



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

MAGALY CONDORI QUISPE

**DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA E ANÁLISE
ECONÔMICO-SOCIAL DA PRODUÇÃO DE COCO EM SOLO RECUPERADO DA
DEGRADAÇÃO POR SAIS**

FORTALEZA

2024

MAGALY CONDORI QUISPE

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA E ANÁLISE
ECONÔMICO-SOCIAL DA PRODUÇÃO DE COCO EM SOLO RECUPERADO DA
DEGRADAÇÃO POR SAIS

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

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- Q83d Quispe, Magaly Condori.
Desempenho de um sistema de drenagem subterrânea e análise econômico-social da produção de coco em solo recuperado da degradação por sais / Magaly Condori Quispe. – 2024.
93 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2024.
Orientação: Prof. Dr. Raimundo Nonato Távora Costa.
1. Desempenho hidráulico. 2. Capacidade de transmissão de água no solo. 3. Atributos químicos do solo. 4. Atributos químicos da água. 5. Sustentabilidade econômico-social. I. Título.
CDD 320.6
-

MAGALY CONDORI QUISPE

DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM SUBTERRÂNEA E ANÁLISE
ECONÔMICO-SOCIAL DA PRODUÇÃO DE COCO EM SOLO RECUPERADO DA
DEGRADAÇÃO POR SAIS

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: 20/05/2024.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Alessandro Oliveira da Silva
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Henrique Carvalho de Sousa
Faculdade Ieducare (FIED)

Para minha família, com muito carinho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos, por ter permitido que eu tivesse saúde e determinação para não desanimar durante a realização deste trabalho.

Aos meus pais, irmãos e familiares que me apoiaram em meu sonho de me tornar uma Mestre, dando-me conselhos e apoio em todo momento da minha vida, e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao meu orientador Dr. Raimundo Nonato, por sua paciência, orientação e sugestões para a realização deste trabalho.

Aos participantes da banca examinadora, Dr. Alexsandro Oliveira e Dr. Carlos Henrique pelas sugestões, colaborações e disponibilidade do tempo para a conclusão do trabalho.

Aos meus amigos Gleyciane Lins, Valeria Barbosa, Rafaela Arruda, Kleiton Chagas, Márcia Cruz, Diogo Sales, James Costa, Pedro Victor e Ruan Santana que estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo.

Agradeço à Organização dos Estados Americanos (OEA) pela oportunidade de ser Mestre e concluir com um objetivo a mais da minha vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 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.

Ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água e Solo – Semiárido (Gpeas – Semiárido) em especial à Dr. Kenya Nunes e Almiro Medeiros.

Agradeço muito ao produtor Jarder por sua disposição em ajudar e realizar a pesquisa na área de produção de coco anão.

RESUMO

Uma das técnicas desenvolvidas para a recuperação e a incorporação de solos alagados, salinos e sódicos é a implementação de sistemas de drenagem subterrânea e a irrigação suplementar para melhorar a qualidade do solo a fim de aprimorar as condições da produção. Neste contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar o desempenho hidráulico de um sistema de drenagem subterrânea bem como os atributos de transmissão de água no solo, atributos químicos do solo e a rentabilidade no cultivo do coqueiro anão em uma área de agricultor familiar submetida há 13 anos ao processo de recuperação do solo salino-sódico, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará. Foi avaliado o sistema de drenagem subterrânea por meio do desempenho hidráulico na transmissão de água no solo, além dos atributos físico-químicos do solo, a qualidade da água de irrigação e rentabilidade do coqueiro anão verde, no ano agrícola de 2023. O desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea consistiu na análise das variáveis rede de fluxo do lençol freático, perfis do lençol freático entre linhas de drenos e análise comparativa entre espaçamento real de campo e espaçamento estimado por equações de drenagem em regime de fluxo não-permanente. A transmissão de água no solo foi avaliada por meio de testes de condutividade hidráulica do solo saturado em condições de campo e em amostras de solo no laboratório. Foram avaliadas a condutividade elétrica do solo no extrato 1:2 (CE) e a percentagem de sódio trocável (PST). Nas dimensões econômica e social foram analisados os indicadores de sustentabilidade social valor agregado e de sustentabilidade econômica renda do agricultor, que avalia a viabilidade econômica do sistema de produção. Os resultados da pesquisa permitiram obter as seguintes conclusões: a) A rede de fluxo do lençol freático evidencia a região central da área com maiores valores de potenciais totais e, portanto, funcionando como um divisor de águas subterrâneas, cujas linhas de fluxo seguem aproximadamente perpendiculares à direção dos drenos laterais com gradientes hidráulicos que sinalizam o sistema de drenagem subterrânea funcionamento como tipo interceptação; b) Os perfis de rebaixamento do lençol freático refletem a baixa capacidade de transmissão de água no solo traduzida no valor médio da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) obtido em ensaios de campo; c) O valor da velocidade de infiltração básica do solo confirma que não se deve usá-la em substituição ao valor da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), porquanto iria superdimensionar o valor do espaçamento entre drenos; d) Os valores de resistência à penetração do solo nas profundidades avaliadas demonstram não comprometer o desenvolvimento do sistema radicular do coqueiro, mantendo coerência com os valores de resistência hidráulica, os quais demonstram a inexistência de impedimentos físicos; e) A análise

da necessidade de envoltórios na área da pesquisa recomenda o uso de envelopes granulares com brita zero zero ou alternativamente brita zero, ao invés de mantas geotêxteis, as quais poderão apresentar riscos de colmatação; f) Os atributos químicos do solo demonstram que após o processo de recuperação do solo salino-sódico, os níveis de salinidade e de sodicidade se apresentam praticamente inalterados, se tratando atualmente de um solo no limiar de sódico, tal qual há 13 anos; g) A fonte hídrica utilizada na irrigação é oriunda do aquífero aluvial não apresenta riscos ao solo ou à cultura do coqueiro, com o sistema de drenagem subterrânea sendo vital na retirada de sais; h) A área piloto de 0,4 ha permite que o agricultor irrigante atinja o nível de reprodução social, o que só é possível em razão do financiamento e pela não existência de intermediários no processo de comercialização.

