas funções, incluem-se a disponibilização de informações sobre manejo de culturas, estimativas de necessidade hídrica, definição de calendários de irrigação e análise do desempenho dos sistemas, favorecendo, assim, o uso racional da água (Albert *et al.*, 2021). Além de auxiliar na gestão individual, esse tipo de serviço contribui para ganhos coletivos de eficiência hídrica.

Dentre os indicadores aplicados pelo SAI, sobressai o Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI). O FRI relaciona o volume de água aplicado pelo produtor à quantidade recomendada para a necessidade das culturas. Esse índice auxilia na detecção de situações de déficit ou de excesso na irrigação, possibilitando ajustes que reduzem perdas e ampliam a eficiência do manejo (Carvalho *et al.*, 2024).

O FRI apresenta-se como um instrumento de fácil aplicação, destacando-se por sua utilidade prática em diferentes sistemas agrícolas, onde é amplamente empregado para subsidiar o processo de tomada de decisão. Por estar fundamentado na relação entre a lâmina de água aplicada e a recomendada, oferece ao agricultor uma percepção objetiva sobre o grau de adequação no uso do recurso hídrico, incentivando uma postura mais consciente em relação ao manejo da irrigação. Ainda assim, seu potencial interpretativo torna-se mais abrangente quando articulado com outros indicadores de desempenho, visto que essa associação permite integrar aspectos técnicos e gerenciais que envolvem não apenas a eficiência do uso da água, mas

também variáveis de natureza econômica, energética e ambiental, ampliando a compreensão da sustentabilidade da atividade irrigada (Beltrão Júnior, 2017).

2.2 Avaliação de sistemas de irrigação localizada

A intensificação da demanda por recursos hídricos no meio agrícola está intrinsecamente relacionada às condições características do semiárido, onde prevalecem temperaturas elevadas e longos períodos de estiagem. Esse quadro tende a se agravar com as mudanças climáticas, que, embora possam ter causas naturais, estão fortemente associadas às práticas antrópicas, em especial aos padrões de consumo das sociedades globalizadas, altamente dependentes da exploração de recursos naturais. Soma-se a esse panorama o crescimento demográfico, que amplia a competição entre os diferentes setores consumidores de água, limitando a sua disponibilidade para a atividade agrícola (Santos, 2016).

Diante desse desafio, o desempenho da agricultura e sua capacidade de atender à demanda alimentar tornam-se fatores estratégicos. A escolha adequada do sistema de irrigação passa a desempenhar papel central, já que possibilita tanto a conservação dos recursos hídricos quanto o incremento da produção agrícola. Esse aspecto é ainda mais relevante em países em desenvolvimento, nos quais os meios de subsistência dependem fortemente da agricultura, responsável por cerca de 90% do uso total da água destinada à produção de alimentos (Haro-Monteagudo *et al.*, 2023; Lap *et al.*, 2023).

Nessas circunstâncias, especialmente em regiões marcadas por secas recorrentes, a gestão consciente da irrigação se torna essencial. A adoção de práticas sustentáveis busca, de um lado, reduzir os impactos ambientais e, de outro, otimizar a relação entre produtividade agrícola e uso da água (Chai *et al.*, 2016). Avaliar corretamente os sistemas de irrigação é um requisito fundamental para assegurar maior eficiência, garantindo não apenas ganhos de produção, mas também a conservação ambiental e a segurança alimentar.

Os estudos de Alves *et al.* (2020) indicam que o aperfeiçoamento do desempenho dos sistemas de irrigação é um caminho imprescindível para a conservação da água. A aplicação em excesso gera efeitos negativos, como lixiviação de nutrientes e deficiência hídrica localizada, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Por outro lado, a irrigação insuficiente compromete a produtividade, principalmente em estágios críticos do ciclo das culturas. Nesse contexto, os sistemas de irrigação localizada, a exemplo do gotejamento e da microaspersão, têm sido destacados por sua elevada eficiência, embora dependam de monitoramento constante

dos parâmetros de uniformidade, diretamente influenciados pelas condições hidráulicas e pelo estado de conservação dos equipamentos.

A análise da eficiência da irrigação, contudo, não deve se restringir apenas à água aplicada. É necessário integrar variáveis como as propriedades físico-químicas da água, as características do solo, as exigências hídricas das culturas, o clima regional e as práticas de manejo de irrigação e drenagem (Ungureanu *et al.*, 2020). Desse modo, ressalta-se que esse debate denota relevância no que tange ao cultivo de culturas como o coqueiro e a bananeira, em que os sistemas de irrigação localizada vêm sendo cada vez mais utilizados em ambientes de clima tropical úmido e semiárido.

Um dos fatores que mais impactam a eficiência dos sistemas de irrigação é a uniformidade de distribuição da água. O entupimento dos emissores, quando recorrente, constitui um dos principais desafios da irrigação por gotejamento, pois reduz a uniformidade de aplicação. Por essa razão, a seleção criteriosa dos emissores é indispensável, devendo-se considerar aspectos como o design hidráulico, a qualidade e a temperatura da água, além do desgaste natural dos componentes ao longo do tempo. Essas condições afetam diretamente a vazão e comprometem a uniformidade da aplicação (Baydar *et al.*, 2025).

Além disso, Anjos *et al.* (2024) enfatizam a importância de parâmetros clássicos de avaliação, como o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) e a eficiência de aplicação (EA), como ferramentas para mensurar o desempenho hidráulico dos sistemas de irrigação. Esse mesmo estudo demonstrou que, em áreas com irrigação localizada, a EA atingiu aproximadamente 78% nas regiões mais próximas ao ponto de entrada do sistema, mas caiu para menos de 70% em setores distantes. A substituição dos emissores por novos modelos proporcionou um incremento de até 6% na uniformidade, evidenciando o impacto do acúmulo de partículas sólidas e das falhas hidráulicas sobre o desempenho do sistema.

Esse cenário reforça a necessidade de manutenção preventiva e corretiva como prática indispensável, a fim de evitar perdas por percolação e quedas na eficiência de aplicação. A distribuição irregular da água compromete o balanço hídrico do solo e, por consequência, reduz o potencial produtivo das culturas, especialmente em ambientes tropicais e semiáridos (Carvalho *et al.*, 2024).

Conforme ressaltam Baydar *et al.* (2025), embora a irrigação localizada apresente grande potencial de eficiência, a ausência de um bom planejamento, associada à má gestão ou à manutenção inadequada, pode comprometer seriamente os resultados. Outro fator relevante é o conhecimento limitado que muitos agricultores possuem sobre a operação e o manejo dos

sistemas, principalmente no que diz respeito ao planejamento da irrigação. Nesse sentido, programas de capacitação e treinamento adequados são altamente recomendados, visto que podem assegurar maior eficiência operacional e sustentabilidade na produção agrícola.

Diante do exposto, fica evidente que a irrigação localizada se configura como um recurso fundamental para o fortalecimento da agricultura em regiões semiáridas e tropicais, proporcionando maior controle sobre a distribuição da água e contribuindo para a estabilidade da produção mesmo diante de condições climáticas adversas. Sua eficiência, contudo, depende não apenas da tecnologia empregada, mas também da implementação de práticas de manejo adequadas, da manutenção constante dos equipamentos e da capacitação técnica dos agricultores, que juntos garantem o desempenho ideal do sistema.

Os estudos citados apontam que a integração de fatores ambientais, hidráulicos e operacionais é determinante para maximizar a utilização racional da água, melhorar a uniformidade da aplicação e reduzir impactos negativos sobre o solo e as plantas. Nesse contexto, estratégias de gestão que promovam o equilíbrio entre produtividade, conservação ambiental e segurança hídrica tornam-se imprescindíveis, oferecendo subsídios para que a agricultura irrigada se desenvolva de forma sustentável e resiliente frente às demandas crescentes por alimentos e à escassez de recursos hídricos em escala regional e global.

2.3 Fonte de água em aquíferos aluviais

Os aquíferos aluviais representam sistemas hidrogeológicos formados por sedimentos recentes depositados por rios, incluindo areia, cascalho e silte, predominando em planícies e vales fluviais. Esses reservatórios naturais são vitais para o abastecimento de água subterrânea, atendendo a demandas agrícolas, urbanas e industriais. A recarga desses aquíferos depende de processos complexos, envolvendo infiltração direta da precipitação e percolação lateral a partir de cursos d'água, fatores que influenciam a disponibilidade e distribuição espacial da água subterrânea (Watson *et al.*, 2021). A compreensão desses mecanismos é essencial para a gestão sustentável do recurso, especialmente em regiões sujeitas a variações climáticas marcantes, que podem comprometer o equilíbrio hídrico.

Em regiões semiáridas, como o Nordeste brasileiro, a vulnerabilidade dos aquíferos aluviais se intensifica em função de eventos extremos, como longos períodos de seca. Alves *et al.* (2024) demonstram que a diminuição da recarga, aliada à exploração intensiva da água para irrigação, reduz significativamente a disponibilidade hídrica para a agricultura local, evidenciando que práticas insustentáveis podem gerar escassez de água e queda na

produtividade. Essa situação ressalta a necessidade de compreender profundamente as características, funções e limitações desses sistemas, de modo a fundamentar políticas públicas e estratégias de manejo agrícola que promovam a conservação e uso eficiente dos recursos hídricos.

No contexto da irrigação, a microaspersão tem se consolidado como uma alternativa tecnológica eficiente, especialmente em áreas com disponibilidade limitada de água subterrânea. Sengupta *et al.* (2023), ao comparar a irrigação por superfície com sistemas de microaspersão em cultivos hortícolas, observaram redução significativa do volume aplicado, menor perda por evaporação e diminuição da mobilidade de contaminantes, como o arsênio. Entretanto, o estudo alerta que essa tecnologia reduz o retorno de fluxo para os aquíferos aluviais, podendo afetar negativamente a recarga natural. Assim, embora a microaspersão ofereça ganhos imediatos em eficiência, a avaliação de impactos de longo prazo é indispensável para garantir a sustentabilidade do sistema hídrico.

Echogdali *et al.* (2023) complementam essa perspectiva ao realizar a caracterização hidrogeológica de aquíferos aluviais no Marrocos, evidenciando elevada sensibilidade da disponibilidade subterrânea à redução dos fluxos de retorno agrícola. Os dados de transmissividade e porosidade indicam que, em locais com lençol freático raso, a microaspersão pode acelerar a diminuição dos níveis piezométricos.

Guo *et al.* (2024) expandem a análise ao relacionar fluxos hídricos e processos edáficos com a recarga subterrânea em sistemas irrigados. Os autores mostram que a microaspersão reduz a infiltração natural do solo em comparação à irrigação convencional, diminuindo a contribuição para os aquíferos aluviais. Essa observação reforça a necessidade de um olhar crítico, integrando eficiência agrônômica, qualidade da água e sustentabilidade hídrica.

Outro aspecto crítico destacado por Texier *et al.* (2024) refere-se à exploração de aquíferos aluviais conectados a rios. A proximidade com cursos de água facilita a extração em larga escala, mas também intensifica riscos de degradação da qualidade da água, especialmente em sistemas irrigados por microaspersão. A lixiviação de nutrientes e agroquímicos pode aumentar, evidenciando que ganhos em eficiência hídrica não podem ser analisados isoladamente.

No Brasil, a importância dos aquíferos aluviais é ainda mais evidente em regiões semiáridas. Scheiber *et al.* (2020) destacam que, durante secas prolongadas, esses reservatórios se tornam estratégicos para o abastecimento de água na agricultura irrigada, em especial para a agricultura familiar. Entretanto, Costa Neto (2020) alerta que fatores climáticos, como alta

evaporação, estiagens prolongadas e baixa precipitação, aumentam a vulnerabilidade desses sistemas.

Silva *et al.* (2020) afirmam que a exploração intensiva, aliada à ausência de práticas conservacionistas, compromete a sustentabilidade hídrica. Assim, embora a microaspersão ofereça eficiência no uso da água, sua adoção deve ser acompanhada de manejo criterioso e políticas de conservação.

Em sua pesquisa, Lap *et al.* (2023) chamam atenção para a influência das atividades humanas sobre a qualidade de recursos hídricos superficiais. Poluição proveniente de resíduos domésticos, industriais e agrícolas afeta rios, lagos e córregos, com repercussões diretas nos aquíferos aluviais conectados. Essa perspectiva evidencia que a discussão sobre microaspersão e manejo hídrico não pode se restringir à eficiência do uso da água, sendo necessário adotar uma abordagem integrada, que considere simultaneamente quantidade e qualidade da água.

De modo geral, as pesquisas consultadas apontam que os aquíferos aluviais desempenham papel indispensável na manutenção da segurança hídrica, sobretudo em áreas semiáridas e fortemente dependentes da irrigação para sustentar a produção agrícola e garantir o abastecimento humano. Esses aquíferos funcionam como reservatórios estratégicos, armazenando volumes significativos de água subterrânea que são essenciais para suprir períodos de escassez e irregularidade pluviométrica característicos dessas regiões.

Verifica-se, ainda, que técnicas agrícolas atuais, como o uso da microaspersão, favorecem maior eficiência na utilização da água e contribuem para a diminuição das perdas no processo de irrigação, ao mesmo tempo em que possibilitam maior controle sobre a quantidade e a distribuição da lâmina aplicada. Tais sistemas, embora apresentem benefícios expressivos em termos de manejo racional, também exercem influência direta sobre os mecanismos de recarga e sobre a qualidade das reservas subterrâneas, uma vez que modificam a dinâmica natural de infiltração e podem interferir na preservação dos aquíferos ao longo do tempo.

Diante desse cenário, torna-se evidente a necessidade de adotar estratégias de gestão integrada, orientadas para compatibilizar a produção agrícola com a conservação ambiental e com a sustentabilidade dos recursos hídricos, considerando tanto a eficiência técnica quanto os impactos socioambientais relacionados ao uso contínuo e intensivo da água em contextos de elevada vulnerabilidade climática.

2.4 Indicadores socioeconômicos em cultivos irrigados

A discussão em torno dos indicadores socioeconômicos aplicados à irrigação tem avançado na medida em que esses parâmetros se revelam capazes de relacionar, de forma integrada, a eficiência produtiva, a gestão dos recursos naturais e as condições de vida no meio rural. Karandish (2021) destaca que práticas modernas de irrigação, aliadas ao uso mais racional da água, reduzem a pressão sobre aquíferos e, ao mesmo tempo, resultam em maior estabilidade de produção, incremento de renda e segurança alimentar, o que reforça a relevância desses indicadores para compreender a resiliência de comunidades agrícolas.

O contexto atual de crescente escassez hídrica amplia ainda mais essa necessidade. Conforme Damania *et al.* (2020), a agricultura responde pela maior parcela do consumo global de água, tornando-se um setor estratégico para o equilíbrio entre oferta e demanda alimentar. A Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (2022) complementa que os efeitos das mudanças climáticas, em especial a intensificação de secas em regiões antes pouco vulneráveis, impõem riscos adicionais que tornam a gestão hídrica uma prioridade global. Nesse quadro, estimativas econômicas que relacionam valor da água e produtividade, como observam Buttinelli *et al.* (2024), assumem papel decisivo para orientar políticas e práticas de manejo em sistemas irrigados.

O componente econômico desses sistemas demanda atenção à estrutura de custos, pois a falta de rigor nesse aspecto pode comprometer análises de viabilidade. Paiva *et al.* (2023) ressaltam que separar corretamente custos fixos, como infraestrutura de captação e bombeamento, de custos variáveis, como energia e insumos, é fundamental para compreender a rentabilidade real. Toffanin *et al.* (2023) alertam que estudos que desconsideram essa distinção frequentemente superestimam ou subestimam tecnologias, a exemplo do gotejamento. Além disso, a depreciação de equipamentos, muitas vezes omitida em análises simplificadas, altera significativamente indicadores de rentabilidade e sustentabilidade, como argumentam Elhagarey *et al.* (2024).

Essa constatação leva a uma crítica mais ampla: limitar-se à contabilidade interna da produção não basta. D’Odorico *et al.* (2020) defendem que a avaliação econômica de cultivos deve incluir métricas de eficiência hídrica, relacionando o valor agregado com o volume de água efetivamente utilizado. Ao inserir esse componente, o debate ultrapassa a esfera financeira, posicionando os indicadores socioeconômicos como ferramentas também de caráter ambiental e social, especialmente diante de políticas públicas voltadas à racionalização do uso da água.

Nessa mesma direção, Nikam *et al.* (2025) lembram que os custos fixos representam a base de sustentação da atividade no longo prazo, determinando a capacidade de reposição de ativos. Em contrapartida, custos variáveis são sensíveis a oscilações de mercado e ao manejo empregado, como sublinham Omar e Fatah (2020), o que exige do produtor maior capacidade de adaptação. Esse ponto é particularmente relevante em contextos de irrigação, em que gastos com energia e manutenção podem comprometer a rentabilidade em períodos curtos.

O conceito de valor agregado também vem sendo incorporado como parâmetro de eficiência econômica. Zainol (2023) mostra que, ao descontar os insumos intermediários do produto bruto, esse indicador oferece visão mais fiel da riqueza efetivamente gerada, evitando interpretações infladas. Em sistemas irrigados, relacionar o valor agregado à eficiência hídrica, por meio do retorno econômico por metro cúbico de água, amplia o escopo das análises, aproximando-as das dimensões de sustentabilidade e justiça social no uso dos recursos.

Outro elemento frequentemente negligenciado, mas que se revela estratégico, é a depreciação média dos produtos. Vignesh *et al.* (2022) observam que os diferentes métodos de cálculo linear podem modificar sensivelmente as projeções de custo e rentabilidade. A inclusão desse componente garante maior robustez às análises e possibilita planejar a reposição de ativos com realismo, evitando leituras excessivamente otimistas sobre a lucratividade, especialmente em cadeias produtivas mais tecnificadas.

A produtividade média, por sua vez, integra e conecta os demais indicadores. De acordo com Toan *et al.* (2023), sem esse parâmetro não é possível estabelecer comparações consistentes entre tecnologias de irrigação ou entre diferentes cadeias produtivas. A produtividade fornece base não apenas para cálculos de custo e receita, mas também para verificar se investimentos em infraestrutura, insumos e inovação estão se traduzindo em ganhos reais. Nesse sentido, ela se consolida como um indicador-síntese que permite avaliar a eficiência global dos cultivos irrigados.

Com base na literatura consultada, evidencia que os indicadores socioeconômicos devem ser analisados de maneira integrada com variáveis ambientais e sociais, permitindo uma compreensão ampla e detalhada do impacto da irrigação sobre a dinâmica agrícola e o desenvolvimento rural. A incorporação de elementos como custos fixos e variáveis, depreciação, valor agregado e produtividade proporciona uma visão abrangente do desempenho econômico das propriedades irrigadas, demonstrando que a irrigação vai além de uma simples ferramenta de incremento produtivo. Quando avaliada sob esse enfoque, ela revela-se também como um mecanismo capaz de promover a sustentabilidade financeira das atividades agrícolas,

garantindo maior estabilidade econômica aos produtores e fortalecendo as comunidades rurais por meio do aumento da resiliência e da segurança alimentar.

Além disso, a irrigação se configura como um componente estratégico para o desenvolvimento rural sustentável, oferecendo subsídios fundamentais para o planejamento e a tomada de decisão em gestão agrícola, de modo a equilibrar eficiência operacional, produtividade, conservação ambiental e bem-estar social, contribuindo de forma integrada para a sustentabilidade do setor agrícola em curto, médio e longo prazos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área da pesquisa

A pesquisa foi realizada no Projeto de Irrigação Curu Pentecoste (PICP), Ceará. Os dados foram coletados em três setores hidráulicos, tendo como principais cultivos o coqueiro e a bananeira em estágio de pleno desenvolvimento, sendo eles: Setor hidráulico B (um irrigante, B), Setor hidráulico C (um irrigante C₁) e Setor hidráulico D (quatro agricultores irrigantes D, D₁, D₂ e D₃).

Para a caracterização edáfica, foram coletadas amostras compostas de solo em todas as áreas cultivadas. Para a cultura do coqueiro, as amostragens foram realizadas nas profundidades de 0–0,30 m e 0,30–0,60 m. Para a cultura da bananeira, a coleta restringiu-se à camada de 0–0,20 m. Posteriormente, as amostras foram homogeneizadas, acondicionadas em sacos plásticos com capacidade de 1,0 kg e encaminhadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal do Ceará (UFC) para realização de análises de fertilidade.

Tabela 1 – Atributos físicos e químicos do solo das áreas analisadas para a cultura do coqueiro ano

	Composição Granulométrica (g kg⁻¹ de solo)				Classe textural	Densidade do solo (kg m⁻³)	pH	CE (dS m⁻¹)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila				
B	501,5	225	143,5	130	Franco arenosa	1,2	7,0	0,63
C	317,5	189	273,5	220	Franco argilo arenosa	1,4	6,6	0,63
D	53,5	445	345,5	156	Franca	1,3	7,3	0,91

Fonte: Autora (2024).

Tabela 2 – Atributos químicos do solo em áreas com a cultura da bananeira

Lotes	pH	CE (dS m ⁻¹)
D ₁	7,4	0,63
D ₂	7,4	0,62
D ₃	7,9	0,74

Fonte: Autora (2025).

3.2 Fornecimento relativo de irrigação (FRI)

O Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI) relaciona o volume de água efetivamente aplicado ao cultivo com a demanda hídrica da cultura. O volume aplicado foi obtido por meio de leituras mensais de hidrômetros instalados na entrada de cada área (Beltrão Júnior *et al.*, 2017). De acordo com os autores, o FRI permite orientar os agricultores irrigantes sobre riscos de estresses por excesso ou de déficit de água.

A adoção deste indicador teve como objetivo principal diagnosticar o cenário de uso da água no Projeto de Irrigação Curu Pentecoste, fornecendo subsídios para a gestão hídrica realizada pelo Distrito de Irrigação. O FRI estabelece uma relação entre a quantidade de água que é fornecida mensalmente ao lote, com o requerimento de água da cultura, sendo obtido de acordo com a seguinte equação:

$$\text{FRI} = \frac{\text{Água fornecida ao lote (m}^3\text{)}}{\text{Requerimento de irrigação (m}^3\text{)}} \quad \text{Eq. 01}$$

No cálculo dos requerimentos mensais de água foram consideradas as necessidades mensais durante o período de maior demanda hídrica da cultura em estágio de pleno desenvolvimento, conforme a seguir descrito:

Evapotranspiração de referência (ET_o), obtida por meio do método do Tanque Classe A. Segundo Doorenbos (1994), os dados necessários são a evaporação média do tanque (E_{pan}, mm dia⁻¹), os valores estimados de umidade relativa média em (RH, %), a velocidade média do vento em (U, km dia⁻¹) a 2 m de altura e condição de entorno do tanque (área cultivada ou solo nu).