Palavras-chave: coqueiro anão; salinidade; comportamento hidráulico; sustentabilidade.

ABSTRACT

One of the techniques developed for the recovery and incorporation of waterlogged, saline and sodic soils is the implementation of underground drainage systems and supplementary irrigation to improve soil quality in order to improve production conditions. In this context, this research aimed to evaluate the hydraulic performance of an underground drainage system as well as the attributes of water transmission in the soil, soil chemical attributes and profitability in the cultivation of dwarf coconut palms in a family farmer's area that has been subjected to a saline-sodic soil recovery process for 13 years, in the Curu Irrigation Project - Pentecoste, Ceará. The underground drainage system was evaluated by means of hydraulic performance in the transmission of water in the soil, as well as the physical-chemical attributes of the soil, the quality of the irrigation water and the profitability of the green dwarf coconut tree in the 2023 agricultural year. The hydraulic performance of the underground drainage system consisted of analyzing the variables of the water table flow network, water table profiles between drain lines and comparative analysis between actual field spacing and spacing estimated by drainage equations in a non-permanent flow regime. Water transmission in the soil was assessed by means of hydraulic conductivity tests on saturated soil under field conditions and on soil samples in the laboratory. The electrical conductivity of the soil in the 1:2 extract (EC) and the percentage of exchangeable sodium (PST) were evaluated. In the economic and social dimensions, the social sustainability indicators added value and the economic sustainability indicator farmer's income were analyzed, which assesses the economic viability of the production system. The results of the survey led to the following conclusions: a) The groundwater flow network shows the central region of the area with the highest total potential values and therefore acts as a groundwater divider, whose flow lines run approximately perpendicular to the direction of the lateral drains with hydraulic gradients that signal the underground drainage system functions as an interception type; b) The water table lowering profiles reflect the low water transmission capacity of the soil, as reflected in the average value of the hydraulic conductivity of saturated soil (K_o) obtained in field tests; c) The value of the basic infiltration rate of the soil confirms that it should not be used instead of the value of the hydraulic conductivity of the saturated soil (K_o), as it would overestimate the value of the spacing between drains; d) The soil penetration resistance values at the depths evaluated show that they do not compromise the development of the coconut root system, and are consistent with the hydraulic resistance values, which show that there are no physical impediments; e) The analysis of the need for enclosures in the research area recommends the use of granular

envelopes with zero-zero gravel or alternatively zero-zero gravel, instead of geotextile blankets, which could present a risk of clogging; f) The chemical attributes of the soil show that after the recovery process of the saline-sodic soil, the levels of salinity and sodicity are practically unchanged, and the soil is now at the sodic threshold, just as it was 13 years ago; g) The water source used for irrigation comes from the alluvial aquifer and poses no risk to the soil or the coconut crop, with the underground drainage system being vital in removing salts; h) A área piloto de 0,4 ha permite que o agricultor irrigante atinja o nível de reprodução social, o que só é possível em razão do financiamento e pela não existência de intermediários no processo de comercialização.

Keywords: dwarf coconut palm; salinity; drainage; hydraulic performance; sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Mapa de localização da área, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	34
Figura 2	– Amostras de solo não deformadas para teste de Ko, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	41
Figura 3	– Distribuição de drenos laterais, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	41
Figura 4	– Rede de fluxo do lençol freático ou isohypsas, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	48
Figura 5	– Mapa de isóbatas: 18 e 19 de março de 2023, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	48
Figura 6	– Mapa de isóbatas: 28 e 29 de abril de 2023, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	49
Figura 7	– Depleção do lençol freático em quatro dias, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	50
Figura 8	– Teste de infiltração na parte central da área, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	52
Figura 9	– Velocidade de infiltração básica VIB, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	54
Figura 10	– Distribuição granulométrica das amostras do solo nas diferentes profundidades, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	60
Figura 11	– Resistência à penetração do solo no início (A), no centro (B) e no final (C) da área de pesquisa, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	63
Figura 12	– Curva de % passante do solo, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	65
Figura 13	– Drenagem natural deficiente na área da pesquisa, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	68
Figura 14	– Valor Agregado para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	70
Figura 1	– Valor Agregado para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	71

Figura 16	– Renda do agricultor (RA) na produção de coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	72
Figura 17	– Renda do agricultor (RA) na produção de coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	73
Figura 18	– Cultura do coqueiro no ano 2009, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	90
Figura 19	– Fotografia da área de produção 2023 no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	90
Figura 20	– Leitura do lençol freático na área de produção, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	91
Figura 21	– Poços de observação colmatados e substituídos, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	91
Figura 22	– Drenagem da água pelo dreno lateral F, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	92
Figura 23	– Drenagem da água pelo dreno lateral B, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	92
Figura 24	– Colheita dos frutos do coqueiro anão verde, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	93
Figura 25	– Contabilização dos frutos de coco, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Classificação dos solos afetados por sais	24
Tabela 2	– Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade	25
Tabela 3	– Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água	26
Tabela 4	– Intervalos de magnitude de condutividade hidráulica	29
Tabela 5	– Classificação do solo a partir de sua VIB em mm h ⁻¹ , Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	54
Tabela 6	– Estimativa da chuva de projeto para drenagem subterrânea, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará ção do lençol freático em quatro dias, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	55
Tabela 7	– Espaçamento entre drenos em condições de fluxo não permanente, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	56
Tabela 8	– Atributos químicos da água, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	58
Tabela 9	– Atributos químicos da água utilizada durante a pesquisa de 2012	59
Tabela 10	– Composição granulométrica e classificação textural, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	59
Tabela 11	– Classificação da resistência à penetração do solo, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	62
Tabela 12	– Atributos químicos do solo, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	66
Tabela 13	– Atributos do solo antes do processo de recuperação 2009	67
Tabela 14	– Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento	69
Tabela 15	– Parâmetros utilizados para cálculo da renda do agricultor (RA), Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará	72
Tabela 16	– Atributos da fertilidade do solo 2023	88
Tabela 17	– Resistência à penetração (início da área)	89
Tabela 18	– Resistência à penetração (parte central da área)	89
Tabela 19	– Resistência à penetração (final da área)	24