A ET_o representa o valor médio (mm dia⁻¹) para o período considerado tendo sido obtida da seguinte forma:

$$\text{ET}_o = \text{kpan} \times \text{Epan} \quad \text{Eq. 02}$$

em que:

E_{pan}: evaporação de um tanque de evaporação classe A, em mm/dia.

kpan: coeficiente do tanque.

O coeficiente do tanque considerado para os cálculos da ETo foi de 0,65. Já os coeficientes de cultivo (Kc) foram adotados com base no estágio de pleno desenvolvimento das culturas analisadas, sendo 1,0 para o coco-anão (Pinto *et al.* 2023) e 0,95 para banana ‘Pacovan’ (Basso *et al.* 2004). A evapotranspiração máxima (ETm) foi obtida pela expressão:

$$ETm = ETo * Kc \quad \text{Eq. 03}$$

em que:

ETo: evapotranspiração de referência.

Kc: coeficiente de cultivo.

Segundo Allen *et al.* (1998), a precipitação efetiva (Pe) constitui a fração da precipitação total que se infiltra no solo e fica disponível para as plantas. Segundo o método proposto por Doorenbos; Pruitt, 1977, a precipitação efetiva pode ser expressa:

$$Pe = (125 - 0,2P_t) P_t / 125 \quad \text{Eq. 04}$$

em que:

P_t a precipitação total.

A Necessidade de Irrigação (NI) foi calculada conforme a seguinte expressão:

$$NI = ETm - Pe. \quad \text{Eq. 05}$$

Na presente pesquisa utilizou-se a lâmina bruta de irrigação ao invés da lâmina líquida, conforme preconiza originalmente o conceito do FRI, e desta forma a lâmina bruta foi obtida ao se considerar a capacidade do sistema operar potencialmente com eficiência de aplicação de 90%. Portanto, a lâmina bruta foi calculada pela relação entre a necessidade de irrigação e a eficiência de aplicação.

3.3 Avaliação de sistemas de irrigação

A avaliação dos sistemas de irrigação foi baseada nos indicadores Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), conforme proposto por Keller e Karmeli (1975).

A metodologia de Keller e Karmeli (1975) recomenda a coleta de valores de vazão em quatro pontos ao longo da linha lateral: no primeiro emissor, nos emissores situados a 1/3 e a 2/3 do comprimento da linha e no último emissor. Para a escolha das linhas laterais a serem avaliadas dentro da subárea ao longo da linha de derivação, adotou-se o mesmo critério: selecionaram-se a primeira linha, aquelas localizadas a 1/3 e a 2/3 do comprimento da derivação e a última linha lateral, resultando em 16 pontos de coleta.

Os valores de vazão foram medidos em campo com recipientes adequados, uma proveta graduada de 1000 mL e um cronômetro. Os testes foram iniciados após a estabilidade do fluxo, com tempo de coleta entre 15 e 20 segundos, procedendo-se três repetições para cada um dos pontos de coleta.

Os parâmetros utilizados para classificar os coeficientes de uniformidade dos sistemas de irrigação por microaspersão, seguiram os critérios estabelecidos por Mantovani (2001), Frizzone *et al.* (2012) e Borssoi *et al.* (2012), apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Classificação do CUC, CUD e CUE para sistemas de irrigação por microaspersão

Classificação	CUD (%)	CUC (%)	CUE (%)
Excelente	> 90	90-100	90-100
Bom	80-90	80-90	80-90
Razoável	70-80	70-80	70-80
Ruim	< 70	60-70	60-70
Inaceitável	-	-	< 60

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001), Frizzone *et al.* (2012) e Borssoi *et al.* (2012).

3.3.1 Coeficiente Uniformidade de Christiansen - CUC (1942)

O Coeficiente Uniformidade de Christiansen (CUC) consiste em um método mais expandido, e considera-se o desvio médio como medida de distribuição, sendo seu cálculo obtido pela equação:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum_i^n |q_i - \bar{q}|}{n \times \bar{q}} \right] \quad \text{Eq. 06}$$

em que:

q_i : vazão de cada emissor;

$L h^{-1}$; \bar{q} : média de todas as vazões coletadas, $L h^{-1}$;

n : número de emissores.

3.3.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição - CUD

Determinado por Keller e Karmeli (1975), a definição do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) é firmada na razão entre as 25% menores vazões confirmadas nas análises em relação às médias das vazões observadas, exposto pela seguinte equação:

$$CUD = 100 \times \left(\frac{\bar{q}_{25\%}}{\bar{q}} \right) \quad \text{Eq. 07}$$

em que:

$\bar{q}_{25\%}$: média de 25% das vazões com menores valores;

\bar{q} : média de todas as vazões coletadas, L h⁻¹.

3.3.3 Coeficiente de Uniformidade Estatístico -CUE

Criado por Wilcox e Swailes (1947), o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) fundamenta-se no coeficiente de variação da lâmina de água aplicada e estimado pela equação:

$$CUE = 100 \times \left(1 - \frac{\delta}{\bar{q}} \right) \quad \text{Eq. 08}$$

em que:

δ : desvio padrão dos valores de vazões;

\bar{q} : média de todas as vazões coletadas, L h⁻¹.

O cálculo da eficiência de aplicação de água (Ea) para os sistemas de irrigação localizada é complexo, devido principalmente à elevada frequência de irrigação. Contudo, considerando irrigações completas, que garantam o fornecimento hídrico para suprir toda a água consumida pelas plantas, as perdas por percolação variam em torno de 10%. Sendo assim, é possível admitir a determinação da eficiência de aplicação de água, segundo Merriam e Keller (1978), por meio da seguinte equação:

$$Ea = 0,9 \times CUD \quad \text{Eq. 09}$$

em que:

Ea - eficiência de aplicação de água, %.

3.4 Produtividade da água de irrigação

Devido às características de escassez hídrica do semiárido, a água disponível deve ser utilizada de maneira eficiente na produção agrícola. A produtividade da água de irrigação nos sistemas agrícolas pode ser obtida pela relação entre a produção comercial das culturas (kg

ha⁻¹) e a quantidade de água aplicada à cultura via irrigação (m³ ha⁻¹), sendo expressa em kg m⁻³, e tem sido utilizada como um indicador que quantifica os impactos causados pelos calendários de irrigação em relação ao manejo da água.

A produtividade da água de irrigação dos cultivos poderá também ser expressa em R\$ m⁻³, sendo obtida pelo produto da produtividade da água de irrigação expressa em kg m⁻³ pelo preço unitário do produto em R\$ kg⁻¹. O indicador assim expresso permite uma análise comparativa entre os cultivos.

3.5 Qualidade da água dos poços para irrigação

As coletas de água foram realizadas no final do período seco, o que permitiu observar as alterações ocorridas na qualidade das águas subterrâneas sob uma ótica espacial e temporal. Em cada ponto de amostragem, as amostras foram acondicionadas em uma garrafa de polietileno de 500 mL. No momento da coleta das amostras foi realizada a “tríplice lavagem” com água do ponto de amostragem nos recipientes previamente identificados, como recomendado pelo Manual de Procedimentos de Coleta de Amostras em Áreas Agrícolas (Filizola, 2006).

Os parâmetros físico-químicos determinados foram: cátions – cálcio, magnésio, sódio e potássio (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ e K⁺, respectivamente), ânions – cloreto, sulfato, bicarbonato e carbonato (Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻ e CO₃²⁻, respectivamente), condutividade elétrica da água (CEa), razão de adsorção de sódio (RAS), potencial hidrogeniônico (pH) e sólidos dissolvidos totais (SDT). Em alguns poços foram realizadas análises de ferro, tendo em vista os riscos de obstrução aos sistemas de irrigação localizada, que afetam a sua eficiência. Além disso, elevados teores de ferro podem atuar como substrato para o crescimento de bactérias nas tubulações, produzindo cheiro e sabor desagradável da água (Anexo G).

Para classificar a água para fins de irrigação foi utilizado o modelo de classificação de Ayers; Westcot (1994) (Tabelas 4 e 5), de acordo com os resultados adquiridos em laboratório. As análises de Razão de Adsorção de Sódio (RAS – ou SAR, Sodium Adsorption Ratio) e a Condutividade Elétrica da água (CEa), foram realizadas de acordo com a classificação do United States Salinity Laboratory (USSL), Richards (1954).

Conforme a classificação, quando a água aplicada na irrigação está dentro da faixa que não proporciona nenhum perigo, não são detectados, de uma maneira geral, vulnerabilidades na cultura e no solo. No nível de limitação médio, as culturas devem ser escolhidas em conformidade com a salinidade limiar e práticas de manejo devem ser implementadas para que as culturas possam alcançar alto rendimento. Para o nível de limitação

grave, as complicações relacionadas à salinidade tendem a ocorrer frequentemente e somente culturas resistentes podem ser escolhidas; é fundamental que precauções extras sejam adotadas no manejo das culturas e do solo, bem como incorporar medidas complementares ao plano de operação para garantir rendimentos aceitáveis e mitigar os riscos.

Segundo Richards (1954), as águas utilizadas na irrigação, possuem classes que variam de C1 a C4 de S1 a S4, em todas as associações possíveis. A água identificada por categoria C1 possui concentração salina baixa, com valores de CEa inferiores a $0,25 \text{ dS m}^{-1}$. Quanto a sodicidade, suas classes variam de S1 a S4, sendo: baixo, médio, alto e muito alto. O índice de sodicidade é avaliado por meio da RAS. Considerando os parâmetros estabelecidos pela FAO (Ayers; Westcot, 1994), o nível usual da água de irrigação para os parâmetros físico-químicos é, em meq L^{-1} : Ca^{2+} - 0 a 20, Mg^{2+} - 0 a 5, Na^{+} - 0 a 40, K^{+} - 0 a 2, Cl^{-} - 0 a 30, SO_4^{2-} , HCO_3^{-} - 0 a 10 e CO_3^{2-} - 0 a 0,1.

A faixa recomendada de pH é de 6,5 a 8,4 (variação de 1 – 14), enquanto a SDT as faixas são separadas em conformidade com o nível de restrição de uso, em mg L^{-1} : nenhum – valores menores que 450, leve a moderado – de 450 a 2000 e severo – valores acima de 2000.

Tabela 4 – Classificação da água de irrigação quanto ao risco de salinidade

Classificação	CEa (dS m^{-1})	Grau de restrição de uso
C1	< 0,7	Nenhum
C2	0,7 – 3,0	Leve a moderado
C3	> 3,0	Severo

Fonte: Adaptada de Ayers; Westcot (1994).

Tabela 5 – Classificação da água de irrigação quanto ao risco de problemas de infiltração

Classificação – Grau de restrição de uso			
RAS	S1 - Nenhum	S2 – Leve a moderado	S3 - Severo
(mmolL^{-1})^{1/2}	ECw (dS m^{-1})		
0 – 3	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3 – 6	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 – 12	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 – 20	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
20 – 40	> 5,0	5,9 – 2,9	< 2,9

Fonte: Adaptada de Ayers; Westcot (1994).

3.6 Análise da sustentabilidade econômico-social

Dentre os principais sistemas de produção no Projeto de Irrigação Curu Pentecoste destacam-se os cultivos do coqueiro e da bananeira, atualmente sob irrigação localizada por microaspersão com água subterrânea oriunda de poços rasos.

Realizou-se o acompanhamento da produção mensal de coco anão com o objetivo de avaliar o comportamento produtivo ao longo do período de condução da pesquisa. As áreas analisadas corresponderam a 0,44 ha no setor hidráulico B, 0,33 ha no setor hidráulico C e 0,34 ha no setor hidráulico D. Para cada uma dessas unidades produtivas, registrou-se a produtividade anual de 30.845, 18.235 e 12.940 frutos/planta, respectivamente, permitindo a comparação do desempenho.

3.6.1 Valor agregado

Para o indicador de sustentabilidade social, foi analisado o valor agregado, o qual também representa um indicador de sustentabilidade econômica, correspondendo à renda líquida do agricultor e avaliando a viabilidade econômica dos sistemas de produção, de acordo com a metodologia descrita por Silva Neto (2005).

O valor agregado foi obtido pela equação:

$$VA = VBP - (CF + CV + D) \quad \text{Eq. 10}$$

em que:

VA: Valor agregado, R\$;

VBP: Valor bruto da produção, R\$;

CF: custos fixos associados ao sistema de produção, R\$;

CV: custos variáveis associados ao sistema de produção, exceto o de mão de obra, R\$;

D: depreciação de equipamentos e instalações, R\$.

O valor bruto da produção (VBP), foi expresso em R\$, e obtido pela medição direta da produção total na respectiva unidade de produção associada à área estabelecida pela cultura (ha) e pelo preço de venda do produto (R\$ kg⁻¹).

Os custos fixos (CF) foram obtidos pelos valores anuais da amortização dos investimentos relacionados às tubulações, sistema de irrigação, poço tubular, sistema de bombeamento. O valor anual do pagamento teve embasamento no enquadramento da linha de financiamento do programa Pronaf Mais Alimento.

No cálculo da depreciação adotou-se como premissa a vida útil do equipamento com valor residual nulo ao término do período de uso, assegurando maior precisão na estimativa.

No que se refere aos custos variáveis, estes foram contabilizados de forma anualizada, discriminando cada item envolvido no processo produtivo. Cabe ressaltar que os produtores possuem funcionários responsáveis por auxiliar nas atividades de manejo e colheita, o que representa um custo adicional, mas necessário para garantir a eficiência das operações. A comercialização do coqueiro se dá por meio de intermediários, visto que um dos agricultores opta pela venda da água de coco, recebendo R\$ 1,75 por Litro, enquanto os outros dois optam pela venda do coco, cujo valor por unidade é de R\$ 0,70, esses valores são referentes ao ano de 2024. A bananeira é comercializada diretamente pelos próprios agricultores, o preço de venda varia de R\$ 90,00 a R\$ 100,00 por milheiro.

Para o cálculo da depreciação dos equipamentos foi utilizado o método linear, levando em consideração a vida útil do equipamento e o valor residual, sendo igual a zero, para os instrumentos que são financiados, de acordo com a equação:

$$Dm = \frac{Vo - VR}{VU} \quad \text{Eq. 11}$$

em que:

Dm: depreciação média anual, R\$;

Vo: valor no momento da aquisição (ano zero), R\$;

VR: valor residual, R\$;

VU: vida útil do equipamento, anos.

O valor agregado a princípio foi calculado para um hectare de produção e para o restante dos hectares foi usada a relação linear ($Y = aX + b$), onde, o eixo das ordenadas é o valor agregado e o eixo das abscissas é representado pela superfície agrícola, considerando que o valor agregado e a superfície agrícola possuem uma relação de dependência.

O coeficiente angular da reta (a) representa a contribuição marginal em relação à área e o coeficiente linear (b) representa o capital fixo necessário para implantar o sistema de produção.

Considerando que o valor agregado (VA) calculado para cada unidade de produção foi associado a uma força de trabalho familiar, bem como a uma superfície agrícola útil, que tem como base 1,0 ha, essa relação foi expandida de forma linear, como forma de se obter um gráfico que relaciona valor agregado/unidade de trabalho familiar (VA/UTf) com superfície

agrícola/unidade de trabalho familiar (SAU/UTf). A geração desse gráfico permitiu identificar a contribuição social (valor agregado) do sistema de produção e o tipo de agricultor, considerando-se as necessidades de área e de capital fixo para a sua implantação, conforme Silva Neto (2005).

3.6.2 Renda do agricultor

A partir do valor agregado para cada sistema, foi calculada a remuneração dos diferentes agentes que participam direta ou indiretamente da produção, incluindo a renda dos agricultores, conforme equação:

$$RA = VA - J - S - I \quad \text{Eq. 12}$$

em que:

RA: Renda do agricultor, R\$ ha⁻¹;

VA: Valor agregado, R\$ ha⁻¹;

J: Juros pagos aos bancos, R\$ ha⁻¹;

S: Salários pagos a trabalhadores (eventuais ou permanentes), R\$ ha⁻¹;

I: Impostos e taxas pagas ao Estado, R\$ ha⁻¹.

Com base no cálculo do valor agregado (VA) e da renda do agricultor (RA) gerados pelo sistema de produção, modelos lineares foram elaborados para representar os resultados econômicos (valor agregado ou renda) dos sistemas de produção em relação a superfície agrícola útil por unidade de trabalho (SAU/UT). Esses modelos lineares estão associados a um nível de reprodução social, que corresponde ao nível de renda mínima anual que o agricultor deve ter para se estabilizar socialmente, dadas as condições econômicas da região. Para isso, considerou-se a renda mensal de um salário-mínimo do ano vigente. Posteriormente, seguindo o mesmo princípio linear, o nível de reprodução social foi estabelecido com base no núcleo familiar que é inteiramente dependente da renda do produtor.

A análise econômico-social dos principais cultivos irrigados foi realizada por meio das variáveis rendimento e produtividade da água de irrigação, valor agregado, renda do agricultor e nível de reprodução social.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fornecimento Relativo de Irrigação

Na Tabela 6 constam os valores do FRI para as áreas analisadas no período de setembro a dezembro de 2024 para a cultura do coqueiro. Conforme os dados, verifica-se que, com exceção do mês de dezembro no Núcleo B, lâminas de irrigação em excesso estão sendo aplicadas em todas as áreas analisadas. Tendo em vista que o FRI relaciona a quantidade de água aplicada, aferida por meio da leitura mensal do hidrômetro instalado em cada área, com o requerimento de água da cultura, observa-se um elevado excesso de água aplicado aos cultivos, o que, certamente, é decorrente da mudança do método de irrigação realizada sem orientação técnica.

Tabela 6 – Fornecimento relativo de irrigação em área irrigada nos setores hidráulicos B (0,44 ha), C (0,33 ha) e D (0,34 ha), respectivamente, com o plantio de coqueiro de pequenos produtores no ano de 2024

MESES	Vol. Forn. (m ³)	ET _o (mm)	K _c	ET _m (mm)	K _r	ET _c (mm)	Prec. Ef (mm)	N.I (mm)	Lâm. Bruta (mm)	Volume (m ³)	FRI
Setembro	851,4	163,3	1,0	163,3	0,94	153,5	0	153,5	170,6	750,5	1,13
Outubro	874,3	167,4	1,0	167,4	0,94	157,4	0	157,4	174,8	769,3	1,14
Novembro	939,98	172,1	1,0	172,1	0,94	161,8	0	161,8	179,7	790,9	1,19
Dezembro	492,51	138,3	1,0	138,3	0,94	130,0	0	130,0	144,4	635,6	0,77
Setembro	762,2	163,3	1,0	163,3	0,94	153,5	0	153,3	170,6	562,8	1,35
Outubro	610,9	167,4	1,0	167,4	0,94	157,4	0	157,4	174,8	577,0	1,06
Novembro	704,23	172,1	1,0	172,1	0,94	161,8	0	161,8	179,7	593,2	1,19
Dezembro	639,66	138,3	1,0	138,3	0,94	130,0	0	130,0	144,4	476,7	1,34
Setembro	1561,9	163,3	1,0	163,3	0,94	153,5	0	153,5	170,6	579,9	2,69
Outubro	942,8	167,4	1,0	167,4	0,94	157,4	0	157,4	174,8	594,5	1,59
Novembro	749,2	172,1	1,0	172,1	0,94	161,8	0	161,8	179,7	611,1	1,23
Dezembro	1860,2	138,3	1,0	138,3	0,94	130,0	0	130,0	144,4	491,1	3,79

Fonte: Autora (2024).

Na Tabela 7 constam os resultados do FRI do período de agosto a dezembro de 2025 para a cultura da bananeira.

Tabela 7 – Fornecimento relativo de irrigação em área irrigada nos setores hidráulicos D₁ (0,33 ha) e D₃ (0,29 ha), respectivamente, com o plantio de bananeira de pequenos produtores no ano de 2025

MESES	Vol. Forn. (m ³)	ET _o (mm)	K _c	ET _m (mm)	K _r	ET _c (mm)	Prec. Ef (mm)	N.I (mm)	Lâm. Bruta (mm)	Volume (m ³)	FRI
Agosto	4028,1	163,3	0,95	155,1	1,0	155,1	0	155,1	172,4	568,8	7,08
Setembro	614,4	167,3	0,95	159,0	1,0	159,0	0	159,0	176,7	583,1	1,05
Outubro	1062,1	172,1	0,95	163,5	1,0	163,5	0	163,5	181,7	599,5	1,77
Novembro	1078,5	138,3	0,95	131,4	1,0	131,4	0	131,4	146,0	481,7	2,24
Agosto	1274,8	163,3	0,95	155,1	1,0	155,1	0	155,1	172,4	499,9	2,55
Setembro	1199,1	167,4	0,95	159,0	1,0	159,0	0	159,0	176,7	512,4	2,34
Outubro	1413,5	172,1	0,95	163,5	1,0	163,5	0	163,5	181,7	526,8	2,68
Novembro	1282,9	138,3	0,95	131,4	1,0	131,4	0	131,4	146,0	423,4	3,03

Fonte: Autora (2025).

Os dados referentes ao FRI e a variação dos resultados entre os agricultores irrigantes, bem como a baixa correlação desses valores com os meses de maior demanda hídrica dos cultivos, demonstram claramente a carência de assistência técnica e o reflexo do conhecimento empírico individual de cada agricultor irrigante.

Para Manghwar *et al.* (2024), o excedente hídrico resulta em alteração no comportamento vegetal da planta cujo caráter permanente será determinado pela duração, pela gravidade e pelo estágio de desenvolvimento em que a planta se encontra, especialmente quando acontece em meio ao processo de florescimento da cultura, diminuindo assim, seu potencial de produzir fitomassa. Esses efeitos são decorrentes do grau e da recorrência do superávit hídrico, que são fatores que favorecem a limitação da produção

Aspectos relacionados à falta de assistência técnica, num ambiente em que houve a necessidade da conversão da irrigação por superfície (sulcos) para um sistema de irrigação localizada do tipo microaspersão, certamente concorrem para os elevados valores de FRI observados. Além desses aspectos, as diferenças nos valores do indicador FRI entre os irrigantes, também estão associados a aspectos de manutenção, operação, tempo de uso e gerenciamento do sistema de irrigação que cada agricultor irrigante adota. Santana *et al.* (2020) entendem que o uso excessivo da água gera consequências como a redução do desempenho e do rendimento da cultura, reduzindo a produtividade e aumentando os custos com a produção e manutenção da propriedade.

Os valores do indicador FRI inerentes às áreas com cultivo da bananeira indicam resultados semelhantes aos das áreas com o cultivo do coqueiro, corroborando, assim, as premissas anteriores relacionadas ao desprovimento de assistência técnica, associado a problemas com vazamentos e manutenção dos equipamentos de irrigação, conforme se observa no mês de agosto no lote D₁.

Um dos problemas que a falta de manutenção acarreta é a frequência e a ocorrência de vazamentos nos sistemas. Esses vazamentos impactam diretamente nos resultados, elevando os valores do FRI. Deve-se destacar que sistemas mais antigos tendem a ser mais precários e propensos a falhas. Reis (2020) destaca que as perdas por vazamento reduzem a produtividade, a qualidade dos frutos e a eficiência da irrigação. A falta de manutenção, agravada pela escassez de mão de obra e pelo pouco conhecimento técnico dos irrigantes, também contribui para a ocorrência desses problemas.

Berhe *et al.* (2022) afirmam que as estratégias de gestão dos sistemas de irrigação falham devido a insuficiência de habilidades técnicas para gerenciar a água de irrigação disponível e a falta de manutenção das estruturas de barragens e canais, ou seja, é um conjunto de fatores que são de certa forma negligenciados pelos produtores quanto pelas organizações públicas responsáveis pelos serviços de manutenção. Melhorar a eficiência da irrigação ao longo do sistema de distribuição e em nível de propriedade rural é um importante objetivo da gestão da água para reduzir o desperdício. Segundo Belay *et al.* (2023), indicadores como o FRI ajudam a promover uma gestão sustentável dos recursos hídricos.

Com base nos dados apresentados, observa-se que, em 2024, os núcleos B, C e D apresentam comportamentos distintos quanto à relação entre o volume fornecido e o volume requerido de água, refletida diretamente no Fornecimento Relativo de Irrigação (FRI). De modo geral, os valores da ETc e da Necessidade de Irrigação (NI) mantêm-se constantes entre os

núcleos, uma vez que derivam da mesma ETo, Kc e Kr, variando principalmente em função da área irrigada e do volume efetivamente fornecido.

O núcleo B apresenta FRI próximo de 1,0 em quase todos os meses, indicando uma condição de relativa adequação hídrica, com leve déficit em dezembro. O núcleo C, por sua vez, demonstra maior oscilação, alternando meses com suprimento adequado e outros com restrição moderada, especialmente em setembro e dezembro. Já o núcleo D evidencia um cenário mais crítico, com valores elevados de FRI em setembro e, sobretudo, em dezembro, o que indica fornecimento de água muito superior à demanda estimada, sugerindo possível ineficiência no manejo ou desbalanceamento na distribuição hídrica ao longo do período analisado.

Essa tendência de desajuste entre oferta e demanda torna-se ainda mais evidente nas Tabelas referentes a 2025, nos núcleos D₁ e D₃. Embora os parâmetros climáticos e os coeficientes de cultura sejam semelhantes aos observados em 2024, os valores de FRI são significativamente mais elevados, especialmente no mês de agosto, quando se registram os maiores desvios entre volume fornecido e volume requerido. Esse comportamento indica um fornecimento excessivo de água no início do ciclo, seguido por uma redução mais equilibrada nos meses subsequentes, ainda que os índices permaneçam acima do ideal.

Comparativamente, o núcleo D₁ apresenta maior intensidade de desequilíbrio hídrico que o D₃, refletindo diferenças no manejo ou na eficiência do sistema de irrigação. Assim, a análise conjunta das Tabelas evidencia a necessidade de ajustes no planejamento e na operação da irrigação, visando maior alinhamento entre demanda hídrica real da cultura e volumes aplicados, de modo a reduzir desperdícios e otimizar o uso dos recursos hídricos.

Embora o FRI indique uso eficiente da água nos lotes, isso não significa necessariamente uma redução no consumo em escala de bacia hidrográfica. A elevação da eficiência da irrigação pode até diminuir a captação local, mas seus impactos na disponibilidade hídrica regional tendem a ser limitados, já que parte da água antes considerada desperdício, como o escoamento, acaba retornando ao ciclo hidrológico e sendo reutilizada (Frizzone, 2021).

4.2 Avaliação de Sistema de Irrigação

A pesquisa avaliou a uniformidade de distribuição de água em sistemas de irrigação por microaspersão para as culturas do coqueiro, da bananeira e de hortaliças, utilizando a metodologia de Keller e Karmeli (1975). Nas Tabelas 8, 9 e 10, são apresentados os resultados das respectivas avaliações, que permitiram estimar a eficiência de aplicação de água dos sistemas de irrigação avaliados (Tabela 11).

Tabela 8 – Coeficientes de Uniformidade (CUC, CUD e CUE) em sistemas de irrigação por microaspersão na cultura do coqueiro

Unid.exp.	CUC	Classificação	CUD	Classificação	CUE	Classificação
D	74,6%	Razoável	62,7%	Ruim	67,0%	Ruim
D ₁	92,3%	Excelente	88,9%	Bom	90,5%	Bom
D ₁	89,5%	Bom	87,4%	Bom	87,6%	Bom
D ₃	90,0%	Excelente	85,3%	Bom	88,2%	Bom
D ₄	89,8%	Bom	84,7%	Bom	87,0%	Bom

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001), Frizzone et, al. (2012) e Borssoi et, al. (2012).

Tabela 9 – Coeficientes de Uniformidade (CUC, CUD e CUE) em sistema de irrigação por microaspersão na cultura da bananeira

Unid.exp.	CUC	Classificação	CUD	Classificação	CUE	Classificação
C ₁	89,7%	Bom	83,4%	Bom	86,8%	Bom
D ₁	85,9%	Bom	79,0%	Razoável	82,6%	Bom
D ₂	94,4%	Excelente	90,1%	Excelente	92,3%	Excelente
D ₂	90,4%	Excelente	85,7%	Bom	85,0%	Bom
D ₃	88,8%	Bom	78,4%	Razoável	85,3%	Bom

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001), Frizzone et, al. (2012) e Borssoi et, al. (2012).

Tabela 10 – Coeficientes de Uniformidade (CUC, CUD e CUE) em sistema de irrigação por microaspersão em hortaliças

Unid.exp.	CUC	Classificação	CUD	Classificação	CUE	Classificação
C ₁	89,4%	Bom	83,4%	Bom	87,2%	Bom
D	91,4%	Excelente	85,0%	Bom	89,2%	Bom
PRECE	92,7%	Excelente	87,8%	Bom	91,4%	Excelente

Fonte: Adaptado de Mantovani (2001), Frizzone et, al. (2012) e Borssoi et, al. (2012).

Tabela 11 – Classificação da eficiência de aplicação de água para sistemas de irrigação por microaspersão considerando o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

Coqueiro			Bananeira			Hortaliças		
Uni. Exp.	CUD (%)	EA (%)	Uni. Exp.	CUD (%)	EA (%)	Uni. Exp.	CUD (%)	EA (%)
D	62,7	56,4	C ₁	83,4	75,1	C ₁	83,4	75,1
D ₁	88,9	80,0	D ₁	79,0	71,1	D	85,0	76,5
D ₁	81,4	78,7	D ₂	90,1	81,1	PRECE	87,8	79,0
D ₃	85,3	76,8	D ₂	85,7	77,1			
D ₄	84,7	76,2	D ₃	78,4	70,6			

Fonte: Autora (2026).

Gultekin *et al.* (2022) compreendem que o CUD e a Ea são os parâmetros fundamentais para avaliar os sistemas de irrigação, tendo em vista que demonstram a qualidade

da irrigação e são determinantes para a fase operacional desses sistemas. Já Al-Gaadi *et al.* (2019) entendem que o coeficiente de uniformidade de distribuição de água é um dos principais parâmetros para que se tenha um diagnóstico do estado e do funcionamento do sistema, uma vez que é possível estimar a variação da lâmina de água aplicada pelo sistema de irrigação.

Conforme a classificação proposta por Mantovani (2001), coeficientes de uniformidade superiores a 90% indicam desempenho excelente, ao passo que valores inferiores a 60% são considerados inadequados para sistemas de irrigação localizada. À luz desse referencial, verifica-se que os sistemas de irrigação por microaspersão adotados pela maior parte dos agricultores avaliados apresentam desempenho compatível com os padrões recomendados. Em contrapartida, no núcleo D, os resultados revelam maior variabilidade, com enquadramento que vai de condição razoável, no caso do CUC, a desempenho insatisfatório para os coeficientes CUD e CUE, evidenciando limitações na eficiência da distribuição de água e a necessidade de ajustes no manejo do sistema.

Baixos valores de uniformidade indicam que grande parte do volume de água aplicado está sendo desperdiçado, pois há ocorrência de percolação profunda da água. No estudo de Lozano *et al.* (2020), verificou-se que a variação na uniformidade de distribuição da água estava diretamente associada às perdas por percolação profunda. Os autores destacam que em sistemas localizados, a baixa uniformidade provoca áreas irrigadas em excesso que extrapolam a capacidade de retenção hídrica do solo, resultando em movimentação descendente da água abaixo da zona radicular.

De forma complementar, Chen *et al.* (2023), ao avaliarem a movimentação da água no solo e a uniformidade da umidade sob irrigação por microaspersão, demonstraram que a desuniformidade de aplicação também intensifica a ocorrência de percolação profunda. Os resultados indicam que em áreas submetidas a lâminas de irrigação superiores à demanda da cultura, a água excedente percola para camadas subsuperficiais, comprometendo a eficiência de aplicação e favorecendo a lixiviação de nutrientes.

Conforme a classificação proposta por Bernardo *et al.* (2006), sistemas de irrigação por microaspersão são considerados eficientes quando apresentam valores de eficiência de aplicação entre 80 e 90%, tendo o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) como parâmetro de referência. Nos lotes analisados, com exceção dos lotes D₁ e D₂, observou-se que os sistemas avaliados operam com níveis reduzidos de eficiência de aplicação de água (Tabela 11). Esse resultado evidencia a influência negativa do manejo empírico da irrigação sobre o desempenho do sistema, uma vez que os irrigantes não dispõem de suporte técnico adequado

para a tomada de decisões fundamentais, tais como a definição do tempo de irrigação e da lâmina de água a ser aplicada.

Nesse contexto, a eficiência de aplicação assume papel central na avaliação da sustentabilidade dos sistemas de irrigação, por expressar o grau de aproveitamento da água disponibilizada em relação às reais demandas hídricas das culturas. Valores reduzidos desse indicador implicam maior consumo de água para atender às necessidades das plantas, o que resulta não apenas em perdas significativas de recurso hídrico, mas também no aumento dos custos associados à operação do sistema. Assim, os lotes que apresentaram menores níveis de eficiência de aplicação demonstram maior fragilidade quanto ao uso racional da água, evidenciando a importância da implementação de estratégias de manejo fundamentadas em critérios técnicos e da realização de ajustes operacionais que contribuam para a otimização do desempenho hidráulico, a economia de água e a sustentabilidade da produção agrícola.

A diferença nos resultados da classificação entre agricultores irrigantes está relacionada a fatores como a pressão de funcionamento do sistema, espaçamento entre os emissores, eventuais entupimentos dos emissores e a manutenção do sistema (Bernardo *et al.*, 2019). O entupimento dos emissores é um problema recorrente para os sistemas de irrigação do PICP, pois em decorrência da oxidação por ferro, o sistema de irrigação fica obstruído regularmente prejudicando a uniformidade de distribuição de água.

A oxidação do ferro presente na água de irrigação pode comprometer diretamente a uniformidade de distribuição do sistema, uma vez que a precipitação de óxidos e hidróxidos de ferro tende a se acumular nos emissores, filtros e tubulações, reduzindo a vazão e provocando entupimentos parciais ou totais. Conforme demonstrado no estudo realizado por Moser *et al.* (2021), o processo está associado principalmente a condições químicas da água, como potencial redox reduzido e elevada supersaturação em relação a minerais de óxido de ferro, que favorecem a formação de incrustações.

Estudo realizado por Veeranna *et al.* (2017), indica que o entupimento do emissor é um grave empecilho para aplicação de água na irrigação. O entupimento pode não ocorrer em todos os emissores, mas reduz a uniformidade de aplicação, podendo obstruir completamente a funcionalidade do sistema, provocando sérios problemas ao sistema de produção. A avaliação de desempenho dos sistemas de irrigação é fundamental, uma vez que a análise conjunta dos coeficientes de uniformidade permite que se evite problemas nos sistemas, reduzindo assim desperdícios e gastos (Alves *et al.*, 2022).

Dentre os fatores que culminam nas diferentes classificações entre os agricultores irrigantes, destaca-se o manejo que cada um faz em suas respectivas áreas e o tempo de uso que

cada sistema de irrigação possui. Observa-se ainda que os agricultores irrigantes que obtiveram bons resultados na avaliação do seu sistema de irrigação, adotam práticas de manutenção semanal, tais como o desentupimento dos emissores, assim como a limpeza das tubulações e do sistema de bombeamento. Além disso, o irrigante que obteve resultados não satisfatórios não realiza o processo de desobstrução dos emissores.

A ausência de manutenção em sistemas de irrigação favorece o acúmulo de sais e depósito de minerais nos emissores, provocando entupimentos parciais ou totais que reduzem a vazão. Abdelsalam *et al.* (2024) afirmam que essa obstrução ocorre de forma desigual ao longo da rede, comprometendo a uniformidade de distribuição e resultando em aplicação irregular de água no campo. Esse desequilíbrio compromete a eficiência do sistema e pode impactar negativamente a produtividade das culturas.

Adicionalmente, as práticas inadequadas de manejo da irrigação impactam diretamente a produtividade das culturas ao comprometerem a uniformidade de aplicação da água. Conforme demonstrado por Zubelzu *et al.* (2023), em áreas de cultivo de bananeira, a aplicação irregular gera zonas com déficit e com excesso hídrico, reduzindo a eficiência do uso da água e limitando o potencial produtivo. Plantas submetidas a déficit hídrico apresentam crescimento restrito e menores rendimentos, enquanto áreas com excesso de irrigação aumentam riscos de acamamento, doenças e perdas de nutrientes. Assim, a uniformidade de aplicação se mostra determinante para a estabilidade produtiva e a sustentabilidade do sistema, evidenciando a necessidade de manejo baseado em critérios técnicos.

A desuniformidade na aplicação de água constitui um fator crítico que compromete a produtividade do coqueiro, como evidenciado por Carvalho *et al.* (2024). No estudo, realizado em condições de clima úmido na Amazônia Oriental, observou-se que áreas submetidas à distribuição irregular de água apresentaram diferenças significativas no crescimento e na produção de frutos, mesmo sob regimes de irrigação tecnicamente planejados. A aplicação desigual gera zonas com déficit hídrico, nas quais as plantas apresentam crescimento restrito, florescimento reduzido e menor produção de frutos, enquanto áreas em excesso podem sofrer perdas por lixiviação de nutrientes, aumento da suscetibilidade a doenças e desperdício de água. Esses efeitos combinados diminuem a produtividade da água e o rendimento global do sistema, evidenciando que a uniformidade de aplicação é determinante para a eficiência do uso da água e para a estabilidade produtiva do coqueiro em condições tropicais.

Diversos fatores estão corroborando efetivamente para os baixos valores de uniformidade na aplicação da água nas áreas avaliadas, podendo ser destacadas linhas laterais distribuídas de forma equivocada, utilização de emissores com vazões diferentes, inserção de

emissores entre as linhas laterais com emissores que já existem, troca de emissores por outros de vazões maiores, vazamentos nas linhas laterais e vazamentos causados por emissores obstruídos.

Com relação à necessidade de se conservar os recursos hídricos e reduzir os custos de produção, sobretudo os de energia elétrica e de insumos, é importante realizar a avaliação de uniformidade de aplicação e do grau de entupimento dos sistemas, especialmente para que se consiga alcançar uma aplicação de água mais uniforme e eficiente (Sinha *et al.*, 2021).

Dessa maneira, é de grande importância o acompanhamento e a manutenção dos sistemas de irrigação em qualquer tipo de produção para que problemas de desuniformidade sejam evitados. Sistemas de irrigação com alta taxa de uniformidade são mais eficientes e promovem benefícios econômicos e ambientais. Um sistema de irrigação eficiente proporciona muitas vantagens para os produtores tais como aumento da produtividade, maior rentabilidade e otimização dos recursos hídricos.

É importante ressaltar que as áreas avaliadas são de agricultores irrigantes familiares de pequeno porte do Projeto Público de Irrigação (PPI) Curu Pentecoste, que num contexto geral, estão completamente desassistidos de Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater) desde meados de 2008. Cabe ainda destacar que estes agricultores irrigantes realizaram a conversão da irrigação por sulcos para sistema de irrigação localizada por microaspersão, totalmente desprovidos de orientação técnica, sendo que tal conversão se fez necessária em razão da crise hídrica de 2012 – 2017, a qual acarretou a suspensão de água oriunda do reservatório General Sampaio. A partir de então, o PPI passou a contar apenas com água oriunda do aquífero aluvial do Rio Curu, dada a deterioração na infraestrutura de uso comum dos canais.

É notório observar que os agricultores irrigantes familiares dos Projetos Públicos de Irrigação, de uma maneira geral, precisam de um acompanhamento técnico especializado. Setores como a comercialização, crédito rural, arranjo da produção, nutrição e problemas fitossanitários, de alguma maneira, tornaram-se mais urgentes do que a utilização sustentável da irrigação. Dessa forma, é necessário que medidas sejam tomadas a curto prazo para que se permita aos agricultores irrigantes apropriarem-se do conhecimento básico referente ao manejo sustentável da irrigação, ações essas só possíveis por meio de parcerias entre os agricultores irrigantes e os Distritos de Irrigação.

4.3 Produtividade da água de irrigação

A escassez hídrica no semiárido é fator preponderante para que a água disponível seja utilizada de maneira eficiente na produção agrícola. A produtividade da água de irrigação constitui um indicador que relaciona a produção comercial das culturas e a quantidade de água utilizada nesta produção, sendo que este indicador quantifica os impactos causados pelos calendários de irrigação em relação ao manejo da água.

Analisaram-se dados de três unidades de experimentação, sendo que nas unidades C e D os agricultores irrigantes realizavam a venda do produto por unidades de coco ao preço médio de R\$0,70 e na unidade de experimentação B, a venda era realizada para a indústria ao preço de R\$1,75 por litro de água de coco. Desta forma, a produtividade da água de irrigação está expressa em frutos m^{-3} (PAI_f) e litros de água de coco por volume de água aplicado, litros m^{-3} (PAI_{ac}).

Os valores de produtividade da água expressos em frutos m^{-3} (PAI_f) ou litros m^{-3} (PAI_{ac}), ao serem multiplicados pelos preços de vendas dos produtos (R\$0,70 por unidade de coco ou R\$1,75 por litro de água de coco), permitem que sejam expressos em R\$ m^{-3} e, assim, se realize uma análise comparativa entre as duas formas de vendas. Nesse caso, a venda realizada diretamente à indústria por meio de contrato anual apresentou um maior retorno financeiro.

Nesse contexto, os resultados indicam que a forma de comercialização exerce influência direta sobre a rentabilidade do uso da água na cultura do coqueiro. A conversão da produtividade física em produtividade econômica evidencia que, mesmo em situações com menores valores de produção por volume de água aplicado, o retorno financeiro pode ser superior quando há maior estabilidade de preços. Assim, a venda contratual com a indústria mostra-se mais vantajosa, pois reduz a exposição às variações do mercado e contribui para maior previsibilidade da receita ao produtor.

A Tabela 12 apresenta os valores de produtividade da água de irrigação na cultura do coqueiro, considerando o ano de 2024 e as diferentes áreas avaliadas. São demonstrados o volume de água aplicado, a produção obtida e os indicadores de eficiência econômica do uso da água, permitindo a comparação do desempenho produtivo entre as áreas analisadas.

Tabela 12 – Produtividade da água de irrigação na variedade coco anão: Irrigação (I), Número de Frutos (NF), Litros de água de coco (Lac), Produtividade da água de irrigação por frutos (PAI_f), Produtividade da água de irrigação por água de coco (PAI_{ac}), Produtividade da água de irrigação (PAI)

Ano	Unid.exp.	I	NF	Lac	PAI _f	PAI _{ac}	PAI
		m ³ ha ⁻¹	frutos ha ⁻¹	L ha ⁻¹	(frutos m ⁻³)	(litros m ⁻³)	R\$ m ⁻³
2024	B	10587		27980		2,64	4,62
	C	12324	55258		4,48		3,14
	D ₁	22983	38059		1,66		1,16

Fonte: Autora (2024).

A análise da produtividade da água de irrigação no cultivo do coqueiro revela que a conversão de indicadores físicos, como frutos por metro cúbico (PAI_f) ou litros de água de coco por metro cúbico (PAI_{ac}), em valores monetários por volume de água aplicado é uma abordagem robusta para mensurar a eficiência econômica do uso da água. Carvalho *et al.* (2024) destacam que a quantificação da produtividade hídrica em coqueiro pode ser realizada a partir da produção de frutos em relação à lâmina de irrigação aplicada, fornecendo subsídios técnicos para o cálculo da produtividade econômica da água (R\$ m⁻³). Essa metodologia é consistente com abordagens relatadas em outros cultivos irrigados, em que a receita ou a margem bruta por unidade de água aplicada é utilizada como indicador central de avaliação (Perelli *et al.*, 2024).

No presente estudo, verificou-se que a venda da produção em unidades de frutos (R\$ 0,70 por fruto) resultou em menores valores de produtividade econômica da água em comparação à comercialização direta para a indústria (R\$ 1,75 por litro de água de coco), nesse caso, cada coco produziu em média 400 mL de água. Essa diferença reforça a importância da escolha do mercado consumidor no cálculo da eficiência do uso da água, dado que a mesma lâmina de irrigação pode gerar retornos econômicos distintos dependendo do destino da produção. Cardoso *et al.* (2024) salientam que estratégias de redução de custos e formas diferenciadas de comercialização têm impacto direto na rentabilidade do coqueiro irrigado, evidenciando que a avaliação da produtividade da água em termos monetários deve estar associada ao modelo de comercialização adotado.