Tabela 20 – Valor de D60 recomendado para o envelope em função do D60 estimado para o solo	95
Tabela 21 – Faixa de diâmetro dos materiais possíveis de serem utilizados como envelope, fornecida por empresa que comercializa materiais de construção	95

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Cultura do coqueiro	21
<i>2.1.1</i>	<i>Requerimento hídrico do coqueiro</i>	21
<i>2.1.2</i>	<i>Requerimento nutricional do coqueiro</i>	22
<i>2.1.3</i>	<i>Coqueiro e a salinidade do solo</i>	23
2.2	Salinização e sodificação de solo	24
2.3	Importância do sistema de drenagem subterrânea	28
<i>2.3.1</i>	<i>Fatores que exercem influência sobre a drenagem</i>	28
<i>2.3.1.1</i>	<i>Rede de fluxo</i>	29
<i>2.3.1.2</i>	<i>Coefficiente de drenagem</i>	29
<i>2.3.1.3</i>	<i>Condutividade hidráulica do solo saturado</i>	30
<i>2.3.1.4</i>	<i>Capacidade de transmissão de água no solo</i>	30
<i>2.3.1.5</i>	<i>Espaçamento entre drenos</i>	31
2.4	Indicadores econômico-sociais	32
3	MATERIAL E MÉTODOS	35
3.1	Caracterização da área da pesquisa	35
3.2	Avaliação de desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea	36
<i>3.2.1</i>	<i>Rede de fluxo do lençol freático</i>	36
<i>3.2.2</i>	<i>Perfis do lençol freático entre linhas de drenos</i>	37
<i>3.2.3</i>	<i>Chuva crítica ou de projeto</i>	37
<i>3.2.4</i>	<i>Espaçamento entre drenos laterais</i>	37
3.3	Capacidade de transmissão de água no solo	40
3.4	Atributos químicos da água	43
3.5	Atributos físicos do solo	43
<i>3.5.1</i>	<i>Análise física do solo em laboratório</i>	43
<i>3.5.2</i>	<i>Análise da resistência à penetração do solo</i>	44
3.6	Atributos químicos do solo	44
3.7	Análise da sustentabilidade econômico-social	44
<i>3.7.1</i>	<i>Valor agregado</i>	45

3.7.2	<i>Renda do agricultor</i>	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1	Avaliação de desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea	48
4.1.1	<i>Rede de fluxo do lençol freático e mapas de isóbatas</i>	48
4.1.2	<i>Perfis de drenagem</i>	50
4.1.3	<i>Capacidade de transmissão de água no solo</i>	51
4.1.3.1	<i>Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório</i>	52
4.1.3.2	<i>Teste de infiltração com cilindro infiltrômetro</i>	53
4.1.4	<i>Estimativa da chuva de projeto</i>	55
4.1.5	<i>Espaçamento entre drenos laterais</i>	57
4.2	Atributos químicos da água de irrigação, do lençol freático e de drenagem	57
4.3	Atributos físicos do solo	60
4.3.1	<i>Análises granulométrica</i>	60
4.3.2	<i>Análise da resistência à penetração do solo</i>	62
4.4	Análise da necessidade de envoltório	64
4.5	Atributos químicos do solo	66
4.6	Análise da sustentabilidade econômico-social	69
4.6.1	<i>Valor agregado</i>	69
4.6.2	<i>Renda do agricultor</i>	72
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	74
	REFERÊNCIAS	75
	APÊNDICE A – COORDENADAS DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO	86
	APÊNDICE B – PROPORÇÕES DE TAMANHO DE PARTÍCULAS NAS AMOSTRAS DO SOLO	87
	APÊNDICE C – ATRIBUTOS DA FERTILIDADE DO SOLO	88
	APÊNDICE D – DADOS E CÁLCULOS REALIZADOS PARA OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO	89
	APÊNDICE E – FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE PRODUÇÃO	90
	APÊNDICE F – FOTOGRAFIAS DA PESQUISA	91

APÊNDICE G – FOTOGRAFIAS DO FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM SUBTERRÂNEA	92
APÊNDICE H – FOTOGRAFIAS DA PRODUÇÃO DO COQUEIRO ANÃO VERDE	93
ANEXO A – DIAGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO	94
ANEXO B – TABELAS PARA FAZER CÁLCULOS DO ENVELOPE	95

1 INTRODUÇÃO

No cenário mundial, o Brasil é o quinto maior produtor de coco, com 3,9% da produção total, correspondendo a 2,33 milhões de toneladas produzidas no ano 2019 (Brainer, 2021). Em âmbito nacional, o Nordeste é o grande destaque na produção, com 1,13 bilhão de frutos colhidos do total de 1,55 bilhão de todo o país em 2019, segundo dados do IBGE.

Os estados do Nordeste que se destacaram na produção de frutos colhidos em 2019 foram os seguintes: a Bahia liderou com 333,7 milhões, seguida pelo Ceará com 302,7 milhões. O Pará produziu 175,2 milhões, enquanto Sergipe e Espírito Santo colheram 152,8 milhões e 146 milhões respectivamente. Pernambuco também contribuiu com uma produção significativa de 143,5 milhões (Rollemberg, 2021).

Em 2020, o Ceará liderou a produção de coco no Brasil, com 21,2% da área de cultivo e 24,7% da produção total. Segundo dados do IBGE, o município de Pentecoste em 2022 teve uma produção de 2.042.000 frutos e um rendimento médio anual de 13.174 frutos ha⁻¹. O aumento da produtividade se deve, em parte, à substituição de áreas por plantações de coqueiro - anão e híbrido, que são mais produtivos e cultivados com irrigação (Castro, 2021).