Além disso, a comparação entre formas de venda aproxima-se das discussões sobre a PAI em diferentes culturas, nas quais o retorno financeiro por metro cúbico de água é usado como parâmetro para tomada de decisão em políticas e práticas de manejo (Buttinelli, 2024; Mohseni *et al.*, 2022). No caso específico do coqueiro, a maior produtividade da água em termos monetários observada no sistema de venda à indústria sugere que, além da eficiência técnica do uso da água, o arranjo de mercado deve ser considerado como variável determinante na sustentabilidade econômica da irrigação. Assim, a integração de indicadores físicos e

econômicos de produtividade da água se mostra fundamental para orientar tanto agricultores familiares quanto grandes produtores em contextos de crescente pressão sobre os recursos hídricos.

4.4 Qualidade da água de poços rasos para irrigação

Nas regiões semiáridas, a salinidade do solo é marcada pela sua alta concentração de sais solúveis e/ou de sódio trocável, o que promove consequências negativas para a fertilidade dos solos, implicando em restrições para o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Com relação ao impacto da elevada concentração de sais solúveis é possível destacar sua influência na condutividade elétrica e na concentração de ânions na solução do solo; na condição sódica, outro problema é o alto valor do pH (Santos *et al.*, 2016).

A exploração excessiva de recursos hídricos subterrâneos juntamente com o manejo inapropriado em áreas agrícolas é uma das questões habituais nas regiões semiáridas. Dentre os problemas analisados, a salinidade, a sodicidade e a concentração de ferro (Fe), fazem parte dos vários parâmetros determinantes para se avaliar e monitorar a qualidade das águas subterrâneas.

A pesquisa verificou áreas de cultivo com problemas de alta salinidade (Núcleo D), decorrentes de uma salinização secundária proporcionada pelo manejo inadequado quando ainda se praticava a irrigação por sulcos, método que não é recomendado para solos com drenagem deficiente. Verificam-se também áreas de cultivo que apresentam problemas moderados de salinização (Núcleos B e C); nesse caso, águas com salinidade média podem ser utilizadas, desde que ocorra uma lixiviação moderada. Na maioria dos casos, culturas com tolerância ao sal podem ser cultivadas sem necessidade de medidas especiais, levando em consideração os parâmetros da classificação de Ayers; Westcot (1994).

Segundo Richards (1954), a água pode ser classificada como de moderada a elevada salinidade. A salinização compromete a estrutura física e química do solo, diminuindo a infiltração de água e a condutividade hidráulica e promove a dispersão das partículas de argila. Além disso, danifica a composição e a atividade da população microbiana do solo, diminuindo a decomposição de matéria orgânica, e a ciclagem de nutrientes. Todos esses fatores afetam de forma negativa a produtividade das plantas (Hailu *et al.*, 2021).

Outro fator que contribui para o aumento da salinidade do solo, é o manejo incorreto da adubação e o uso de fertilizantes químicos. O manejo adequado da adubação é uma prática fundamental para potencializar a produção, principalmente em sistemas de cultivo que sofrem com condições de estresse ambiental, como a salinidade, condição comum nas regiões semiáridas (Hashemi *et al.*, 2022). No PICP, a adubação é feita utilizando fertilizantes químicos

de maneira totalmente empírica, pois, é mais barata e os irrigantes não contam com assistência técnica.

Com relação aos problemas provocados pela sodificação, as ferramentas metodológicas demonstram que, no geral, as áreas analisadas apresentam risco leve de sodificação. Os valores de RAS, quando relacionados à salinidade maior que $0,7 \text{ dS m}^{-1}$ (situação da maioria das áreas do PICP), não se configuram como um risco de problemas de infiltração de água no solo. As principais culturas das áreas estudadas são coqueiro e bananeira, que, respectivamente, possuem tolerância boa e moderada à salinidade dentro da faixa de restrição (Ayers; Westcot, 1994). No entanto, o manejo da adubação ao longo dos anos vem sendo feito de maneira equivocada, aumentando o risco de salinização dos solos em áreas onde a drenagem não é eficiente (Singh, 2021).

Com base no que foi anteriormente discutido, Adhanom (2019) afirma, em sua pesquisa, que os sais encontrados na água de irrigação afetam a estrutura do solo e podem provocar a redução da produtividade. O acompanhamento contínuo da qualidade da água, visando à avaliação dos possíveis problemas de salinidade e de sodicidade, é indispensável para a sustentabilidade da agricultura irrigada. A susceptibilidade das regiões áridas e semiáridas quanto ao risco de salinização e sodificação é, de uma maneira geral, é fundamentada nas altas taxas de evaporação e índices reduzidos de precipitação pluviométrica anual.

Segundo os parâmetros estabelecidos pela FAO (Ayers; Westcot, 1994), as amostras analisadas estão dentro da faixa padrão de concentração de sais para água de irrigação em todos os atributos físico-químicos avaliados. É importante enfatizar que o acúmulo de água no período chuvoso intercalado com crescimento da evaporação no período de estiagem, favorece uma variação expressiva na quantidade e qualidade do teor de sais presentes na água, o que conseqüentemente provoca impactos no uso para irrigação e drenagem. Portanto, é fundamental avaliar a qualidade da água como uma ação preventiva do processo de salinidade pela concentração de sais provenientes de ciclos sucessivos de irrigação (Alcântara, 2024).

As elevadas concentrações de sódio e magnésio podem ser atribuídas à dissolução iônica dos minerais ou à troca de cátions e ao uso de fertilizantes, respectivamente. O aumento dos teores de sódio nas águas subterrâneas está relacionado à contaminação antrópica, como os efluentes provenientes de fossas sépticas, o que corrobora para o aumento da salinização das águas subterrâneas e para o comprometimento da qualidade da água (Agoubi, 2021).

Levando em consideração o teor de Cl^- e o grau de risco do uso para irrigação por microaspersão, que é majoritariamente utilizada nas áreas estudadas, a maioria das amostras foi classificada com graus de restrição de moderado (B, C e D) a alto risco (D) para uso. Dados da

pesquisa de Su *et al.* (2022), comprovam que as maiores concentrações dos íons de Cl^- presentes no solo são lixiviados pelas águas pluviais e, conseqüentemente, transportadas para o lençol freático, principalmente quando a condutividade da água é alta.

Para Zakaria *et al.* (2020), a presença de Cl^- nas águas subterrâneas é proveniente de ações antrópicas, como a utilização de fertilizantes ou esterco, a exploração de águas subterrâneas e a lixiviação no horizonte superficial do solo provocado pelo manejo incorreto da irrigação.

O cloreto associado ao sódio e ao boro, são os íons que causam maior preocupação. As limitações provocadas pela toxicidade ocorrem até mesmo em concentrações baixas, e a toxidade manifesta-se de maneira frequente em associação com os problemas de salinidade ou de infiltração de água. Os íons com capacidade de causar toxidade são incorporados em quantidades consideráveis e distribuídos nas folhas, onde ocorre o acúmulo durante o processo de transpiração. O nível de dano depende da etapa de exposição ou da quantidade do íon, da susceptibilidade e dos aspectos da cultura (Ayers; Westcot, 1994).

Nas regiões semiáridas, a combinação de recargas limitadas, alta taxa de evaporação e a dissolução de halita culmina na concentração crescente de cloreto, que é potencializada pela diminuição das quadras chuvosas, seguida dos períodos de seca. Isso demonstra que, durante longos períodos de estiagem e com aumento da evaporação os aquíferos não conseguem se recarregar ao ponto de conseguir diluir os sais, viabilizando o aumento do cloreto, e, conseqüentemente contribui para a salinização das águas de um aquífero (Ait Lemkademe *et al.*, 2023). Essa afirmação explica a predominância de cloreto nas áreas estudadas, por conta da escassez hídrica e da evaporação.

A área de estudo passou por um longo período de crise de abastecimento de água (2012 – 2017), o ano de estudo é considerado regular no diz respeito ao volume anual de chuva. O alto índice de demanda de água, associada às mudanças climáticas (menos chuvas mais evapotranspiração), intensifica e afeta negativamente a qualidade da água. A falta de controle e gestão adequadas comprometem a sustentabilidade hídrica, agravando o quadro de futuros desastres caso medidas como por exemplo, coleta de água da chuva e reflorestamento de aquíferos não sejam adotadas (Alao *et al.*, 2024).

Os valores de pH variaram de 6,5 a 7,5 sendo classificados dentro da faixa considerada ideal para irrigação. De acordo com as diretrizes padrão da FAO, a faixa ideal de pH para água de irrigação varia de 6,5 a 8,4. Água de irrigação com pH fora dessa faixa pode provocar toxidade para as plantas, resultando em uma alteração nutricional. Desse modo, é

necessário que se faça o monitoramento do pH frequentemente, pois seu aumento pode culminar também em lixiviação de metais pesados (Azefri *et al.*, 2023).

Os resultados das análises de SDT, demonstraram que os valores se enquadram na faixa de uso sem restrição para fins de irrigação; classificação como boa. SDT é um parâmetro importante que está diretamente ligado à concentração de materiais orgânicos e inorgânicos presentes na água (Selmane *et al.*, 2022). Os valores de SDT para as áreas estudadas variaram de 650 a 1.440 mg L⁻¹. Esses resultados podem ser atribuídos ao processo de lixiviação de sais na zona não saturada para o lençol freático pela infiltração de água da chuva (Sharma *et al.*, 2017).

4.5 Análise da sustentabilidade econômico-social

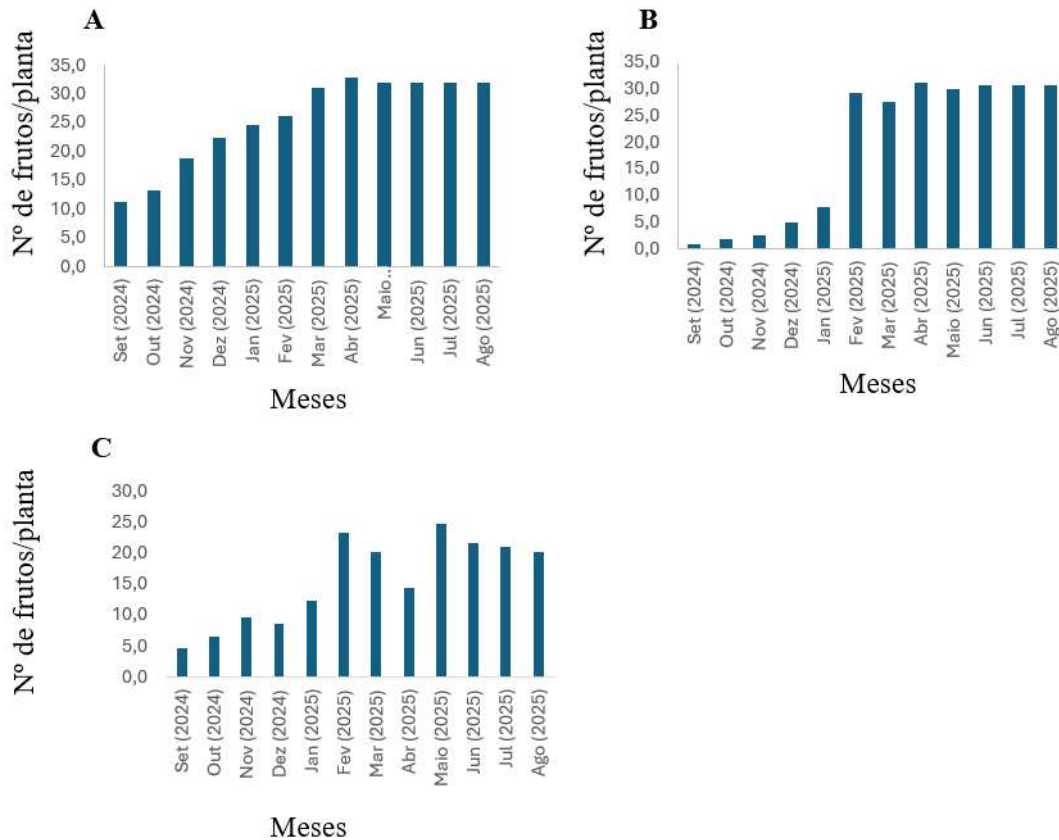
Na análise econômico-social utilizaram-se os indicadores valor agregado e renda do agricultor com dados de produção do coqueiro anão e da produção de bananeira “Pacovan”, referentes ao ano agrícola de 2024 a 2025, contemplando os cenários com e sem financiamento.

Os resultados indicam que a produção do coqueiro aumentou nas três áreas avaliadas. A área composta por 100 plantas (Figura 1A), apresenta uma produção inicial de 11 cocos/planta/mês, enquanto na segunda área é composta de 80 plantas (Figura 1B), a média era de menos de um coco/planta/mês, e na última área analisada com 69 plantas (Figura 1C), a produção era aproximadamente cinco cocos/planta/mês. As áreas apresentaram crescimento da produção ao longo dos meses, evidenciando uma evolução positiva durante o período de realização da pesquisa.

A assistência técnica voltada a esses irrigantes teve papel central nesse processo, especialmente por meio do trabalho de campo contínuo. A presença dos pesquisadores permitiu auxiliar de forma prática as decisões no dia a dia dos irrigantes, promovendo ajustes simples, porém efetivos, que corroboraram para o aumento da produtividade. Esse acompanhamento próximo favoreceu o uso mais racional dos recursos disponíveis, reduzindo perdas e contribuindo para a melhoria dos resultados produtivos a longo prazo.

Além de ampliar a produção, a assistência técnica fortalece práticas mais sustentáveis, ao alinhar o conhecimento técnico às condições reais das propriedades. O suporte contínuo aos pequenos irrigantes possibilita maior segurança nas tomadas de decisões, melhor aproveitamento do potencial das áreas cultivadas e maior estabilidade produtiva ao longo do tempo, reforçando a importância do acompanhamento técnico como estratégia essencial para a otimização sustentável dos sistemas agrícolas, no âmbito da agricultura irrigada de pequeno porte.

Figura 1 – Desempenho produtivo da variedade de coqueiro anão de três irrigantes do PICP, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D), respectivamente, avaliadas no período de 2024 a 2025



Fonte: Autora (2025).

4.5.1 Valor agregado

Nas Tabelas 13 a 18 estão apresentados os valores de valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção dos cultivos do coqueiro anão e da bananeira ‘Pacovan’ para os cenários com e sem financiamento.

A análise dos valor agregado, considerando a unidade de 1,0 hectare, evidencia variações expressivas no desempenho produtivo entre os produtores avaliados. O valor bruto de produção anual apresentou variações relevantes, atingindo R\$ 48.965,00, R\$ 38.680,30 e R\$ 26.641,18, conforme apresentado nas Tabelas 13, 14 e 15, respectivamente.

Em sua pesquisa Alouw e Wulandari (2020) apontam que diversos fatores políticos, ambientais e socioeconômicos influenciam a produção de coco, o que pode resultar em baixos rendimentos, como idade avançada das plantas, incidência de pragas e doenças, práticas de manejo inadequadas. De maneira semelhante, Omara e Fatah (2020) comprovaram com sua investigação que indicadores sociais, como educação, visitas técnicas, projetos de extensão, terra e trabalho, também impactam a produção de coco.

Tabela 13 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, no setor hidráulico B, 2024

	Discriminação	Sem financiamento	Com financiamento
Custo Fixo (CF)	Poço raso	2500	250
	Sistema de bombeamento	1900	190
	Adução	4579	457,90
	Sistema de irrigação	10500	1050
	Total	19479	1947
Custo Variável (CV)	Mão de obra	6400	640
	Fertilizantes	3000	300
	Defensivos	1700	170
	Energia elétrica	1600	160
	Total	12700	1270
Produção	Valor bruto de produção	48965,80	48965,80
Depreciação	Anual	745	745
Valor Agregado	VA = VBP – (CF+CV+D)	22441,80	45642,90

Fonte: Autora (2024).

Tabela 14 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, no setor hidráulico C, 2024

	Discriminação	Sem financiamento	Com financiamento
Custo Fixo (CF)	Poço raso	2000	200
	Sistema de bombeamento	1900	190
	Adução	3022,14	302,21
	Roçadeira	3600	360
	Sistema de irrigação	10500	1050
	Total	21022,14	2102,21
Custo Variável (CV)	Mão de obra	5000	500
	Fertilizantes	800	80
	Defensivos	800	80
	Energia elétrica	1600	160
	Total	8200	820
Produção	Valor bruto de produção	38680,30	38680,30
Depreciação	Anual	1440	1440
Valor Agregado	VA = VBP – (CF+CV+D)	13018,16	34818,09

Fonte: Autora (2024).

Tabela 15 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, no setor hidráulico D, 2024.

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Fixo (CF)	Poço raso	2000	200
	Sistema de bombeamento	1900	190
	Adutora	1831,60	183,16
	Sistema de irrigação	10500	1050
	Total	16231,60	1623,16
Custo Variável (CV)	Mão de obra	5000	500
	Fertilizantes	1600	160
	Defensivos	1600	160
	Energia elétrica	1600	160
	Total	9800	980
Produção	Valor bruto de produção	26641,18	26641,18
Depreciação	Anual	720	720
Valor Agregado	VA = VBP – (CF+CV+D)	4889,58	23818,02

Fonte: Autora (2024)

Para o cultivo da bananeira, considerando a área de 1,0 hectare, os valores brutos anuais de produção variaram entre as áreas avaliadas, atingindo R\$ 36.496,35 (Tabela 16), R\$ 37.094,28 (Tabela 17) e R\$ 29.865,60 (Tabela 18). Observa-se que a maior produção anual correspondeu a 3.091 milheiros, associada à área com maior densidade de plantas. As produções totais foram de 2.400, 3.091 e 3.041 milheiros, provenientes de áreas com 200, 300 e 400 bananeiras da cultivar “Pacovan”, respectivamente. Esses resultados indicam que o aumento no número de plantas por hectare exerce influência direta sobre o desempenho produtivo, embora nem sempre resulte em incrementos proporcionais no valor bruto da produção.

No estudo realizado por Wongnaa *et al.* (2024), verifica-se que os custos variáveis (fertilizantes, mão de obra, defensivos etc.), compõem de 60 a 70% do custo total de produção por hectare principalmente em pequenas e médias propriedades rurais, enquanto os custos fixos somados podem atingir até 40% dos custos totais.

Tabela 16 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, no setor hidráulico D₁, 2025

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Fixo (CF)	Poço raso	2500	250
	Sistema de bombeamento	1900	190
	Adutora	3052	305,24
	Sistema de irrigação	10500	1050
	Total	17952,36	1795,24
Custo Variável (CV)	Mão de obra	4500	450
	Fertilizantes	1500	150
	Defensivos	1500	150
	Energia elétrica	2700	270
	Total	10200	1020
Produção	Valor bruto de produção	36496,35	36496,35
Depreciação	Anual	745	745
Valor Agregado	VA = VBP – (CF+CV+D)	12098,99	33386,11

Fonte: Autora (2025).

Tabela 17 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, no setor hidráulico D₂, 2025

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Fixo (CF)	Poço raso	2500	250
	Sistema de bombeamento	1900	190
	Adutora	3052	305,24
	Sistema de irrigação	10500	1050
	Total	17952	1795
Custo Variável (CV)	Mão de obra	6000	600
	Fertilizantes	2000	200
	Defensivos	2000	200
	Energia elétrica	3600	360
	Total	13600	1360
Produção	Valor bruto de produção	37094,28	37094,28
Depreciação	Anual	745	745
Valor Agregado	VA = VBP – (CF+CV+D)	10796,92	33794,05

Fonte: Autora (2025).

Tabela 18 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, no setor hidráulico D₃, 2025

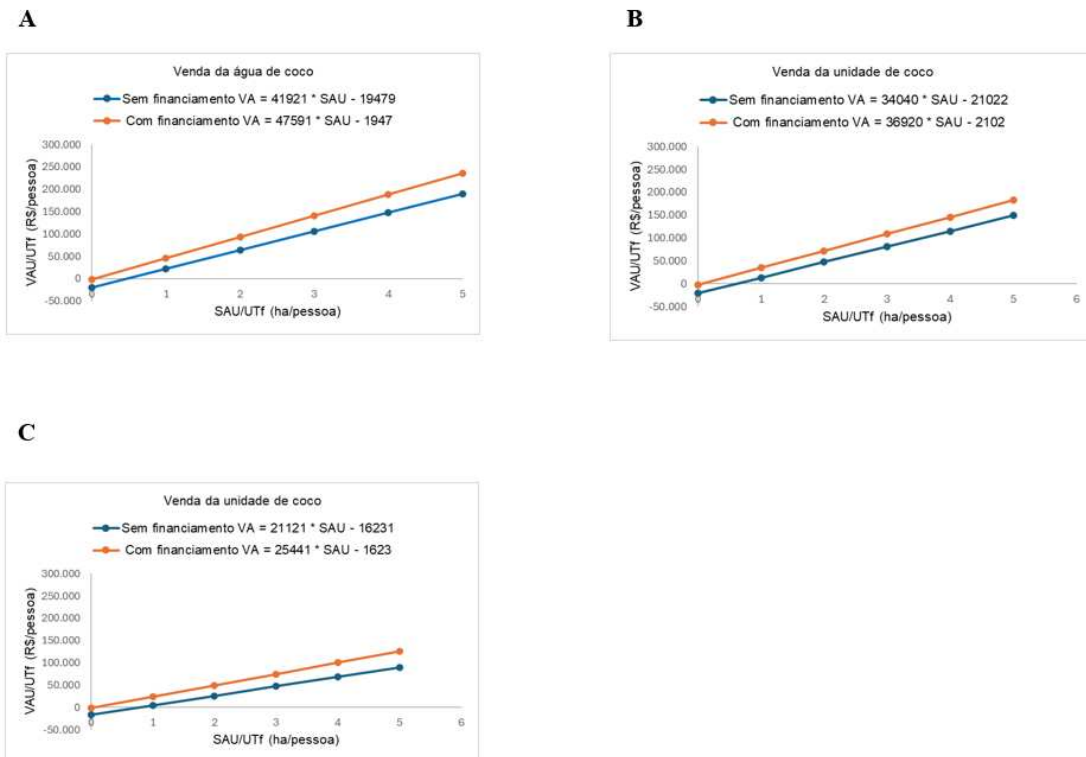
Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Fixo (CF)	Poço raso	2500	250
	Sistema de bombeamento	1900	190
	Adução	6135	613,59
	Sistema de irrigação	10500	1050
	Total	21035,86	2103
Custo Variável (CV)	Mão de obra	5250	525
	Fertilizantes	3000	300
	Defensivos	1500	150
	Energia elétrica	3000	300
	Total	12750	1275
Produção	Valor bruto de produção	29865,60	29865,60
Depreciação	Anual	745	745
Valor Agregado	VA = VBP – (CF+CV+D)	584,74	26267,02

Fonte: Autora (2025).