No entanto, existe a vulnerabilidade do produtor de coco que se deve principalmente à falta de água, agravada por secas e mudanças climáticas. Problemas como salinização, erosão do solo e a constância das pragas, que comprometem a produção e sustentabilidade do cultivo do coco (Ferreira, Dos Santos e Gomes, 2022).

Como resposta aos desafios na produção de fruteiras, no semiárido foram estabelecidos projetos irrigados, que conforme Pontes *et al.* (2013) mencionam os espaços demarcados pelo Estado para o desenvolvimento de projetos públicos de agricultura irrigada. Normalmente, essas áreas possuem um alto potencial agrícola, evidenciado por solos férteis, disponibilidade de água, clima propício e uma ampla força de trabalho disponível.

Freire *et al.* (2014) confirmaram que, em projetos irrigados, predominam problemas relacionados a níveis altos de pH, baixa condutividade elétrica (CE) e susceptibilidade à dispersão de colóides, o que resulta na degradação da qualidade física do solo.

No Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste a degradação dos solos foram se acumulando ao longo dos anos, sendo decorrente do tipo de solo que tem uma formação Neossolo Flúvico caracterizados por ter derivados de sedimentos e elevada concentração de sais, sendo outro fator importante a água que é utilizada para a irrigação, a drenagem do excesso de água e o tipo de irrigação praticada (Albuquerque, 2015)

Sousa (2012) implementou no ano de 2009 um sistema de drenagem subterrânea e monitoramento do lençol freático, bem como a aplicação de gesso e subsolagem em uma área cultivada com coqueiros anão verde no Projeto Irrigado Curu – Pentecoste. Os resultados obtidos incluíram uma redução média de 0,3 m no nível do lençol freático e aprimoramentos nas condições físicas do solo, resultando em aumento da condutividade hidráulica. A intervenção realizada promoveu, conseqüentemente, efeito positivo na produção do coqueiro desde a primeira colheita realizada, que teve evolução crescente passando de 33,3 frutos planta⁻¹ano⁻¹ em 2010/2011 para 152,4 frutos planta⁻¹ano⁻¹ em 2011/2012.

Por mais que já se tenha relatos de pesquisas voltadas para essa temática, (análise de desempenho de um sistema de drenagem subterrânea na cultura da videira no Município de Jaguaruana – Ceará e Material do envoltório na drenagem subterrânea e a importância da engenharia de irrigação e drenagem no uso sustentável da água em distritos de irrigação) ainda há muita carência na literatura da avaliação de sistemas de drenagem e de produção cujo solo degradado por sais tenha passado por processo de recuperação há alguns anos. Nesse sentido, a pesquisa se concentrou na análise dos fatores mais importantes da drenagem subterrânea: água e solo. É importante determinar as causas que poderiam dificultar o movimento da água na área da pesquisa.

Embora o Brasil seja um dos principais produtores de coco no mundo, a produção nacional enfrenta desafios referentes à degradação de solos suscetíveis ao acúmulo de sais. Essas dificuldades são particularmente significativas nas áreas irrigadas do semiárido nordestino. No entanto, existem poucos dados sobre a situação real. Nesse sentido, compreender a evolução e os componentes do processo produtivo do coqueiro anão em solos Neossolos Flúvicos é fundamental para a identificação de novas alternativas de desenvolvimento agrário.

Nessa perspectiva, a pesquisa teve como objetivo geral avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem, os atributos de transmissão de água no solo, os atributos químicos do solo e a rentabilidade no cultivo do coqueiro anão em uma área que foi submetida ao processo de recuperação do solo salino-sódico há 13 anos. Especificamente, a pesquisa teve os seguintes objetivos: - avaliar o desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea; - caracterizar a capacidade de transmissão de água no solo; - analisar atributos químicos do solo; - analisar os atributos químicos da água; - discutir a sustentabilidade econômico-social do sistema de produção. Nesse sentido, a pesquisa tem como expectativa contribuir com informações que permitam avaliar a sustentabilidade da produção de coco para as condições similares a do estudo, além de orientar aos agricultores irrigantes sobre a necessidade de ajustes no sistema de produção.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do coqueiro

O coqueiro anão verde destaca-se pela sua alta produtividade na região nordestina do Brasil, cuja variedade é importante por apresentar precocidade e uma longevidade de até 40 anos e uma produção média de 150 a 200 frutos planta⁻¹ ano⁻¹ (Ferreira *et al.*, 2011).

No Estado de Ceará se configura como o segundo produtor nacional de coco (698.583 toneladas produzidas entre 2014 e 2016), onde é comercializado a baixo preço trazendo como consequência a inexistência da eficiência de produção. Considerando fatores como: sustentabilidade econômica, melhor uso da água de irrigação, carência de insumos, ausência de máquinas agrícolas e capacitações (Dias *et al.*, 2018).

Por conseguinte, a região litorânea do Ceará apresenta condições edafoclimáticas que favorecem a produção do coqueiro, ao longo do ano, apresenta variabilidade na colheita dos frutos. As estações chuvosas e secas tem um impacto direto na quantidade dos frutos acrescentando e diminuindo respectivamente, assim mesmo afetando as características do fruto como: no peso, volume e o teor de sólidos solúveis da água (De Miranda; Gomes, 2006).

De acordo com Bento *et al.* (2017) a produção de coco no Projeto Irrigado Curu – Pentecoste, que destinam à comercialização de forma indireta, também tem uma produção de banana e em menor quantidade o cultivo de forrageiras, junto com o pasto nativo proveniente da mata, que é destinado para os bovinos e caprinos; de forma que os produtores só recebem entre dois e três salários mínimos.

O coqueiro é a principal cultura do Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, cultivado por 90% dos irrigantes, ocupando em média 2,21 ha do lote agrícola. A produção de coco é aproveitada para o consumo de água de coco “in natura”, sendo o seu aspecto visual importante e um fator limitante para a comercialização caso apresente avarias, escurecimentos, muitas vezes causados pelo transporte inadequado (Lima, 2005).