Na Figura 2 estão apresentados os gráficos com as equações de valor agregado para a produtividade do coco anão. Foram considerados dois cenários, com e sem financiamento. Para a estimativa com financiamento, utilizou-se como parâmetro o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf Mais Alimento).

Nas produções que não possuem financiamento, há um peso maior dos custos fixos, totalizando, respectivamente, R\$ 19.479,00 (Figura 2A), R\$ 21.022,00 (Figura 2B) e R\$ 16.231,00 (Figura 2C). Isso, conseqüentemente, gera uma contribuição marginal (lucro) menor: R\$ 41.921,00, R\$ 34.040,00 e R\$ 21.121,00, respectivamente. Entretanto, a contribuição marginal é positivamente alterada com o uso do financiamento, resultando em maiores contribuições marginais por unidade de área, que alcançam R\$ 47.591,00, R\$ 36.920,00 e R\$ 25.441,00, associadas a uma redução de 10% no valor do custo fixo R\$ 1.947,00, R\$ 2.102,00 e R\$ 1.623,00, respectivamente.

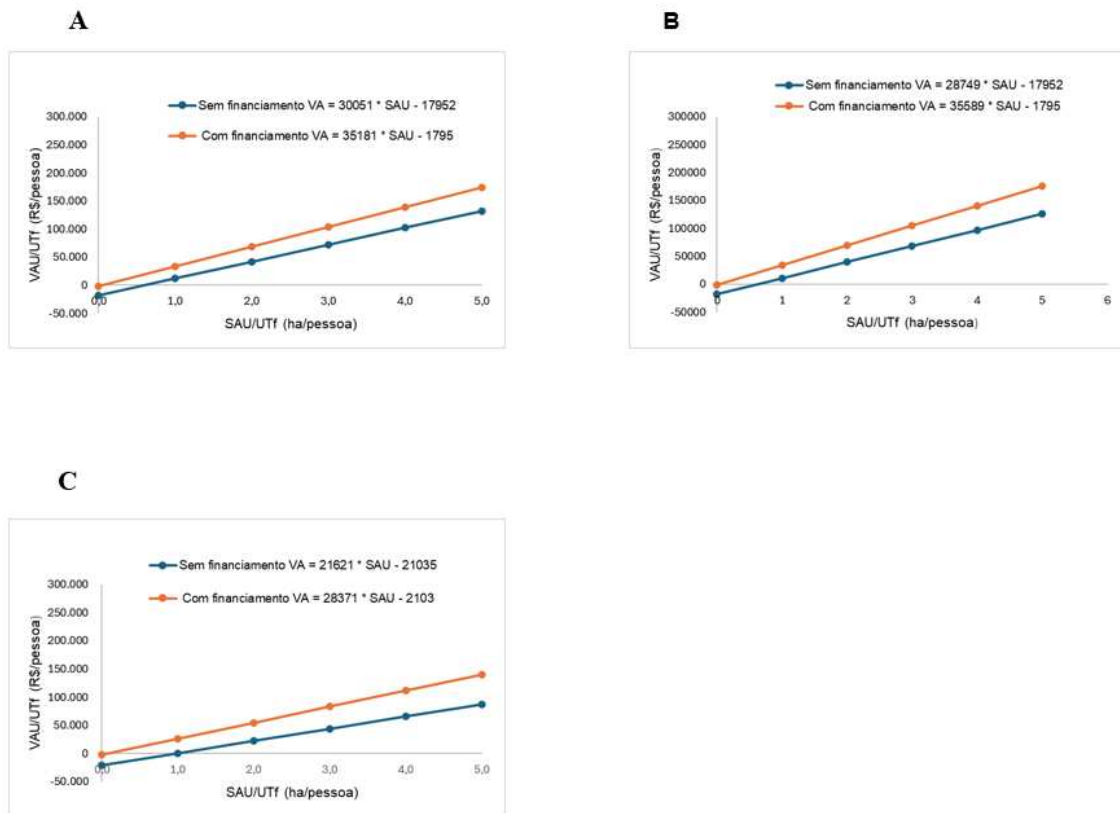
Figura 2 – Valor agregado anual para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento para pequeno produtor (venda da água de coco e da unidade de coco), referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D)



Fonte: Autora (2024).

Na Figura 3 são apresentados os gráficos com as equações de valor agregado para a produtividade da banana ‘Pacovan’. Foram considerados dois cenários, com e sem financiamento. Assim como ocorreu na análise técnico econômica do coqueiro, as produções que não possuem financiamento apresentaram um peso maior dos custos fixos, totalizando, respectivamente, R\$ 17.952,00 (Figura 3A), R\$ 17.952,00 (Figura 3B) R\$ 21.036,00 e (Figura 3C), o que gera uma contribuição marginal (lucro) de R\$ 30.051,00, R\$ 28.749,00 e R\$ 21.621,00, respectivamente. Entretanto, a contribuição marginal é positivamente alterada com o uso do financiamento, resultando em maiores contribuições marginais por unidade de área, alcançando R\$ 35.181,00, R\$ 35.589,00 e R\$ 28.371,00, associadas a uma redução de 10% no valor do custo fixo R\$ 1.795,00, R\$ 1.795,00 e R\$ 2.103,00, respectivamente.

Figura 3 – Valor agregado anual para a banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico D₁), B (Setor hidráulico D₂) e C (Setor hidráulico D₃)



Fonte: Autora (2025).

Ao analisar a margem necessária para cobrir os custos, pode-se observar, pelas Figuras, que, na realidade financeira do pequeno produtor, é possível chegar nessa margem em menos de 1,0 hectare no cenário com financiamento. Esses resultados demonstram a importância dos programas de financiamento para produtores de pequeno porte, pois permitem uma geração de capital e de lucro mais sustentável.

Com relação ao indicador de valor agregado no que se refere à superfície agrícola útil é possível identificar as contribuições sociais para todos os custos presentes na análise. A partir desse indicador, percebe-se que a unidade de produção é mais suscetível a entraves para que possa sustentar as atividades agrícolas e para acompanhar as diferentes dinâmicas econômicas de acumulação de capital no setor agrário.

A problemática da liberação das linhas de crédito por parte das instituições financeiras, é um fator que influencia bastante as atividades agrícolas de pequenos e médios produtores, pois constitui uma das principais restrições enfrentadas por eles. Grande parte das instituições de fomento, dentro ou fora dos projetos de irrigação coloca algum tipo de resistência à liberação de crédito aos produtores de pequeno porte, pois há o entendimento de

que a agricultura é uma atividade que economicamente é muito arriscada, principalmente em regiões que enfrentam períodos de seca (Wongnaa *et al.*, 2024).

Para Ahmad *et al.* (2020), uma das razões pelas quais grande parte das produções agrícolas é de subsistência é que a maioria dos agricultores não conseguem financiamento para que possam ter algum tipo de amparo em caso de perda. Dessa maneira, muitos serviços considerados básicos acabam sendo negligenciados por falta de recurso financeiro, como a compra de ferramentas, equipamentos agrícolas ou de máquinas agrícolas consideradas simples. A falta de financiamento aos produtores é um empecilho para que sejam adotadas tecnologias ou inovações do setor, uma vez que, a maioria das inovações possuem um custo de aquisição e exige conhecimentos técnicos para sua utilização.

Segundo Arifin (2022), a falta de assistência técnica por parte das instituições públicas possui impacto considerável nos lucros, uma vez que é um serviço associado ao manejo da produção. De acordo com Jaya e Gurbuz (2020), a escassez de mão de obra é um outro fator que provoca resultados insatisfatórios no setor agrícola. Para Jayawardhana e Warnakulasooriva (2020), outro fator que se reflete nos valores finais das análises econômicas, são práticas agrícolas inadequadas potencializadas pela falta de assistência técnica. Todos esses fatores poderiam ser atenuados ou mitigados se os pequenos produtores fizessem parte de programas de financiamento, para que de alguma maneira, lhes fossem oferecidos algum tipo de amparo financeiro.

4.5.2 Renda do Agricultor

De um modo geral, para fazer a análise econômica de um sistema de produção, é necessário calcular um indicador econômico, que é a renda do agricultor, pois esse está diretamente relacionado à dinâmica do sistema de produção agrícola, à estabilidade do produtor rural e ao seu bem-estar socioeconômico.

Foram considerados os cenários sem e com financiamento do Pronaf para fins de comparação, sendo que o programa oferece uma taxa de juros de 2,5% por ano, com prazo de pagamento do empréstimo de dez anos. Nas Tabelas 19 a 24, estão expostos os componentes utilizados para o cálculo do indicador, para ambas as culturas estudadas, quantificados pela diferença entre o valor agregado da produção, os custos totais com acréscimo dos juros estipulados pelos credores e a mão de obra. Na análise, não foi considerado o pagamento do ITR (Imposto sobre Propriedade Rural), tendo em vista que se trata de um Projeto Público de Irrigação.

Tabela 19 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de coco anão, setor hidráulico B, 2024 – (Venda da água de coco)

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	22.441,80	45.642,90
Juros 2,5%	804,48	80,45
Salário pago ao trabalhador	6.400	640
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	15.237	44.922

Fonte: Autora (2024).

Tabela 20 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de coco anão, setor Hidráulico C, 2024

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	13.018,16	34.818,09
Juros 2,5%	730,55	73,06
Salário pago ao trabalhador	5.000	500
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	7.288	34.245

Fonte: Autora (2024).

Tabela 21 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de coco anão, setor hidráulico D, 2024

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	4.889,58	23.818,02
Juros 2,5%	650,79	65,08
Salário pago ao trabalhador	5.000	500
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	-761	23.253

Fonte: Autora (2024).

Tabela 22 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de banana ‘Pacovan’, setor hidráulico D₁, 2025

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	12.098,99	33.386,11
Juros 2,5%	703,81	70,38
Salário pago ao trabalhador	4.500	450
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	6.895	32.866

Fonte: Autora (2025).

Tabela 23 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de banana ‘Pacovan’, setor hidráulico D₂, 2025

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	10.796,00	33.794,00
Juros 2,5%	788,81	78,88
Salário pago ao trabalhador	6.000	600
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	4.008	33.115

Fonte: Autora (2025).

Tabela 24 – Renda do agricultor (RA) anual para produção de banana ‘Pacovan’, setor hidráulico D3, 2025

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	584,74	26.627,02
Juros 2,5%	844,65	84,46
Salário pago ao trabalhador	5.250	525
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	-5.510	25.658

Fonte: Autora (2025).

Os cálculos para os salários pagos pela prestação de serviços de terceiros, foram realizados com base em informações oferecidas pelos próprios agricultores. Pode-se notar que, a renda do agricultor no cenário com financiamento é mais expressiva do que a observada no cenário sem financiamento para todos os produtores analisados. Nas Tabelas 21 e 24 observa-se no cenário sem financiamento que os produtores possuem uma renda negativa de R\$ -761,00 e R\$ -5.510,00, todavia com a linha de crédito do Pronaf as rendas aumentariam para R\$ 23.253,00 e R\$ 25.658,00.

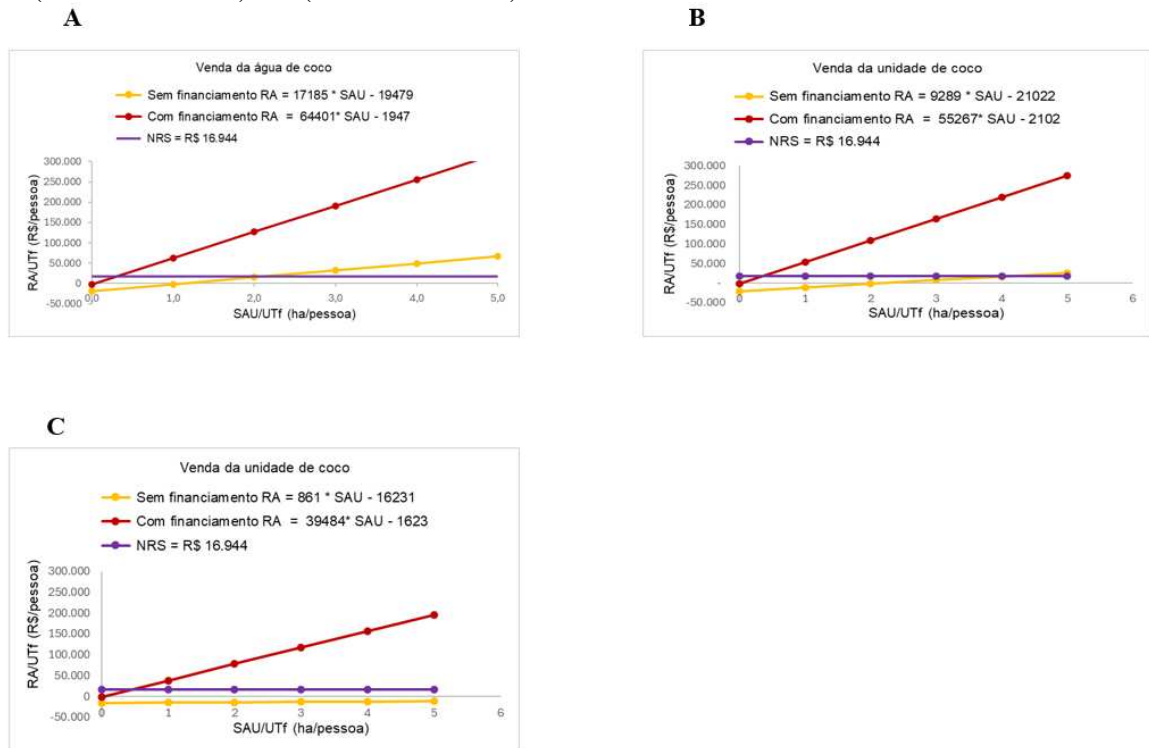
Alguns estudos, como o de Haryanto *et al.* (2023), destacam o impacto que o acesso às linhas de crédito tem, tanto na produtividade quanto na renda do agricultor. O estudo aponta para uma relação direta entre a produtividade, renda agrícola e eficiência técnica com acesso as linhas de crédito. Isso pode ser explicado pelo aumento do prazo que o produtor tem para pagar custos; ou seja, a produtividade e a renda são potencializadas porque o pequeno produtor tem segurança financeira e pode investir a longo prazo. É importante destacar que ter uma linha de crédito disponível incrementa o fluxo de caixa do agricultor, permitindo que ele tenha acesso a novas tecnologias e insumos agrícolas. Dito isso, é possível afirmar que o aumento da renda do agricultor pode ser maior se ele possuir algum tipo de financiamento.

O nível de reprodução social (NRS), é um indicador econômico que possui uma correlação direta com a renda de reprodução social, entendida como o montante mínimo de recursos que viabiliza a manutenção das condições materiais de existência, a continuidade produtiva e a permanência no território rural, tendo como referência o salário-mínimo. Segundo Brasil (2023), por meio do decreto nº 11.864/2023, a partir de 1º de janeiro de 2024, o valor do salário-mínimo será de 1.412,00, um acréscimo de 6,97% em relação ao ano anterior e, consequentemente, contribuiu para o aumento das rendas anuais de R\$ 44.922,00 (Tabela 19), R\$ 34.245,00 (Tabela 20), R\$ 23.253,00 (Tabela 21) R\$ 32.866,00 (Tabela 22), R\$ 33.115,00 (Tabela 23) e R\$ 25.658,00 (Tabela 24),.

Nas Figuras 4 e 5 visualizam-se os valores de renda do agricultor para os cenários com e sem financiamento para a produção do coqueiro anão, para venda da água de coco e da unidade de coco. Para a realização da atividade com financiamento, o NRS é alcançado em

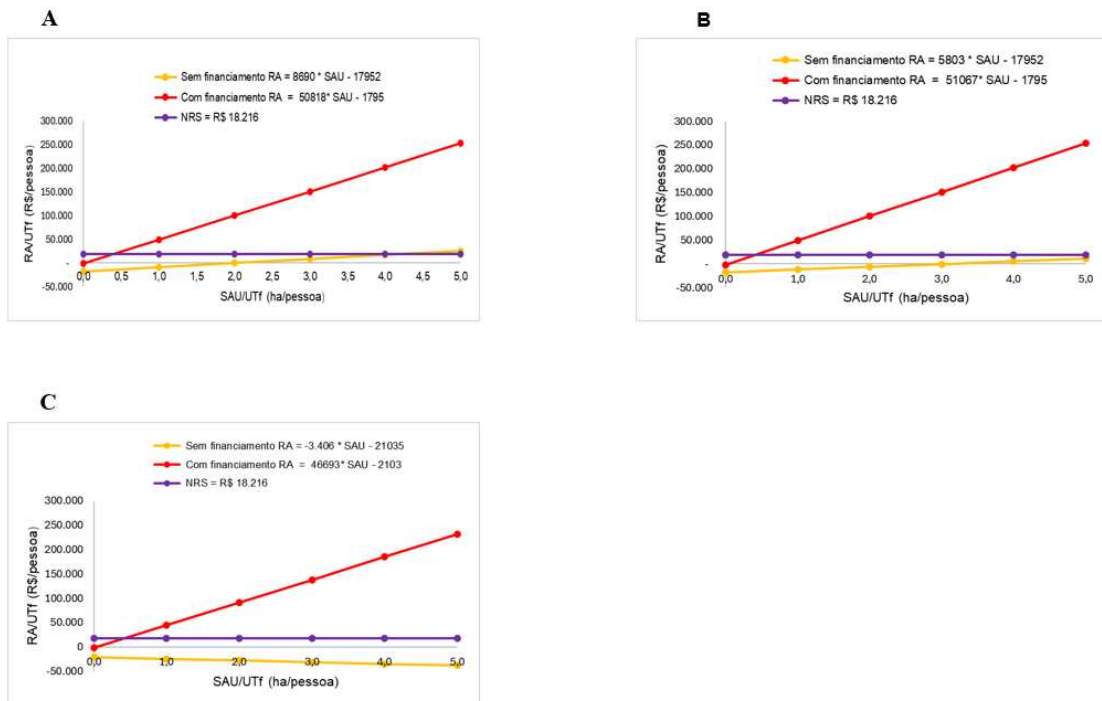
menos de 1,0 ha de produção sendo, sendo de 0,29 ha (Figura 4A), 0,34 ha (Figura 4B) e de 0,47 ha (Figura 4C), para a cultura do coqueiro. Para a cultura da bananeira, a superfície agrícola útil continua menor que 1,0 ha, sendo de, 0,39 ha (Figura 5A), 0,39 ha (Figura 5B) e 0,44 ha (Figura 5C). Para atingir o NRS sem financiamento o produtor precisa ter no mínimo uma área produtiva de 1,0 ha.

Figura 4 – Renda do agricultor na produção de coqueiro anão com e sem financiamento, 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D)



Fonte: Autora (2024).

Figura 5 – Renda do agricultor na produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, 1,0 ha, A (Setor hidráulico D₁), B (Setor hidráulico D₂) e C (Setor hidráulico D₃)



Fonte: Autora (2025).

4.5.3 *Análise de sensibilidade econômica para os cultivos do coqueiro e da bananeira com e sem financiamento.*

A análise de sensibilidade foi realizada para os cultivos do coqueiro e da bananeira objetivando buscar valores mais próximos da realidade dos agricultores irrigantes analisados, tendo em vista contarem com a infraestrutura de apoio à produção já instalada (custos fixos). Para Vilani *et al.* (2024), a análise de sensibilidade econômica é uma etapa essencial na avaliação de investimentos agrícolas, pois permite identificar como alterações em variáveis chave impactam os indicadores de rentabilidade.

4.5.3.1 *Análise de sensibilidade do valor agregado*

Nas Tabelas 25 a 30 estão apresentados os valores da análise de sensibilidade realizada, que contemplou as variáveis relacionadas aos custos variáveis (CV) e valor bruto da produção (VBP), todos ajustados para a escala de 1,0 hectare.

No que se refere aos custos variáveis, estes foram contabilizados de forma anualizada, discriminando cada item envolvido no processo produtivo. Cabe ressaltar que os produtores possuem funcionários responsáveis por auxiliar nas atividades de manejo e colheita,

o que representa um custo adicional, mas necessário para garantir a eficiência das operações. A comercialização se dá por meio de intermediários, visto que um dos agricultores opta pela venda da água de coco, recebendo R\$ 1,75 por unidade comercializada, enquanto os outros dois optam pela venda do coco, cujo valor por unidade é de R\$ 0,70, esses valores são referentes ao ano de 2024. Já os agricultores que comercializam a bananeira vendem a bananeira por milheiro, sendo que o preço varia de R\$ 90,00 e R\$ 100,00.

Nos resultados obtidos na análise de sensibilidade, os valores da produção total e do valor bruto de produção não sofreram nenhuma alteração para ambas as culturas de interesse. A análise demonstra que há uma viabilidade econômica tanta para as produções de coco quanto para a bananeira, mas assim como na análise anterior, o cenário com financiamento é bem mais atrativo sob a ótica econômica do que no cenário sem financiamento, pois o valor agregado é maior.

Tabela 25 – Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de coco ano com e sem financiamento, setor hidráulico B, 2024

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Variável (CV)	Mão de obra	6400	640
	Fertilizantes	3000	300
	Defensivos	1700	170
	Energia elétrica	1600	160
	Total	12700	1270
Produção	Valor bruto de produção	48965,80	48965,80
Valor Agregado	VA = VBP – CV	42665,80	48335,80

Fonte: Autora (2024).

Tabela 26 – Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de coco ano com e sem financiamento, setor hidráulico C, 2024

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Variável (CV)	Mão de obra	5000	500
	Fertilizantes	800	80
	Defensivos	800	80
	Energia elétrica	1600	160
	Total	8200	820
Produção	Valor bruto de produção	38680,30	38680,30
Valor Agregado	VA = VBP – CV	35480,30	38360,30

Fonte: Autora (2024).