2.1.1 Requerimento hídrico do coqueiro

Na agricultura, atividade econômica com maior consumo hídrico torna-se necessário o uso de águas de qualidade marginal, entre elas as salobras (Montoya e Finamore, 2020). Um dos casos é no cultivo do coqueiro, espécie admitida como tolerante à salinidade (Ferreira Neto et al. 2002) devido à sua área de dispersão natural predominar na costa marítima.

Os solos utilizados para o cultivo de coqueiro no litoral são arenosos e profundos; o excesso de sais provenientes das irrigações com águas salobras pode ser lixiviado durante o período chuvoso, diminuindo os seus efeitos sobre a planta e o solo (Ferreira *et al.*, 2007).

Na concepção das necessidades hídricas do coqueiro anão variam com o clima, a área foliar e a altura da planta, a área molhada pelo sistema de irrigação, o tipo de solo, o teor de umidade do solo, a frequência das irrigações, o estado nutricional e fitossanitário da planta e a velocidade do vento (Ferreira *et al.*, 2011).

O uso de águas salobras emerge como uma solução para aumentar a produção, porém, conseqüentemente, surgem os efeitos negativos que podem prejudicar o desenvolvimento do coqueiro caso não haja um manejo adequado dos recursos hídricos. Marinho *et al.* (2006) comprovaram que ao submeter o cultivo de coqueiro anão a quatro níveis de salinidade na água de irrigação, expressos pela condutividade elétrica da água (CE_a), denominados: 0,1 (controle), 5, 10 e 15 $dS\ m^{-1}$, o limite para alcançar uma produção aceitável de frutos de coqueiro anão verde é de aproximadamente 3,0 $dS\ m^{-1}$. Um aumento nesse nível de condutividade elétrica de 2 a 3,4% resulta na redução do número e peso dos frutos.

Tendo presente a utilização de águas salobras, num estudo realizado por Ferreira *et al.* (2002) durante o período de frutificação do coqueiro “anão verde”, estes autores observaram que estas águas provocaram a redução no desenvolvimento das plantas, mesmo assim existiu uma leve melhora na qualidade da água de coco, principalmente no aumento do teor de sólidos solúveis, embora diminuam o tamanho e o volume de água do fruto.

O volume de água a ser aplicado no coqueiro varia principalmente com a região de plantio, com a época do ano e com a idade da planta. Para as plantas adultas o volume normalmente varia, na época mais seca do ano entre 120 a 200 litros por planta adulta dia (Rolemberg e Santos, 2006).

Considerando a pesquisa realizada no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, conduzido por Silveira (2020), sobre a produção de coqueiro anão durante o período seco (julho a dezembro), foram levados em conta a evapotranspiração e a necessidade de irrigação, desconsiderando as precipitações e calculando as lâminas líquidas (mm). O resultado indicou uma demanda de 200 L de água por dia para cada planta adulta de coqueiro.

2.1.2 Requerimento nutricional do coqueiro

Na região do Nordeste Brasileiro o baixo rendimento dos coqueiros é referente a fertilidade do solo. É evidente que a adubação é uma das práticas de maior impacto sobre a

produtividade da cultura. Camboim Neto (2002), descreve que o adubo fosfatado deve ser aplicado anualmente, de uma única vez, ou parcelado em duas vezes iguais. O parcelamento dos adubos nitrogenados, potássicos e dos micronutrientes é de fundamental importância para evitar perdas e proporcionar maior eficiência da adubação, em virtude do maior aproveitamento dos nutrientes pelas plantas de coco.

A variedade de coqueiro-anão, a qual se caracteriza pelas maiores exigências hídricas e nutricionais pôr ter uma produção contínua em todo o ano, recomenda-se fazer análises foliar e do solo para considerar uma recomendação de adubação as quais os teores de nutrientes no solo e nas folhas possam ser levados em consideração (Ferreira *et al.*, 2011).

Pelo crescente consumo de coco nos últimos anos, os produtores ressaltam as alternativas para tornar uma produção mais eficiente, entre as quais se destaca o manejo adequado da fertilidade do solo. Teixeira *et al.* (2005) asseguram que a adubação nitrogenada na produção de coqueiros em condições irrigadas, de 120 kg ha⁻¹ano⁻¹, sendo esta suficiente para manter o teor de N foliar, contudo, doses superiores a 240 kg ha⁻¹ano⁻¹ de N implicaram excessiva acidificação do solo; enquanto a doses de potássio de 120 kg ha⁻¹ano⁻¹ foram suficientes para manter o teor de K⁺ no solo e na parte foliar das plantas.

2.1.3 Coqueiro e a salinidade do solo

Os impactos da salinização dos solos afetam a dinâmica de organização espacial das populações, promovendo redução das produções agrícola, deslocamentos populacionais, colocando em risco a segurança alimentar e a economia das comunidades. Estudos apontam para os problemas citados anteriormente, com destaque no Nordeste do Brasil (Vasconcelos *et al.*, 2013).

Para ter um controle da salinidade no sistema solo - água é fundamental a utilização de um sistema de drenagem, no qual este auxilia na remoção do excesso de água, promoverá uma redução acentuada do teor de sais da solução do solo, de tal forma que permaneçam num balanço favorável na zona radicular. Gheyi *et al.* (2022) afirmam a existência de condicionadores que são agrupados em químicos ou orgânicos e possuem características que contribuem para a redução do sódio adsorvido no complexo de troca. No caso de solos salinos, a recuperação só é possível com a lixiviação do excesso de sais solúveis. No entanto, os condicionadores são importantes para todas as categorias de solos afetados por sais, pois promovem melhorias nos atributos físicos, químicos e biológicos do solo.