Tabela 27 – Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento, setor hidráulico D, 2024

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Variável (CV)	Mão de obra	5000	500
	Fertilizantes	1600	160
	Defensivos	1600	160
	Energia elétrica	1600	160
	Total	9800	980
Produção	Valor bruto de produção	26641,18	26641,18
Valor Agregado	VA = VBP – CV	21841,18	26161,18

Fonte: Autora (2024).

Tabela 28 – Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, setor hidráulico D₁, 2025

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Variável (CV)	Mão de obra	4500	450
	Fertilizantes	1500	150
	Defensivos	1500	150
	Energia elétrica	2700	270
	Total	10200	1020
Produção	Valor bruto de produção	36496,35	36496,35
Valor Agregado	VA = VBP – CV	30796,35	35926,35

Fonte: Autora (2025).

Tabela 29 – Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, setor hidráulico D₂, 2025

Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Variável (CV)	Mão de obra	6000	600
	Fertilizantes	2000	200
	Defensivos	2000	200
	Energia elétrica	3600	360
	Total	13600	1360
Produção	Valor bruto de produção	37094	37094
Valor Agregado	VA = VBP – CV	29494,28	36334,28

Fonte: Autora (2025).

Tabela 30 – Análise de sensibilidade do valor agregado anual correspondente 1,0 ha da produção de banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento, setor hidráulico D₃, 2025

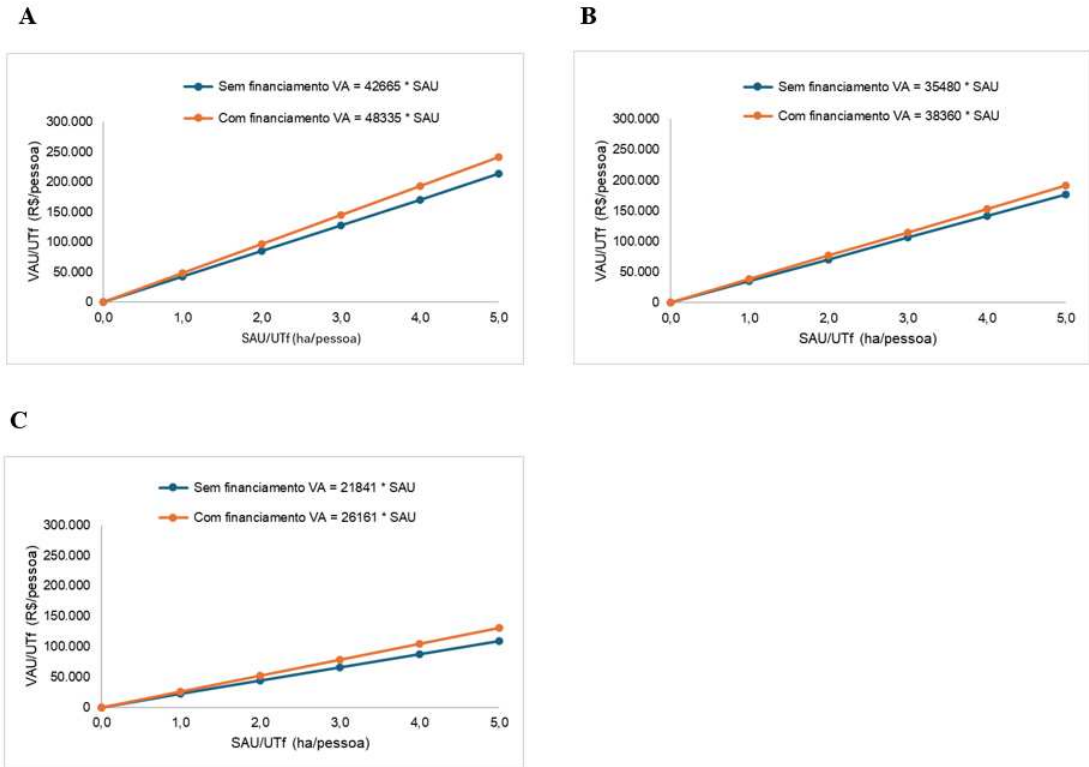
Discriminação		Sem financiamento	Com financiamento
Custo Variável (CV)	Mão de obra	52250	525
	Fertilizantes	3000	300
	Defensivos	1500	150
	Energia elétrica	3000	300
	Total	12750	1275
Produção	Valor bruto de produção	29865,60	29865,60
Valor Agregado	VA = VBP – CV	22441,80	29115,60

Fonte: Autora (2025).

As Figuras 6 e 7 ilustram os gráficos da análise de sensibilidade com as equações de valor agregado para a produtividade do coqueiro anão e da bananeira ‘Pacovan’, respectivamente, considerando os cenários sem e com financiamento, por meio da linha do Pronaf Mais Alimento.

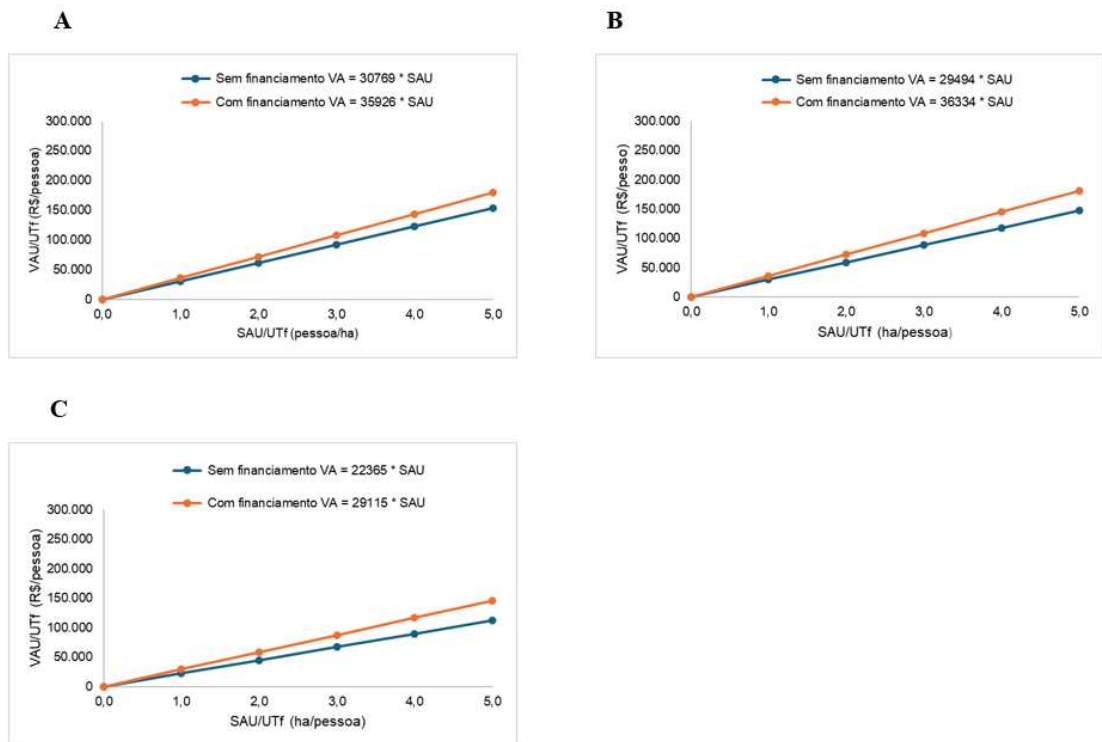
Mesmo com análise de sensibilidade pode-se observar que a contribuição marginal do lucro por unidade de área é maior no cenário com financiamento. Apesar disso, é possível notar um aumento considerável em relação à análise que foram considerados os custos fixos. Desta forma, é possível afirmar que os custos fixos representam uma parte expressiva nos valores das receitas, influenciando diretamente as análises econômicas e na geração de lucro.

Figura 6 – Análise de sensibilidade do valor agregado para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento para pequeno produtor, referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D)



Fonte: Autora (2025).

Figura 7 – Análise de sensibilidade do valor agregado para a cultura da bananeira ‘Pacovan’ com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico D₁), B (Setor hidráulico D₂) e C (Setor hidráulico D₃)



Fonte: Autora (2025).

4.5.3.2 Análise de sensibilidade da renda do agricultor

Nas Tabelas 31 a 36 estão expostos componentes utilizados para o cálculo do indicador, quantificado pela diferença entre o valor agregado da produção, os custos totais com acréscimo do juros estipulados pelos credores e a mão de obra.

Tabela 31 – Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico B, 2024 - (Venda da água de coco)

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	42665,80	48335,80
Juros 2,5%	317,50	31,75
Salário pago ao trabalhador	6400	640
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	35948	47664

Fonte: Autora (2024).

Tabela 32 – Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico C, 2024 - (Venda da unidade de coco)

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	35480,30	38360,30
Juros 2,5%	205	20,50
Salário pago ao trabalhador	5000	500
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	30275	37840

Fonte: Autora (2024)

Tabela 33 – Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D, 2024 - (Venda da unidade de coco)

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	21841,18	26161,18
Juros 2,5%	245	24,50
Salário pago ao trabalhador	5000	500
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	16596	25637

Fonte: Autora (2024).

Tabela 34 – Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D₁, 2025 – banana ‘Pacovan’

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	30796,35	35926,35
Juros 2,5%	255	25,50
Salário pago ao trabalhador	4500	450
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	26041	35451

Fonte: Autora (2025).

Tabela 35 – Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D₂, 2025 –banana ‘Pacovan’.

Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	29494,28	36334,28
Juros 2,5%	340	34
Salário pago ao trabalhador	6000	600
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	23150	35700

Fonte: Autora (2025).

Tabela 36 – Parâmetros utilizados para análise de sensibilidade para o cálculo da renda do agricultor (RA) anual, setor hidráulico D₃, 2025 – banana ‘Pacovan’.

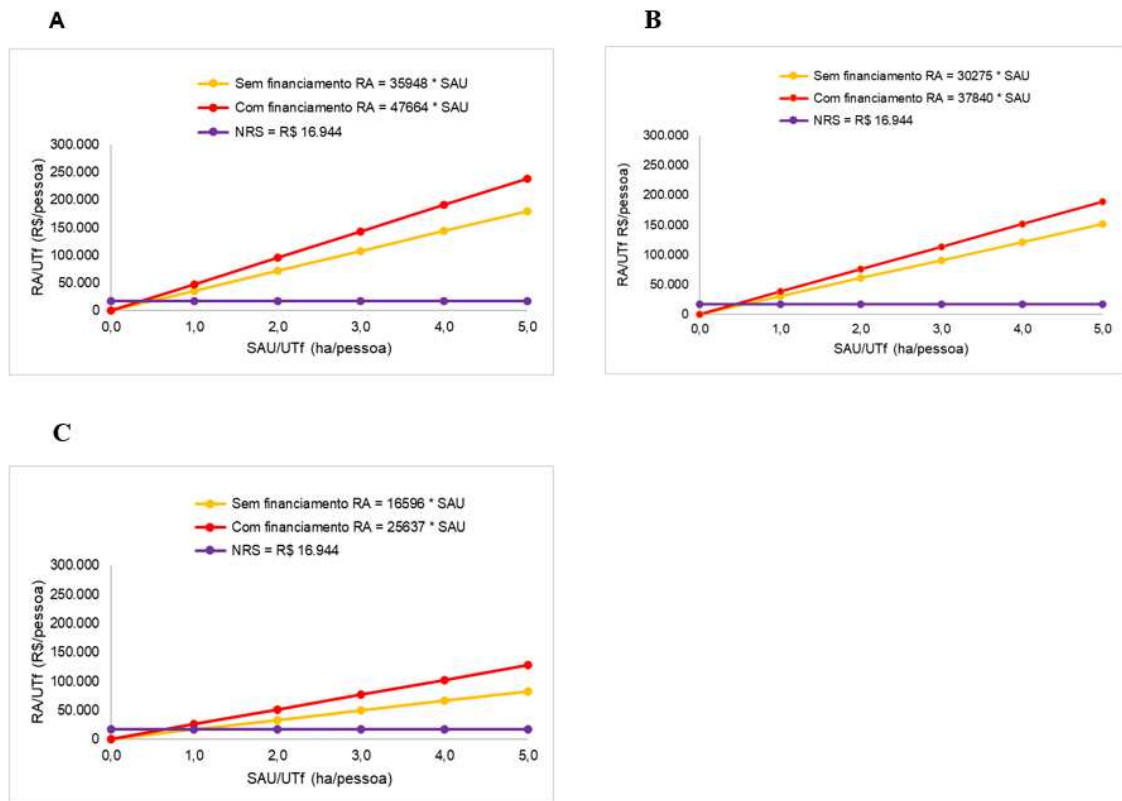
Discriminação	Sem Financiamento	Com Financiamento
Valor Agregado	22365,60	29115,60
Juros 2,5%	318,75	31,88
Salário pago ao trabalhador	5250	525
Renda do Agricultor (RA = VA – J – S)	16797	28559

Fonte: Autora (2025).

Pode-se afirmar que, mesmo com a análise de sensibilidade, a renda do agricultor no cenário com financiamento é mais expressiva em relação aos observados no sem financiamento em todos os casos, evidenciando a importância de políticas de liberação de crédito para pequenos produtores.

Na Figura 8, estão representados os gráficos da análise de sensibilidade da renda do agricultor para a cultura do coqueiro-anão, considerando cenários com e sem financiamento. No cenário com financiamento, o Nível de Reprodução Social (NRS) é alcançado com áreas produtivas inferiores a 1,0 ha, sendo estimados 0,36 ha (Figura 8A), 0,45 ha no (Figura 8B) e 0,66 ha no (Figura 8C). Na ausência de financiamento, o NRS também é atingido com áreas abaixo de 1,0 ha, porém com valores mais elevados, correspondentes a 0,47 ha no (Figura 8A) e 0,56 ha no (Figura 8B).

Figura 8 – Análise de sensibilidade da renda do agricultor para a cultura do coco anão com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico B), B (Setor hidráulico C) e C (Setor hidráulico D)

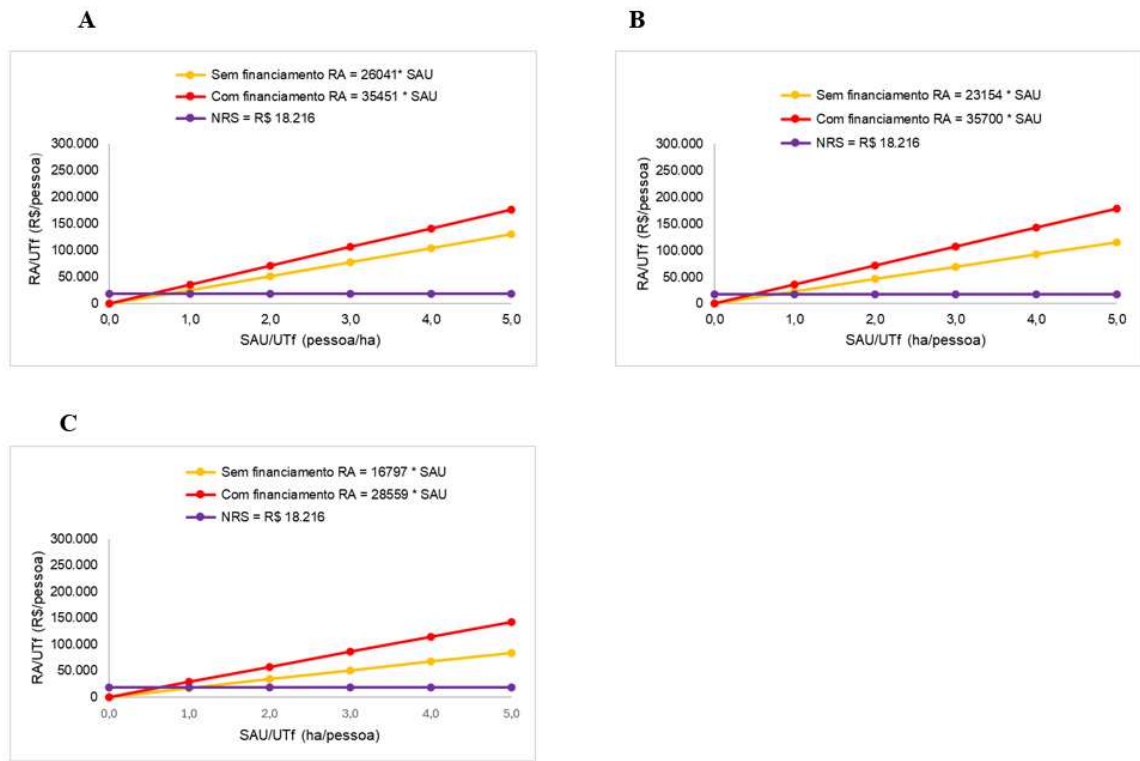


Fonte: Autora (2025).

Para a cultura da bananeira ‘Pacovan’, os resultados apresentados na Figura 9 indicam comportamento semelhante ao observado para o coqueiro-anão. No cenário com financiamento, o NRS é atingido com áreas inferiores a 1,0 ha, sendo necessárias 0,51 ha (Figura 9A), 0,51 ha (Figura 9B) e 0,64 ha (Figura 9C). Sem financiamento, o NRS também é alcançado com áreas abaixo desse limite, contudo demandando maiores extensões, correspondentes a 0,70 ha no (Figura 9A) e 0,79 ha no (Figura 9B) .

Ao se considerar a UTf, observa-se que a área necessária para atingir o NRS se aproxima de 1,0 ha em ambas as culturas, alcançando 1,02 ha no (Figura 8C) para o cultivo do coqueiro e 1,08 ha no (Figura 9C) para a bananeira. Mesmo na análise de sensibilidade, esses resultados evidenciam que a ampliação da escala produtiva e a disponibilidade de financiamento são fatores determinantes para a viabilidade econômica e a sustentabilidade dos sistemas produtivos analisados.

Figura 9 – Análise de sensibilidade da renda do agricultor para a cultura da banana ‘Pacovan’ com e sem financiamento para pequeno produtor referente a 1,0 ha, A (Setor hidráulico D₁), B (Setor hidráulico D₂) e C (Setor hidráulico D)



Fonte: Autora (2025).

5 CONCLUSÕES

O excesso de água aplicado, identificado pelo indicador Fornecimento Relativo de Irrigação, está diretamente relacionado às práticas de irrigação adotadas pelos irrigantes, decorrentes do processo de mudança do sistema de irrigação por sulcos para sistema de irrigação localizada do tipo microaspersão, realizada sem qualquer apoio técnico.

Os sistemas de irrigação apresentaram desempenho técnico satisfatório quanto à uniformidade. Contudo, foram observados problemas relacionados à operação dos sistemas, sendo o entupimento de emissores e a falta de capacitação técnica dos irrigantes fatores limitantes e um desafio para o uso sustentável e eficiente dos sistemas de irrigação.

A Produtividade da Água de Irrigação foi superior quando a produção foi destinada à comercialização da água de coco por meio de contrato, em razão da estabilidade no preço estabelecido, que reduz a exposição do pequeno agricultor às variações de mercado.

A qualidade da água de irrigação indica condições adequadas para uso agrícola, sem restrições relacionadas à salinidade e sem riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água.

Os indicadores socioeconômicos demonstraram que os cenários com financiamento apresentaram desempenho superior aos cenários sem financiamento, evidenciando que o acesso ao crédito é essencial para agricultores familiares irrigantes de pequeno porte, uma vez que permite atingir o Nível de Reprodução Social em uma Superfície Agrícola Útil menor.

REFERÊNCIAS

- ABDELSALAM, H.; MOSTAFA, H.; EL-ANSARY, M.; AWAD, M.; SULTAN, W. Evaluation of saline and magnetized water on emitter hydraulic performance and clogging in drip irrigation. **Scientific Reports**, London, v. 14, n. 1, p. 7339, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57543-8>. Acesso em: 27 mai. 2025.
- ADAMO, M. X. B. **Avaliação do desempenho de um sistema de irrigação por aspersão sem bombagem: caso do regadio 7 de abril-1, distrito de Vanduzi**. 2022. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos) – Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Engenharia, Moçambique, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.uem.mz/handle/258/655>. Acesso em: 31 mar. 2024.
- ADHANOM, O. G. Salinity and sodicity hazard characterization in major irrigated areas and irrigation water sources, Northern Ethiopia. **Cogent Food & Agriculture**, Abingdon v. 5, n. 1, p. 1673110, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1673110>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- AGOUBI, B. A review: saltwater intrusion in North Africa’s coastal areas—current state and future challenges. **Environmental Science and Pollution Research**, Heidelberg, v. 28, n. 14, p. 17029-17043, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12741-z>. Acesso em: 13 mai. 2025.
- AHMAD, M. I.; MA, H. Climate change and livelihood vulnerability in mixed crop–livestock areas: the case of province Punjab, Pakistan. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 2, p. 586, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12020586>. Acesso em: 08 out. 2025.
- AIT, L. A.; EL GHORFI, M.; ZOUHRI, L.; HEDDOUN, O.; KHALIL, A.; MAACHA, L. Origin and salinization processes of groundwater in the semi-arid area of Zagora Graben, southeast Morocco. **Water**, Basel, v. 15, n. 12, p. 2172, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15122172>. Acesso em: 10 nov. 2024.
- ALAO, J. O.; BELLO, A. Y.; LAWAL, H. A.; ABDULLAHI, D. Assessment of groundwater challenge and the sustainable management strategies. **Results in Earth Sciences**, Amsterdam, v. 2, p. 100049, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rines.2024.100049>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- ALBERT, M.; BERGEZ, J. E.; COUTURE, S.; FAIVRE, R.; WILLAUME, M. Decision-making process factors explain some of the heterogeneity of irrigation practices among maize farmers in Southwestern France. **Water**, Basel, v. 13, n. 24, p. 3504, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13243504>. Acesso em: 23 jun. 2025.
- ALCÂNTARA, F. T. A. D. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas do aluvião do Rio Sucurú, Sumé–PB, quanto ao risco de salinização e sodificação**. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Campina Grande, 2024. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/41194>. Acesso em: 20 jun. 2025.
- AL-GAADI, K. A.; HASSABALLA A.; TOLA, E.; KAYAD, A. G.; MADUGUNDU R.; ASSIRI F.; EDREES, H. Impacts of center pivot irrigation system uniformity on growth of

potato crop and residual soil nitrogen. **Int J Agric & Biol Eng**, Beijing, v. 12, n. 1, p. 126–131, 2019. DOI: <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20191201.3684>. Acesso em: 15 fev. 2025.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements. Rome: Food and Agriculture Organization, 1998 (FAO Irrigation and drainage paper 56). Disponível em: https://www.avwatermaster.org/filingdocs/195/70653/172618e_5xAGWAx8.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.

ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R. Avaliação de gotejadores com uso de água residuária de piscicultura e suinocultura em diferentes diluições. **Irriga**, Botucatu, v. 27, n. 2, p. 282-295, 2022. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2022v27n2p282-295>. Acesso em: 16 mai. 2025.

ALVES, D. K. M.; TEIXEIRA, M. B.; CUNHA, F. N.; CABRAL FILHO, F. R.; SOARES, J. A. B.; GOMES, L. F. Degree of clogging in a localized irrigation system subjected to different operating times. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 9, n. 8, p. e210985622, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5622>. Acesso em: 10 jun. 2024.

ALVES, R. S.; LINHARES, S. S.; MÖBUS, G.; GASMI, H.; MARTINS, E. S.; ROCHA, R. V.; ESTÁCIO, A. B. Effects of the latest drought on the alluvial aquifer of a semiarid region in northeastern Brazil. **Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences**, Göttingen, v. 385, p. 225-229, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-385-225-2024>. Acesso em: 13 mar. 2025.

ALOUW, J. C.; WULANDARI, S. Present status and outlook of coconut development in Indonesia. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, Bristol, v. 418 p. 012035, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/418/1/012035>. Acesso em 10 out. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2022**: Informe Anual. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursoshidricos>. Acesso em: 10 fev. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2023**: Informe Anual. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursoshidricos>. Acesso em: 10 fev. 2025.

ARIFIN, Z. A. The Analysis of Coconut Market Value Chain. **International Journal of Law, Policy, and Governance**, Jakarta, v. 1, n. 1, p. 33-39, 2022. DOI: <https://doi.org/10.54099/ijlpg.v1i1.255>. Acesso em: 10 out. 2025.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1985. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 29. Revision 1). Disponível em: <https://www.fao.org/4/t0234e/t0234e00.htm>. Acesso em: 03 jun. 2025.

AZFFRI, S. L.; THONG, C. S.; LIM, L. H.; IBRAHIM, M. F.; SCHIRMER, M.; GÖDEKE, S. H. Evaluation of ground and surface water hydrochemistry for irrigation suitability in Borneo: Insights from Brunei Darussalam. **Water**, Basel, v. 15, n. 12, p. 2154, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15122154>. Acesso em: 20 jun. 2025.

BAYDAR, A.; BOZKURT ÇOLAK, Y.; KÜÇÜKYUMUK, C.; DALKILIÇ, B. Evaluation of Hydraulic and Irrigation Performances of Drip Systems in Nectarine Orchards (*Prunus persica* var. *nucipersica*) in The Mediterranean Region. **Water**, Basel, v. 17, n. 5, p. 758, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/w17050758>. Acesso em: 16 mar. 2025.

BASSOI, L. H.; TEIXEIRA, A. H. de C.; SILVA, J. A. M.; SILVA, E. E. G.; RAMOS, C. M. C.; SEDIYAMA, G. C. Coeficientes de cultura para a bananeira para dois métodos de determinação de evapotranspiração de referência. CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14.; ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE IRRIGAÇÃO, DRENAGEM E CONTROLE DE ENCHENTES, 1, 2004. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABID, 2004. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/154336>. Acesso em: 23 mai. 2025.

BELAY, A. M.; ASSEFA, T. T.; BELAY, S. A.; YIMAM, A. Y. Evaluating the performance of small-scale irrigation schemes in subhumid Ethiopian highlands. **Irrigation and Drainage**, Chichester, v. 72, n. 1, p. 224-239, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2753>. Acesso em: 02 out. 2025.

BELTRÃO JÚNIOR, J. F. Fornecimento relativo de irrigação como indicador de uso eficiente da água. Fortaleza: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2017.

BERHE, G. T.; BAARTMAN, J. E.; VELDWISCH, G. J.; GRUM, B; RITSEMA, C. J. Irrigation development and management practices in Ethiopia: a systematic review on existing problems, sustainability issues and future directions. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 274, p. 107959, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107959>. Acesso em: 03 out. 2025.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 625 p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D.; SORAS, A. A. **Manual de irrigação**. 9. ed. atual. e ampl. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2019. 545 p.

BERTOTTO, L. E.; DE MEDEIROS COSTA, H. K.; ALVES, V. P. E.; DE ARAÚJO, I. L.; WENDLAND, E. C. Soil Moisture–Drought Nexus across Brazil: Identifying Current Issues and Future Perspectives. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston, v. 151, n. 8, p. 03125001, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1061/JWRMD5.WRENG-6575>. Acesso em: 05 abr. 2025.

BORSSOI, A. L.; VILAS BOAS, M. A.; REISDÖRFER, M.; HERNÁNDEZ, R. H.; FOLLADOR, F. A. Uniformidade de aplicação de água e fertirrigação em um conjunto de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 718-726, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400011>. Acesso em 12 nov. 2024.

BOSO, A. C. M. R.; GABRIEL, C. P. C.; PIAZENTIN, J. C. Análise dos parâmetros da qualidade da água destinada a irrigação. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, São Paulo, v. 12, n. 6, p. 1-8, 2016. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082712620161475>. Disponível em: https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/1475. Acesso em: 13 fev. 2025.

BRASIL. Decreto nº 11.864, de 27 de dezembro de 2023. Fixa o valor do salário-mínimo para 2024. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 12, 27 dez. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/decreto/d11864. Acesso em: 20 out. 2025.

BRITO, A. P. M.; OLIVEIRA PINTO, O. R.; SALLES, M. G. F.; MIRANDA PINTO, C. Uso e impactos de fontes hídricas em região semiárida: um estudo de caso no assentamento novo assunção em Aracoiaba, Ceará. **Natural Resources**, São José dos Pinhais, v. 11, n. 2, p. 104-116, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2237-9290.2021.002.0011>. Acesso em: 12 nov. 2025

BROSS, L.; BÄUMER, J.; VOGGENREITER, I.; WIENAND, I.; Fekete, A. Public health without water? Emergency water supply and minimum supply standards of hospitals in high-income countries using the example of Germany and Austria. **Water Policy**, London, v. 23, n. 2, p. 205-221, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2021.012>. Acesso em: 23 abr. 2025.

BUTTINELLI, R.; CORTIGNANI, R.; CARACCILO, F. Irrigation water economic value and productivity: An econometric estimation for maize grain production in Italy. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 295, p. 108757, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108757>. Acesso em: 03 jul. 2025.

BUTTINELLI, R. **Assessing the economic relevance and productivity of agricultural inputs in Italian farms through quantitative analyses**. 2024. Tese (Doutorado em Economia, gestão e métodos quantitativos) – Università degli Studi della Tuscia, Departamento de Economia, Engenharia, Sociedade e Empresa (DEIM), Viterbo, 2024. Disponível em: <http://hdl.handle.net/2067/53537>. Acesso em: 19 jun. 2025.

CARDOSO, A. F.; COSTA, S. D. A.; FERREIRA, W. X.; CASTRO, G. L. S.; LINS, P. M. P.; SANTOS, M. A. S.; SILVA, G. B. Cost reduction in the production of green dwarf coconut palm seedlings biostimulated with *Bacillus cereus*. **Indian Journal of Microbiology**, New Delhi, v. 64, n. 2, p. 492-499, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12088-023-01163-9>. Acesso em: 10 jun. 2025.

CARVALHO, E. D. O. T. D.; FERNANDES, G. S. T.; RUA, M. L.; MONTEIRO, A. C.; SILVA, J. V. F. D.; VELAME, M. D. L. A.; SOUZA, P. J. D. O. P. D. Water productivity in irrigated coconut palms in humid tropical climate conditions in eastern Brazilian Amazon. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 54, n. 11, p. e20230416, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20230416>. Acesso em: 18 mai. 2025.

CHAI, Q.; GAN, Y.; ZHAO, C.; XU, H. L.; WASKOM, R. M.; NIU, Y.; SIDDIQUE, K. H. Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress: a review. **Agronomy for sustainable development**, Versailles, v. 36, p. 1-21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0338-6>. Acesso em: 10 abr. 2024.

CHEN, S.; XU, D.; ZHANG, L.; JIA, Y.; YANG, H.; LI, Y. Evaluating soil water movement and soil water content uniformity under sprinkler irrigation: a field and modeling study. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 619, p. 129379, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.129379>. Acesso em: 10 mai. 2025.

CIALDEA, D.; PRIVITERA, S. Landscape Values as a Driving Force to Increase Nature Conservation: Environmental and Planning Policies as a Possible Integration. **Sustainability**, Basel, v. 13, n. 12, p. 6621, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13126621>. Acesso em: 23 mai. 2025.

CRISÓSTOMO, L. A.; NAUMOV, A. **Adubando para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. 1. ed. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. 238 p.

CONANT JR., B.; ROBINSON, C. E.; HINTON, M. J.; RUSSELL, H. A. A framework for conceptualizing groundwater-surface water interactions and identifying potential impacts on water quality, water quantity, and ecosystems. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 574, p. 609-627, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.050>. Acesso em: 29 abr. 2025.

COSTA NETO, F. A. D. **Análise de alternativas para o uso das águas do projeto de integração do rio São Francisco – eixo norte, no estado da Paraíba através de um modelo de otimização multiobjetivo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2020. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/16552>. Acesso em: 3 set. 2024.

DAMANIA, R. The economics of water scarcity and variability. **Oxford Review of Economic Policy**, Oxford, v. 36, n. 1, p. 24-44, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxrep/grz027>. Acesso em: 15 jul. 2025.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOORENBOS, J. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1994. 306 p.

D'ODORICO, P.; CHIARELLI, D. D.; ROSA, L.; BINI, A.; ZILBERMAN, D.; RULLI, M. C. The global value of water in agriculture. **Proceedings of the national academy of sciences**, Washington, v. 117, n. 36, p. 21985-21993, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2005835117>. Acesso em: 29 jul. 2025.

ECHOGDALI, F. Z.; BOUTALEB, S.; EL AYADY, H.; AADRAOUI, M.; ABDELRAHMAN, K.; BENDARMA, A.; ABIQUI, M. Characterization and productivity of alluvial aquifers in sustainability oasis areas: a case study of the Tata watershed (southeast Morocco). **Applied Sciences**, Basel, v. 13, n. 9, p. 5473, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/app13095473>. Acesso em: 20 abr. 2025.

ELHAGAREY, M. E.; KASHAY, C. Environmental and economic returns for the development and management of innovations in modern irrigation systems in Egypt. **Journal of Applied & Natural Science**, Jabalpur, v. 16, n. 2, p. 653 – 662, 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.31018/jans.v16i2.5382>. Acesso em: 12 jul. 2025.

EPTING, J.; HUGGENBERGER, P.; RADNY, D.; HAMMES, F.; HOLLENDER, J.; PAGE, R. M.; AUCKENTHALER, A. Spatiotemporal scales of river-groundwater interaction–The role of local interaction processes and regional groundwater regimes. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 618, p. 1224-1243, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.219>. Acesso em: 22 mar. 2024.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture 2021: systems at breaking point**. Rome: FAO, 2022. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb9910en>. Acesso em: 10 jul. 2025.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **The state of the world's land and water resources for food and agriculture 2023: systems at breaking point**. Rome: FAO, 2023. DOI: <https://doi.org/10.4060/cc3283en>. Acesso em: 12 abr. 2025.

FILIZOLA, H. F. **Manual de procedimentos de coleta de amostras em áreas agrícolas para análise da qualidade ambiental: solo, água e sedimentos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. 1. ed. Maringá: Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2012. 356 p.

FRIZZONE, J. A.; LIMA, S. C. R. V.; LACERDA, C. F.; MATEOS, L. Socio-economic indexes for water use in irrigation in a representative basin of the tropical semiarid region. **Water**, Basel, v. 13, n. 19, p. 2643, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13192643>. Acesso em: 15 mai. 2025.

GRAFTON, R. Q.; WILLIAMS, J.; PERRY, C. The paradox of irrigation efficiency. **Science**, Washington, v. 372, n. 6541, p. 915–916, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aat9314>. Acesso em: 28 abr. 2025.

GONFA, B. G.; HATIYE, S. D.; FINSSA, M. M. Land suitability and surface water resources potential for irrigation in Becho Plain, upper Awash basin, Ethiopia. **Irrigation and drainage**, Chichester, v. 70, n. 4, p. 936-957, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ird.2575>. Acesso em: 26 mai. 2025.

GULTEKIN, R.; GORGISEN, C.; KARACA, B. G.; BAHCECI, A. P.; YETER, T. Evaluation of performance indicators for some drip irrigation systems used in cherry orchards in Ankara province. **Journal of Agriculture, Environment and Food Sciences**, Diyarbakir, v. 6, n. 1, p. 172-181, 2022. DOI: <https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.1.22>. Acesso em: 15 de out. 2024.

GUO, H.; LI, S. A review of drip irrigation's effect on water, carbon fluxes, and crop growth in farmland. **Water**, Basel, v. 16, n. 15, p. 2206, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16152206>. Acesso em: 18 abr. 2025.

HAILU, B.; MEHARI, H. Impacts of soil salinity/sodicity on soil-water relations and plant growth in dry land areas: A review. **Journal of Natural Sciences Research**, New York, v. 12, n. 3, p. 1-10, 2021. DOI: <https://doi.org/10.7176/JNSR/12-3-01>. Acesso em: 09 jun. 2025.

HARO-MONTEAGUDO, D.; PALAZÓN, L.; ZOUMIDES, C.; BEGUERÍA, S. Optimal implementation of climate change adaptation measures to ensure long-term sustainability on large irrigation systems. **Water Resources Management**, Dordrecht, v. 37, n. 8, p. 2909-2924, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11269-022-03225-x>. Acesso em: 23 mar. 2025.

HARYANTO, T.; WARDANA, W. W.; JAMIL, I. R.; BRINTANTI, A. R. D.; IBRAHIM, K. H. Impact of credit access on farm performance: Does source of credit matter? **Heliyon**,

Amsterdam, v. 9, n. 9, p. 19720, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19720>. Acesso em: 16 out. 2025.

HASHEMI, S. E.; MADAHHOSSEINI, S.; PIRASTEH-ANOSHEH, H.; SEDAGHATI, E.; RACE, M. The role of nitrogen in inducing salt stress tolerance in *Crocus sativus* L.: Assessment based on plant growth and ions distribution in leaves. **Sustainability**, Basel, v. 15, n. 1, p. 567, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010567>. Acesso em 10 mai. 2025.

HOLMAN, I. P.; ALLEN, D. M.; CUTHBERT, M. O.; GODERNIAUX, P. Towards best practice for assessing the impacts of climate change on groundwater. **Hydrogeology Journal**, Heidelberg, v. 20, n. 1, p. 1, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10040-011-0805-3>. Acesso em 15 mar. 2024.

HOUNSLOW, A. **Water quality data: analysis and interpretation**. Boca Raton: CRC Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203734117>. Disponível em: <https://doi.org/10.1201/9780203734117>. Acesso em: 30 abr. 2025.

JAYAWARDHANA, M. B. S. M. T.; WARNAKULASOORIYA, B. N. F. Impact of problems associated with supply chain management practices of wholesalers on their business performance in the coconut industry in Sri Lanka with special reference to Kurunegala District. **Journal of Business Research and Insights (former Vidyodaya Journal of Management)**, Kelaniya, v. 6, n. 1, 2020.

JÚNIOR, J. A. B.; COSTA, R. N. T.; LIMA, S. C. R. V.; IÑGUEZ, L. M.; SOUSA, P. G. R. Fornecimento relativo de irrigação como estratégia de gestão do Distrito de Irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Parnaíba, v. 11, n. 5, p. 1756-1762, 2017. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v11n500801>. Acesso em: 6 out. 2024.

JÚNIOR, M. V.; ROCHA, J. P. A.; DEMONTIÊZO, F. L. L.; LIMA, L.S.S.; CARVALHO, C.M.C.; CARVALHO, L. L. S. Análise comparativa de metodologia de coleta de dados para a valiação de sistemas de irrigação localizada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Parnaíba, v.10, n. 5, p. 965-975, 2016. DOI: <https://doi.org/10.7127/rbai.v10n500477>. Acesso em: 16 abr. 2024.

JOHNSON, D. **Água subterrânea e poços tubulares**. Tradução da primeira edição do original norte-americano *Groundwater and Wells*, publicado pela UOP Johnson Division. 2. ed., rev. São Paulo: CETESB, 1974.

KARANDISH, F. Socioeconomic benefits of conserving Iran's water resources through modifying agricultural practices and water management strategies. **Ambio**, Amsterdam, v. 50, n. 10, p. 1824-1840, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01534-w>. Acesso em: 05 jul. 2025.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. 1. ed. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing, 1975. 133 p.

LAP, B. Q.; DU NGUYEN, H.; HANG, P. T.; PHI, N. Q.; HOANG, V. T.; LINH, P. G.; HANG, B. T. T. Predicting Water Quality Index (WQI) by feature selection and machine learning: A case study of An Kim Hai irrigation system. **Ecological Informatics**, Amsterdam,

v. 74, p. 101991, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.101991>. Acesso em: 29 mar. 2025.

LIMA, S. C. R. V.; DE SOUZA, F.; FRIZZONE, J. A.; CAMARGO, D. C.; JÚNIOR, J. A. B.; DO NASCIMENTO, A. K. S. Instrumentos de apoio à modernização da irrigação no Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 8, p. 740–747, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p740-747>. Acesso em: 25 abr. 2025.

LIRA, R. M.; SANTOS, A. N.; SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; BARROS, M. S.; SOARES, H. R. E. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, Recife, v. 1, n. 3, p. 341–362, 2016.

LOZANO, D.; PÉREZ-PÉREZ, J. G.; GARCÍA-TEJERO, I. F.; MARTÍN-PALOMO, M. J.; GÓMEZ-ROLDÁN, V.; TAPIA, L. M. Effect of pulse drip irrigation on water use efficiency and productivity in vineyards. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 9, p. 1395, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10091395>. Acesso em: 08 mai. 2025.

MAGRIN, G.; GAY GARCÍA, C.; CRUZ CHOQUE, D.; GIMÉNEZ, J. C.; MORENO, A. R.; NAGY, G. J.; NOBRE, C.; VILLAMIZAR, A. Latin America. In: PARRY, M. L.; CANZIANI, O. F.; PALUTIKOF, J. P.; VAN DER LINDEN, P. J.; HANSON, C. E. (eds.). **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. p. 581–615.

MANGHWAR, H.; HUSSAIN, A.; ALAM, I.; KHOSO, M. A.; Ali, Q.; LIU, F. Waterlogging stress in plants: Unraveling the mechanisms and impacts on growth, development, and productivity. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v. 224, p. 105824, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2024.105824>. Acesso em: 18 out. 2025.

MOGES, M. F. Indicators for evaluating the performance of small scale irrigation schemes. **Journal of Agricultural Science and Botany**, London, v. 136, n. 6, p. 8. 2022. Disponível em: <https://www.alliedacademies.org/journal-agricultural-science-botany/>. Acesso em: 08 abr. 2025.

MOHSENI, S.; ZARE MEHRJERDI, M. R.; ABDOLAHI EZZATABADI, M.; MEHRABI BOSHRABADI, H. Irrigation water demand management with emphasis on pricing policy. **Water Policy**, London, v. 24, n. 7, p. 1095-1108, 2022. DOI: <https://doi.org/10.2166/wp.2022.248>. Acesso em: 10 jun. 2025.

MANAROS, M.; GURBUZ, I. B. Assessment of Labor Issues Faced by the Coconut Producer in Lanao del Norte Province. **Erwerbs-Obstbau**, Berlin, v. 62, n. 2, p. 195-200, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10341-020-00471-4>. Acesso em: 12 out. 2025.

MOSER, B.; BEKNAZAROVA, M.; WHILEY, H.; KEERTHIRATHNE, T. P.; HARRINGTON, N.; DEGARIS, K.; WALLIS, I. Investigation into the cause of iron-related clogging of groundwater bores used for viticulture in the limestone Coast, South Australia. **Water**, Basel, v. 13, n. 5, p. 683, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13050683>. Acesso em: 28 mai. 2025.

NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E. O.; SOARES, J. I. Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central. **Revista de Agricultura Neotropical**, Cassilândia, v. 4, n. 4, p. 65-69, 2017. DOI: <https://doi.org/10.32404/rean.v4i4.1643>. Acesso em: 21 mar. 2024.

NIKAM, V. T.; OGALE, S. B.; SHIRKE, H. A.; SULE, V. A.; NAIKAWADI, V. B. Economics of banana farming in Indapur Tehsil, Pune District, Maharashtra, India. **Economics**, Bhopal, v. 13, n. 1, 2025. DOI: <http://doi.org/10.12944/CARJ.13.1.33>. Acesso em: 09 jul. 2025.

OLIVEIRA, L. A.; CAMPOS, J. E. G. Parâmetros hidrodinâmicos do Sistema Aquífero Bauru na Região de Araguari/MG: Fundamentos para a gestão do Sistema de abastecimento de água. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 34, n. 4, p. 565–574, 2004.

OMAR, Z.; FATAH, F. A. Unravelling the factors affecting agriculture profitability enterprise: Evidence from coconut smallholder production. **Accounting**, Vancouver, v. 6, p. 493-500, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5267/j.ac.2020.2.007>. Acesso em: 09 jul. 2025.

PAIVA, P. V.; COSTA, R. N. T.; NUNES, K. G.; SOUSA, A. B. D. Added value and profitability in irrigated production in alluvial aquifer: financing scenarios. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 36, n. 3, p. 630-638, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n316rc>. Acesso em: 04 jul. 2025.

PERELLI, C.; BRANCA, G.; CORBARI, C.; MANCINI, M. Physical and economic water productivity in agriculture between traditional and water-saving irrigation systems: a case study in Southern Italy. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 12, p. 4971, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16124971>. Acesso em: 05 jun. 2025.

PINTO, J. M.; CORREIA, R. C.; FEITOSA FILHO, J. C. Consumo hídrico do coco anão irrigado por microaspersão no município de Glória, BA. In: Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem (INOVAGRI) 2023. **Anais do Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem**. Fortaleza: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Engenharia da Irrigação, 2023.