Outro fator importante é a evaporação, Ferreira *et al.* (2002) asseguram que a evaporação da água no solo provoca aumento na salinidade do solo, reduzindo o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Várias tecnologias têm sido utilizadas para se produzir economicamente viável em condições de salinidade, destacando-se, entre as mais viáveis, o uso de culturas tolerantes à salinidade.

A tolerância das culturas é influenciada pelas condições climáticas da região, do tipo de solo, do método de irrigação e do estágio de desenvolvimento. Nesse sentido, torna-se crucial a escolha das práticas de manejo a serem adotadas para evitar a salinização dos solos e assegurar uma produção estável (Dias *et al.*, 2016).

Em meio das espécies vegetais de conhecida tolerância à salinidade, o coqueiro tem especial destaque, a sua ocorrência natural em zonas costeiras, estas caracterizadas por apresentarem um acentuado gradiente de salinidade do solo, podendo a cultura portanto, apresentar características de adaptação ao excesso de sais no solo. Com isso, pode ser eleita como uma das espécies com potencial para revegetação de áreas afetadas por excesso de sais nos solos do semiárido brasileiro (Ferreira *et al.*, 2007).

Considerando-se o desenvolvimento do coqueiro quanto à tolerância a sais na água de irrigação, Holanda *et al.* (2016) sugerem um valor limiar de aproximadamente $6,4 \text{ dS m}^{-1}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$, para um rendimento potencial de 90%. Nesse entendimento, Ferreira *et al.* (2002) concluíram que o aumento na salinidade da água de irrigação eleva o teor de sólidos solúveis totais (brix), sobretudo quando é irrigado com água de CE de 15 dS m^{-1} . O aumento da salinidade da água de irrigação, teve efeito direto na diminuição de peso e de volume da água de coco, resultando em quedas do fruto de 7,6 até 15,4 g e 23,2%, respectivamente.

Podem ser utilizadas águas de alta salinidade no cultivo de coqueiro anão, em condições de textura arenosa do solo e de altas precipitações pluviométricas.

2.2 Salinização e sodificação de solos

No Brasil, solos salinos e sódicos ocorrem com predomínio na região semiárida do Nordeste, onde a área é afetada por excesso de sais correspondente a 91.000 km². O problema da salinização do solo está acontecendo especialmente na região Nordeste, Pedrotti *et al.* (2015) confirmam que aproximadamente 25% das áreas irrigadas encontram-se salinizadas, causando perdas em cultivos já estabelecidos ou por inviabilizar a exploração de novas áreas cultiváveis. Além disso, a acumulação de sais no solo leva à degradação e desertificação, causando uma série de problemas sociais e econômicos.

A salinização do solo pode ocorrer de forma natural (inundações, drenagem natural deficiente, evaporação de águas salinas subterrâneas) ou ser provocada por ações antrópicas como excessos de adubação e irrigação com água salobra, práticas agrícolas responsáveis pela elevação dos níveis de salinidade no solo, sobretudo nas regiões áridas e semiáridas (Nascimento *et al.*, 2009).

Os solos afetados por sais podem ser considerados como: a) salinos - quando o acúmulo de sais em solução se eleva ao ponto de provocar estresse osmótico nas plantas; b) sódicos - quando a relação de sódio trocável é alta; e c) salino-sódico - quando as condições anteriores ocorrem simultaneamente. Os sais solúveis normalmente presentes na solução dos solos de regiões áridas e semiáridas são constituintes de: sódio (Na^+), cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{+2}), potássio (K^+), cloreto (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}), borato (BO_3^-) e nitrato (NO_3^-) (Pedrotti *et al.*, 2015).

Com o aumento das concentrações de sais e sódio trocável, estes modificam as propriedades físicas e químicas do solo, a fertilidade, provocando desestruturação, aumento da densidade do solo e redução da infiltração de água. Ribeiro *et al.* (2017) mencionam que os solos são caracterizados de acordo com três critérios: a condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), a percentagem de sódio trocável (PST) e o potencial hidrogeniônico (pH) conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação dos solos afetados por sais

Critérios	Tipos de solos			
	Normal	Salino	Sódico	Salino – sódico
CE (dS.m^{-1}) 25°C	< 4	≥ 4	< 4	≥ 4
PST (%)	< 15	< 15	≥ 15	≥ 15
pH	4 a 8,5	$\leq 8,5$	8,5 a 10	Próximo de 8,5

Fonte: Richards, 1970 *apud* Ribeiro *et al.*, (2017).

A classificação da água com relação ao risco de salinidade, segundo a University of California Committee of Consultants (UCCC) considera as faixas de condutividade elétrica em que: C_1 são as águas de baixa salinidade, podendo ser usada na irrigação; C_2 , águas com salinidade média e que podem ser usadas na irrigação sempre e quando houver uma lixiviação moderada de sais; C_3 , não devem ser usadas em solos com drenagem deficiente e somente em culturas de alta tolerância aos sais, utilizando-se com critérios de manejo hídrico (lâmina de

lixiviação); e C₄, águas altamente salinas, não apropriadas para irrigação (Melo *et al.*, 2007), conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Classificação da água para irrigação quanto ao risco de salinidade

Classe de salinidade	Richards (1954) UCCC		Risco de salinidade	Ayers; Westcot (1991)	
	Faixas de CE _{es} (dS.m ⁻¹)			Faixa de CE _{es} (dS.m ⁻¹)	Problema de salinidade
C ₁	<0,25	<0,75	Baixo	<0,7	Nenhum
C ₂	0,25 – 0,75	0,75 – 1,50	Médio	0,7 – 3,0	Moderado
C ₃	0,75 – 2,25	1,50 – 3,00	Alto	>3,0	Severo
C ₄	>2,25	>3,00	Muito alto	-	-

Fonte: Melo *et al.*, (2007).

Para Cordeiro (1984), os solos sódicos são aqueles cuja percentagem de sódio trocável é maior do que 15 e a condutividade elétrica do extrato de saturação é menor do que 4 mmhos cm⁻¹ a 25 °C o pH geralmente varia entre 8,5 e 10.