PIRES, A.; MORATO, J.; PEIXOTO, H.; BRADLEY, S.; MULLER, A. Synthesizing and standardizing criteria for the evaluation of sustainability indicators in the water sector. **Environment, Development and Sustainability**, Dordrecht, v. 22, n. 7, p. 6671-6689, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10668-019-00508-z>. Acesso em: 26 jan. 2025.

PREZOTTI, L. C.; MARTINS, A. G. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória: Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural, 2013. 104 p.

REID, M.; CHENG, X.; BANKS, E.; JANKOWSKI, J.; JOLLY, I.; KUMAR, P.; WERNER, A. **Catalogue of conceptual models for groundwater–stream interaction in eastern Australia**. Canberra: eWater Cooperative Research Centre, 2009. Disponível em: http://ewatercrc.com.au/reports/Reid_et_al-2009-Model_Catalogue.pdf. Acesso em: 11 mar. 2024.

REIS, S. S.; FRADE, P. R.; PINTO, P. R. F.; RIBEIRO, D. S.; THEBALDI, M. S. Desempenho da aplicação de vinhaça por sistema de irrigação autopropelido na região de bambuí–mg-brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, Três Corações, v. 18, n. 1, p. 296-306, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v18i1.5977.g10952002>. Acesso em: 14 mai. 2025.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: United States Department of Agriculture, 1954. (Agriculture Handbook, n. 60).

RINGLER, C.; AGBONLAHOR, M.; BARRON, J.; BAYE, K.; MEENAKSHI, J. V.; MEKONNEN, D. K.; UHLENBROOK, S. The role of water in transforming food systems. **Global Food Security**, Amsterdam, v. 33, p. 100639, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2022.100639>. Acesso em: 22 mai. 2025.

RUUD, N.; HARTER, T.; NAUGLE, A. Estimation of groundwater pumping as closure to the water balance of a semi-arid, irrigated agricultural basin. **Journal of hydrology**, Amsterdam, v. 297, n. 1-4, p. 51-73, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.04.014>. Acesso em: 07 abr. 2024.

SANTANA, J. S.; COSTA, R. F.; SILVA, W. A.; MENDONÇA LIMA, M. A.; ARAUJO, B. M. Diagnóstico da irrigação na agricultura familiar de Imperatriz-MA. **Revista Sustinere**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 515-518 2020. DOI: <http://doi.org/10.12957/sustinere.2020.43504>. Acesso em: 15 mai. 2025.

SANTOS, J. B.; FILHO, D. H. G.; GHEYI, H. R.; LIMA, G. S.; CAVALCANTE, L. F. Irrigation with saline water and nitrogen in production components and yield of sunflower. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 4, p. 935-944, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n419rc>. Acesso em: 24 jun. 2025.

SANTOS, M. R. D.; DONATO, S. L.; FARIA, L. N.; COELHO, E. F.; COTRIM, P. R. Irrigation strategies with water deficit in ‘Tommy Atkins’ mango tree. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 36, n. 6, p. 1096-1109, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n6p1096-1109/2016>. Acesso em: 25 mar. 2024.

SCHEIBER, L.; CENDÓN, D. I.; IVERACH, C. P.; HANKIN, S. I.; VÁZQUEZ-SUÑÉ, E.; KELLY, B. F. J. Hydrochemical apportioning of irrigation groundwater sources in an alluvial aquifer. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 744, p. 140506, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140506>. Acesso em: 19 nov. 2024.

SELMANE, T.; DOUGHA, M.; HASBAIA, M.; FERHATI, A.; REDJEM, A. Hydrogeochemical processes and multivariate analysis for groundwater quality in the arid Maadher region of Hodna, northern Algeria. **Acta Geochimica**, Dordrecht, v. 41, n. 5, p. 893-909, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11631-022-00553-y>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SENGUPTA, S.; PATRA, S. K.; LAHA, A.; PODDAR, R.; BHATTACHARYYA, K.; DEY, P.; MANDAL, J. Replacing conventional surface irrigation with micro-irrigation in vegetables can alleviate arsenic toxicity and improve water productivity. **Groundwater for Sustainable Development**, Amsterdam, v. 23, p. 101012, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.101012>. Acesso em: 13 abr. 2025.

SEO, N. An analysis of public adaptation to climate change using agricultural water schemes in South America. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 70, n. 4, p. 825-834, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2010.12.004>. Acesso em: 22 mar. 2025.

SERAMIM, R. J.; ROJO, C. A. Gestão dos custos de produção da atividade leiteira na agricultura familiar. **Revista Gestão & Tecnologia**, Pedro Leopoldo, v. 16, n. 3, p. 244-260, 2016. DOI: <https://doi.org/10.20397/2177-6652/2016.v16i3.941>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SHARMA, D. A.; RISHI, M. S.; KEESARI, T. Evaluation of groundwater quality and suitability for irrigation and drinking purposes in southwest Punjab, India using hydrochemical approach. **Applied Water Science**, Dordrecht, v. 7, n. 6, p. 3137-3150, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0456-6>. Acesso em: 20 jun. 2025.

SILVA JÚNIOR, H. M. D. **Relação entre uniformidade da produtividade e indicadores de uniformidade da irrigação em sistema de irrigação por microaspersão em citros**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/93770>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SILVA NETO, B. Objectives and Methodological Aspects of Municipal Studies. In: SILVA NETO, B.; BASSO, D. (Eds.). **Agrarian systems of Rio Grande do Sul: Analysis and policy recommendations**. Ijuí: Unijuí, p. 159-163, 2005.

SILVA, R. M. A. D.; AQUINO, J. D.; COSTA, F. B.; NUNES, E. M. Características produtivas e socioambientais da agricultura familiar no Semiárido brasileiro: evidências a partir do Censo Agropecuário de 2020. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 55, n. esp, p. 314-338, 2020. DOI: <http://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73745>. Acesso em: 13 jul. 2025.

SINGH, A. Soil salinization management for sustainable development: A review. **Journal of environmental management**, Amsterdam, v. 277, p. 111383, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111383>. Acesso em: 02 mai. 2025.

SINHA, B. L.; SHASIKANT. Hydraulic performance evaluation of drip irrigation system under field condition in Chhattisgarh plain. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, New Delhi, v. 10, n. 2, p. 79-83, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33545/26174693.2024.v8.i9Sk.2215>. Acesso em: 17 jan. 2025.

SU, F.; WU, J.; WANG, D.; ZHAO, H.; WANG, Y.; HE, X. Moisture movement, soil salt migration, and nitrogen transformation under different irrigation conditions: Field experimental research. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 300, p. 134569, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134569>. Acesso em: 01 jul. 2025.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. *Delimitação do semiárido brasileiro*. Portaria nº 80, de 27 de julho de 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-n-80-de-27-de-julho-de-2021-336074336>. Acesso em: 11 nov. 2024.

TEXIER, J.; GONÇALVES, J.; STIEGLITZ, T.; VALLET-COULOMB, C.; LABILLE, J.; MARC, V.; DUSSOUILLEZ, P. Groundwater-surface water exchanges in an alluvial plain in southern France subjected to pumping: A coupled multitracer and modeling approach. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Amsterdam, v. 56, p. 101995, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101995>. Acesso em: 30 mar. 2025.

TOAN, T. D.; TU, B. A. Use of Level-of-Service-Based Water Pricing to Sustain Irrigated Agriculture: A Case of Modernized Irrigation System in Vietnam. **Water**, Basel, v. 15, n. 9, p. 1780, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/w15091780>. Acesso em: 24 jul. 2025.

TOFFANIN, A.; MAUCIERI, C.; ROSSI, G.; PAULON, G.; TRESTINI, S.; BORIN, M. Does drip irrigation contribute to the economic sustainability of soybean production? **Italian Journal of Agrometeorology**, Florence, v. 2, p. 21-31, 2023. DOI: <https://doi.org/10.36253/ijam-2323>. Acesso em: 20 mai. 2025.

TUNEU-CORRAL, C.; PUIG-MONTSERRAT, X.; FLAQUER, C.; MAS, M.; BUDINSKI, I.; LÓPEZ-BAUCELLS, A. Ecological indices in long-term acoustic bat surveys for assessing and monitoring bats' responses to climatic and land-cover changes. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 110, p. 105849, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105849>. Acesso em: 15 jun. 2025.

UNGUREANU, N.; VLĂDUȚ, V.; VOICU, G. Water scarcity and wastewater reuse in crop irrigation. **Sustainability**, Basel, v. 12, n. 21, p. 9055, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12219055>. Acesso em: 11 nov. 2024.

VEERANNA, J.; MISHRA, A. K.; PATEL, N. Calculation of uniform coefficient, soil moisture distribution and analysis of level of biofilms strategy under sub surface drip irrigation. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Tamil Nadu, v. 6, n. 10, p. 713-726, 2017. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.088>. Acesso em: 21 jul. 2025.

VEIMROBER JUNIOR, L. A.; SILVA, A. J. P.; GHEYI, H. R.; NASCIMENTO, F. A. L.; SILVA, M. G.; VELLAME, L. M. Water productivity of passion fruit under different forms of propagation and soil-based irrigation management criteria. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 40, n. 3, p. 423-433. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-021-00766-8>. Acesso em: 29 jun. 2025.

VIGNESH, M.; SELVAKUMAR, R.; AZHAGESAN, R. An economic analysis of trend, cost and returns of banana in Kanniyakumari District of Tamil Nadu. **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, Tamil Nadu, v. 9, n. 9, p. 223-229, 2022.

VILANI, L.; ZANIN, A.; LIZOT, M.; TRENTIN, M. G.; AFONSO, P.; LIMA, J. D. D. A framework for investment and risk assessment of agricultural projects. **Journal of Risk and Financial Management**, Basel, v. 17, n. 9, p. 378, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/jrfm17090378>. Acesso em: 27 nov. 2025.

WATKINS, K. B. H. C. G.; HARDKE, J. T.; MANE, R. U.; MAZZANTI, R.; BAKER, R. Non-radial technical efficiency measurement of irrigation water relative to other inputs used in Arkansas rice production. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 244, p. 106441, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106441>. Acesso em: 26 abr. 2025.

WATSON, A.; KRALISCH, S.; VAN ROOYEN, J.; MILLER, J. Quantifying and understanding the source of recharge for alluvial systems in arid environments through the development of a seepage model. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 601, p. 126650, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126650>. Acesso em: 13 mar. 2025.

WHITE, J. T. Forecast first: An argument for groundwater modeling in reverse. **Groundwater**, Hoboken, v. 55, n. 5, p. 660-664, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/gwat.12558>. Acesso em: 10 abr. 2024.

WILCOX, L. V.; SWAILES, G. E. Composition and variation of irrigation waters. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 39, n. 11, p. 945-960, 1947.

WONGNAA, C. A.; APIKE, I. A.; ARYEE, M. A.; HAGAN, M. A. S.; AWUNYO-VITOR, D. Fresh or dry maize or both: Which is most economical and preferred by farmers? **Journal of Agriculture and Food Research**, Amsterdam, v. 16, p. 101158, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101158>. Acesso em: 14 out. 2025.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible. Paris: UNESCO, 2022.

XYLOGIANNIS, E.; SOFO, A.; DICHIO, B.; MONTANARO, G.; MININNI, A. N. Root-to-shoot signaling and leaf water-use efficiency in peach trees under localized irrigation. **Agronomy**, Basel, v. 10, n. 3, p. 437, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10030437>. Acesso em: 15 mar. 2024.

ZAKARIA, N.; ANORNU, G.; ADOMAKO, D.; OWUSU-NIMO, F.; GIBRILLA, A. Evolution of groundwater hydrogeochemistry and assessment of groundwater quality in the Anayari catchment. **Groundwater for Sustainable Development**, Amsterdam, v. 12, p. 100489, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2020.100489>. Acesso em: 01 jul. 2025.

ZHAO, Y. Y.; PEI, Y. S. Risk evaluation of groundwater pollution by pesticides in China: a short review. **Procedia Environmental Sciences**, Amsterdam, v. 13, p. 1739-1747, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.167>. Acesso em: 21 mar. 2024.

ZAINOL, F. A.; ARUMUGAM, N.; DAUD, W. N. W.; SUHAIMI, N. A. M.; ISHOLA, B. D.; ISHAK, A. Z.; AFTHANORHAN, A. Coconut value chain analysis: a systematic review. **Agriculture**, Basel, v. 13, n. 7, p. 1379, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13071379>. Acesso em: 30 jul. 2025.

ZHU, P.; JIA, X.; ZHAO, C.; SHAO, M. Long-term soil moisture evolution and its driving factors across China's agroecosystems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 269, p. 107735, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107735>. Acesso em: 20 jun. 2025.

ZUBELZU, S.; PANIGRAHI, N.; THOMPSON, A. J.; KNOX, J. W. Modelling water fluxes to improve banana irrigation scheduling and management in Magdalena, Colombia. **Irrigation Science**, v. 41, Heidelberg, n. 1, p. 69-79, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00271-022-00818-7>. Acesso em: 25 mai. 2025.

ANEXO A – TABELA DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DO COQUEIRO IRRIGANTE B.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ			GOVERNO DO ESTADO DO CEARA							
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS			SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E							
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO			RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME							
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA										
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXAPOSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)										
Interessado: Núcleo B			Procedência: Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-Ce					Data: 29/10/2024		
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO										
Horizonte			Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação		
Amostra	Símbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textura		
866	Núcleo B	0 - 30	491	241	135	133	113	Franco arenosa		
867	Núcleo B	30 - 60	512	209	152	127	117	Franco arenosa		
Grau de floculação		Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
(g/100g)		Solo	Partículas	0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	KCl	(dS/m)	
15		1,25	2,53	--	--	--	6,7	--	0,61	
8		1,24	2,59	--	--	--	7,5	--	0,65	
Complexo Sortido (cmol _c /kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V (%)	m (%)	PST
6,90	6,10	0,36	0,18	0,00	0,00	13,5	13,5	100	0	3
4,60	4,40	1,17	0,16	0,17	0,00	10,3	10,5	98	0	11
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
14,12	1,61	9	24,34	281	--	--	--	--	--	--
12,79	1,39	9	22,05	274	--	--	--	--	--	--

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2024).

ANEXO B – TABELA DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DO COQUEIRO IRRIGANTE C.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ				GOVERNO DO ESTADO DO CEARA							
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS				SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E							
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO				RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME							
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA											
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXAPOSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)											
Interessado: Núcleo C			Procedência: Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-Ce					Data: 29/10/2024			
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO											
		Horizonte		Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação		
Amostra	Símbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textura			
864	Núcleo C	0 - 30	404	170	205	221	200	Franco argilo arenosa			
865	Núcleo C	30 - 60	231	208	342	219	192	Franca			
Grau de floculação			Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
(g/100g)			Solo	Partículas	0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	KCl	(dS/m)	
9			1,61	2,60	--	--	--	6,6	--	0,92	
12			1,29	2,65	--	--	--	6,7	--	0,34	
Complexo Sortido (cmol _c /kg)											
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V (%)	m (%)	PST	
8,20	5,10	0,41	0,42	0,33	0,10	14,1	14,5	98	1	3	
5,20	5,00	0,38	0,50	0,17	0,00	11,1	11,2	99	0	3	
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)	
17,88	1,93	9	30,82	119	--	--	--	--	--	--	
14,55	1,56	9	25,08	200	--	--	--	--	--	--	

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2024).

ANEXO C – TABELA DE ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DO COQUEIRO IRRIGANTE D.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ				GOVERNO DO ESTADO DO CEARA						
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS				SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E						
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO				RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME						
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA										
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXAPOSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)										
Interessado: Núcleo D			Procedência: Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-Ce					Data: 29/10/2024		
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO										
	Horizonte		Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação		
Amostra	Símbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textura		
868	Núcleo C	0 - 30	63	450	326	161	142	Franca		
869	Núcleo C	30 - 60	44	440	365	151	146	Franca		
Grau de floculação		Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
(g/100g)		Solo	Partículas	0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	KCl	(dS/m)	
12		1,61	2,50	--	--	--	7,0	--	1,15	
3		1,05	2,56	--	--	--	7,6	--	0,67	
Complexo Sortido (cmol _c /kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V (%)	m (%)	PST
8,00	3,40	0,42	0,21	0,00	0,00	12,0	12,0	100	0	3
6,20	5,00	0,81	0,17	0,00	0,00	12,2	12,2	100	0	7
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
16,67	1,85	9	28,73	28	--	--	--	--	--	--
13,88	1,59	9	23,93	24	--	--	--	--	--	--

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2024).

ANEXO D – TABELA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DA BANANEIRA IRRIGANTE D₁.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ				GOVERNO DO ESTADO DO CEARA						
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS				SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E						
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO				RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME						
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA										
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXAPOSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)										
Interessado: Núcleo D ₁				Procedência: Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-Ce				Data: 15/09/2025		
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO										
Horizonte			Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação		
Amostra	Símbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textura		
847	--	0 - 40	--	--	--	--	--	--		
Grau de floculação (g/100g)		Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
		Solo	Partículas	0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	KCl	(dS/m)	
--		--	--	--	--	--	7,4	--	0,63	
Complexo Sortido (cmol _c /kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V (%)	m (%)	PST
14,40	3,50	0,59	0,23	0,66	0,00	18,7	19,4	97	0	3,1
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
9,55	1,02	9	16,46	12	--	--	--	--	--	--

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2025).

ANEXO E – TABELA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DA BANANEIRA IRRIGANTE D₂.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ				GOVERNO DO ESTADO DO CEARA						
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS				SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E						
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO				RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME						
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA										
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXAPOSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)										
Interessado: Núcleo D ₂				Procedência: Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-Ce				Data: 15/09/2025		
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO										
Horizonte			Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação		
Amostra	Símbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textura		
848	--	0 - 40	--	--	--	--	--	--		
Grau de flocculação (g/100g)		Densidade (g/cm ³)		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
		Solo	Partículas	0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	KCl	(dS/m)	
--		--	--	--	--	--	7,4	--	0,62	
Complexo Sortido (cmol _c /kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V (%)	m (%)	PST
6,70	1,50	0,231	0,19	0,99	0,00	8,7	9,7	90	0	3,2
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
11,25	1,21	9	19,40	42	--	--	--	--	--	--

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2025).

ANEXO F – TABELA DE ANÁLISE QUÍMICA DE SOLO DA CULTURA DA BANANEIRA IRRIGANTE D₃.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ				GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ						
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS				SRH/FUNDAÇÃO CEARENSE DE METEOROLOGIA E						
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DO SOLO				RECURSOS HÍDRICOS - FUNCEME						
LABORATÓRIO DE SOLOS/ÁGUA										
CAMPUS DO PICI - BLOCO 807 - CAIXAPOSTAL 12168 - CEP 60021 - 970 - FORTALEZA - CE (Fone/Fax: (085) 3366 9689)										
Interessado: D ₃				Procedência: Perímetro Irrigado Curu Pentecoste-Ce				Data: 15/09/2025		
RESULTADOS DA ANÁLISE DE SOLO										
Horizonte			Composição Granulométrica (g/kg)					Classificação		
Amostra	Símbolo	Prof (cm)	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Argila Natural	Textura		
849	--	0 - 40	--	--	--	--	--	--		
Grau de flocculação (g/100g)		Densidade (g/cm ³) Solo		Umidade (g/100g)			pH		C.E	
		Partículas		0,033 MPa	1,5 MPa	Água útil	Água	KCl	(dS/m)	
--		--		--	--	--	7,9	--	0,74	
Complexo Sortido (cmol _c /kg)										
Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	H ⁺ + Al ³⁺	Al ³⁺	S	T	V (%)	m (%)	PST
15,00	6,10	0,92	0,28	0,33	0,00	22,3	22,6	99	0	4,1
C (g/kg)	N (g/kg)	C/N	M O (g/kg)	P Assimilável (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Mn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
9,75	1,06	9	16,81	7	--	--	--	--	--	--

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2025).

ANEXO G – TABELA DE ANÁLISE DE ÁGUA DO IRRIGANTE DOS NÚCLEOS B, C, E D (Fe).

Núcleo B

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

LABORATÓRIO	REMETENTE	CÁTIONS (mmol _c L ⁻¹)					ÂNIONS (mmol _c L ⁻¹)				
		(Nº)	(MARCA)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
2025-001/9	009	2,3	2,7	1,6	0,2	6,8	6,1	--	0,5	--	6,6
CE (dS.m ⁻¹)	RAS	pH	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg. L ⁻¹)			CLASSIFICAÇÃO			Fe (mg. L ⁻¹)		
0,68	0,73	6,5	680			C ₂ S ₁			--		

Núcleo C

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

LABORATÓRIO	REMETENTE	CÁTIONS (mmol _c L ⁻¹)					ÂNIONS (mmol _c L ⁻¹)				
		(Nº)	(MARCA)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
2025-001/8	008	2,1	3,2	1,8	0,2	7,3	6,3	--	0,4	--	6,7
CE (dS.m ⁻¹)	RAS	pH	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg. L ⁻¹)			CLASSIFICAÇÃO			Fe (mg. L ⁻¹)		
0,69	0,80	6,8	690			C ₂ S ₁			--		

Núcleo D

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

LABORATÓRIO	REMETENTE	CÁTIONS (mmol _c L ⁻¹)					ÂNIONS (mmol _c L ⁻¹)				
		(Nº)	(MARCA)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
2025-001/7	007	2,6	2,8	2,6	0,1	8,1	7,5	--	0,7	--	8,2
CE (dS.m ⁻¹)	RAS	pH	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg. L ⁻¹)			CLASSIFICAÇÃO			Fe (mg. L ⁻¹)		
0,85	1,10	7,5	850			C ₃ S ₁			--		

Núcleo D₁

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO

LABORATÓRIO	REMETENTE	CÁTIONS (mmol _c L ⁻¹)					ÂNIONS (mmol _c L ⁻¹)				
		(Nº)	(MARCA)	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Σ	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
2025-001/6	006	1,8	7,6	4,1	0,1	13,6	13,2	--	0,5	--	13,7
CE (dS.m ⁻¹)	RAS	pH	SÓLIDOS DISSOLVIDOS (mg. L ⁻¹)			CLASSIFICAÇÃO			Fe (mg. L ⁻¹)		
1,44	1,33	7,0	1.440			C ₃ S ₁			0,02		

Fonte: LABORATÓRIO DE ANÁLISE DE SOLOS, ÁGUAS, TECIDOS VEGETAIS E ADUBOS (2025).