Conforme Duarte *et al.* (2015) asseguram, que a sodicidade poderia causar a fragmentação das partículas, causando uma dispersão da argila e conseqüentemente apresentaria problemas de permeabilidade causando encharcamento. A sodicidade é dependente da relação entre as concentrações de sódio e de íons polivalentes na solução do solo, relação que é medida pela RAS (razão de adsorção de sódio) é utilizada na caracterização de solos sódicos e águas para irrigação, calculada por meio da concentração de cátions em solução, relacionando as concentrações de Na⁺ às concentrações de Ca⁺² e Mg⁺² na água de irrigação, em extratos de saturação e extratos aquosos de solos.

Por conseguinte, solos salinos – sódicos e sódicos prejudicam severamente na germinação das sementes, o crescimento e a produção das plantas cultivadas, nesse sentido para a recuperação é indispensável a aplicação de um corretivo químico (Duarte *et al.*, 2015) de preferência a base de cálcio, com a finalidade de substituir o sódio do complexo de troca e transferi-lo para a solução do solo (Leite *et al.*, 2010).

Na Tabela 3 se pode observar as classes de sodicidade e os tipos de problemas que poderiam causar no solo com base na condutividade elétrica em relação a razão de adsorção de sódio (RAS).

Tabela 3 – Riscos de problemas de infiltração no solo causados pela sodicidade da água
Classes de sodicidade

RAS	Problemas		
	S1 – Sem	S2 - Crescentes	S3 - Severo
Condutividade Elétrica (CE) dSm ⁻¹			
0 a 3	Maior que 0,7	0,7 a 0,2	Menor que 0,2
3 a 6	Maior que 1,2	1,2 a 0,3	Menor que 0,3
6 a 12	Maior que 1,9	1,9 a 0,5	Menor que 0,5
12 a 20	Maior que 2,9	2,9 a 1,3	Menor que 1,3
20 a 40	Maior que 5,0	5,0 a 2,9	Menor que 2,9

Fonte: Ayers e Westcost, 1991 *apud* Costa; Cavalcante; Nunes, (2019).

Os solos degradados apresentam baixa reserva de fósforo e baixa capacidade de infiltração de água, dificultando o manejo da mecanização convencional. Isso resulta na diminuição da capacidade de produção, perda de nutrientes e matéria orgânica. Consequentemente, há aumento da acidez e compactação dos solos (Wadt et al., 2003).

Em uma pesquisa, avaliou-se as lâminas de lixiviação necessárias para corrigir a salinidade de dois solos afetados por sais, coletados em dois lotes do Perímetro Irrigado de Custódia, no Estado de Pernambuco, foram coletadas amostras na profundidade de 30 cm e foram classificados como Neossolo Flúvico Salino (S1) e Salino-Sódico (S2). A lâmina equivalente a 1,0 volume de poros lixiviou a maior parte dos sais; no entanto, não foi suficiente para recuperar os solos em relação à salinidade. Já a lâmina de 2,5 volumes de poros foi adequada para a recuperação dos solos em termos de salinidade (Barros; Santos e Silva, 2005).

Em um estudo conduzido por Soares (1996), foram avaliados os parâmetros físico-hídricos e químicos de um solo aluvial sódico em processo de recuperação com presença de drenagem subterrânea. Os resultados revelaram a redução do pH e valores elevados de Condutividade Elétrica (CE) em todas as camadas do perfil do solo. Além disso, observou-se um aumento nos valores da condutividade hidráulica do solo saturado, o que resultou na redução na Percentagem de Sódio Trocável (PST). Quanto ao sistema de drenagem, as amostras de água dos poços de observação apresentaram maior concentração dos sais presentes, indicando que o sistema de drenagem promoveu a lixiviação dos sais, resultando na melhoria da condutividade hidráulica e da drenagem interna do solo.

2.3 Importância do sistema de drenagem subterrânea

A instalação de um sistema de drenagem subterrânea pode ser instalada para evitar a salinização dos solos e a existência de altos níveis de lençol freático, trazendo uma menor margem de perdas em áreas de produção, tendo o sistema um efeito direto no rebaixamento do lençol freático e na redução de salinização no solo, de tal maneira vai ter um resultado na preservação sustentável ou incorporação de áreas degradadas ao processo produtivo (Duarte *et al.*, 2015).

Os fatores que podem agravar os solos mal drenados são: topográficos, geológicos, edáficos e a ação do homem no manejo dos recursos hídricos e do solo, implicando na redução dos níveis de oxigênio disponível no solo para as raízes na atividade respiratória e consequentemente alterando as atividades fisiológicas. Além disso, no perfil dos solos se produz um aumento de N, CO₂ e outros gases (Goicochea, 2012).

Para compreender de melhor maneira como os efeitos de um solo com mal drenagem podem ocasionar impactos na produção, Trejo e Rojas (2022) asseguram que se deve considerar o monitoramento dos métodos de irrigação, uso eficiente de corretivos no solo, análises para observar se tem transporte de substâncias no perfil do solo e avaliar anualmente o rendimento das culturas, para garantir um sustento econômico.

Nos últimos anos, tem-se observado um aumento na implementação da tecnologia de drenagem agrícola subterrânea devido a problemas nos lençóis freáticos rasos e ao acúmulo excessivo de sais no perfil do solo. Sousa (2012) assevera que a área da presente pesquisa está localizada às margens do Rio Curu e seus afluentes, Canindé e Caxitoré, com infraestrutura de irrigação e uma classificação do solo Neossolo Flúvico.

Os solos fluviais, são formados por sobreposição de camadas de sedimentos geralmente apresentam espessura e granulometria bastante diversificadas, porém existem riscos de inundação, baixa fertilidade natural, excesso de umidade pela presença do lençol freático próximo à superfície e dificuldade no manejo mecanizado (Lopes e Oliveira, 2021).

2.3.1 Fatores que exercem influência sobre a drenagem

Os diferentes fatores que influenciam no sistema de drenagem, para analisar o problema, diagnosticá-lo e empregar soluções estão relacionados a seguir:

2.3.1.1 Rede de fluxo

Para estabelecer critérios para um sistema de drenagem subterrânea, é necessário possuir conhecimento da rede de fluxo. Isso fornecerá informações sobre a presença de zonas de recarga lateral (conhecidas como "seepage" horizontal), a orientação a ser seguida pelos drenos de campo, a inclinação das linhas de fluxo e a condição hidrológica dos canais pré-existentes na área. Além disso, permite o cálculo do gradiente para quantificar o fluxo através de uma determinada seção e direção no solo (Duarte *et al.*, 2015).

Com base no princípio do fluxo de água subterrânea, as fórmulas de drenagem são classificadas em duas categorias: recarga de água constante e não constante, levando em consideração a saída de água por um sistema de drenagem. Em outras palavras, a água flutua de acima para abaixo do nível estático (Villon, 2004 *apud* Hoyos, 2019).

Atualmente, o sistema de drenagem emprega a modelagem numérica do fluxo de águas subterrâneas, que analisa os parâmetros e as características da condutividade hidráulica relacionados à distribuição da litologia e às velocidades. Além disso, são necessários dados hidroestratigráficos e hidrogeológicos, incluindo as direções de fluxo, recargas e descargas, bem como uma estimativa de campo dos componentes do balanço hídrico das águas subterrâneas (Back, 2020).

Uma das ferramentas muito útil e de fácil acesso é a interface FREEWAT integrada a um software livre de ampla utilização, proporcionando que a modelagem numérica se torne um instrumento mais compreensível para a realização de práticas de gerenciamento dos recursos hídricos subterrâneos (Back, 2020).

2.3.1.2 Coeficiente de drenagem

A medição do coeficiente de drenagem entende-se como a remoção do excesso de água que um sistema de drenagem deve extrair, para garantir um nível que não seja restritiva para o crescimento da cultura, sendo expresso em mm dia^{-1} . No dimensionamento deve-se calcular a chuva de projeto a partir de uma série histórica de precipitação (Congope, 2018; Duarte *et al.*, 2015).

O coeficiente de drenagem é determinado pela lâmina a ser drenada em 24 horas, que está sempre associada à profundidade na qual o lençol freático deve estabilizar-se, além de ter um impacto econômico relevante para a produção de culturas (Duarte *et al.*, 2015).

O cálculo da quantidade da água que se deve eliminar, segundo Beltran (1986), profundidade ótima do lençol freático, da perda da água por percolação, da lâmina de lixiviação, das precipitações máximas para tempo de retorno de 5 a 10 anos, e da aplicação ou não da água para lixiviar no solo.

2.3.1.3 Condutividade hidráulica do solo saturado (K_0)

É definida como o coeficiente de proporcionalidade da equação de Darcy e expressa a facilidade que determinado fluído se desloca, dependente das características do fluído e a porosidade efetiva ou espaço poroso drenável no solo, constitui uma das principais características hidrodinâmicas de interesse para o dimensionamento do sistema de drenagem (Libardi, 2005).

Sendo um dos parâmetros básicos do solo que é essencial determinar em qualquer estudo de drenagem subterrânea, pode ser determinado por meio de amostras de solo, em laboratório ou *in situ*; em relação a certas características do solo. Congope (2018) assegura que é comum classificar a K_0 em diferentes faixas, dependendo da velocidade do movimento da água, a textura e estrutura do solo (Tabela 4).

Tabela 4 – Intervalos de magnitude de condutividade hidráulica

Velocidade do movimento	Tipo do solo	Condutividade hidráulica ($m\ dia^{-1}$)
Muito alto	Arenoso com cascalho e areia fina	> 6
Alto	Arenoso, franco arenoso.	3,00 – 6,00
Moderadamente elevado	Franco arenoso.	1,56 – 3,00
Moderado	Franco, franco silte e franco argiloso.	0,48 – 1,56
Moderadamente lento	Franco silte argiloso, franca argilosa areia	0,12 – 0,48
Lento	Argiloso, argila silte.	0,02 – 0,12
Muito lento	Argiloso densa	< 0,02

Fonte: Serviço de conservação do solo (SCS), USA 1994 *In* CONGOPE, (2018)

2.3.1.4 Capacidade de transmissão de água no solo

Para caracterizar a capacidade de transmissão de água no solo deve-se levar em consideração o tipo de solo. Na área da pesquisa foi identificada por Sousa (2012) como

Neossolo Flúvico onde utilizou tratamentos de recuperação mecânicas e químicas afirmando que existe uma alteração nos atributos químicos do solo ao longo prazo e vão ser dependentes dos produtos aplicados e do tipo de culturas estabelecidas.

Os neossolos flúvicos são característicos em todas as regiões do bioma caatinga ao longo de cursos da água, destacando-se que estas áreas constituem 2,0% da região semiárida, mesmo assim é considerado um solo de grande potencialidade agrícola, com baixa saturação por bases, podendo apresentar elevado teor de silte na composição textural e requerem atenção especial nos problemas de compactação (Cunha *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a capacidade de transmissão de água no solo também é modificada ao longo do tempo. Numa pesquisa realizada no município de Quixeré, no Estado do Ceará, feita por Assis Júnior e Silva (2012) estes destacam que no solo do tipo Neossolo Flúvico a utilização de água com maiores concentrações de sais (poço artesiano) altera os atributos físicos como a densidade do solo, dispersão da argila em água e grau de floculação; a porosidade e estabilidade de agregados foram, provavelmente, modificadas pelos movimentos de contração e expansão características do solo estudado.

2.3.1.5 Espaçamento entre drenos

Em um sistema de drenagem subterrânea, um dos fatores mais importantes é o espaçamento dos drenos. Com base nos princípios de fluxo de água subterrânea, podem ser agrupadas em regimes de fluxo permanente ou estacionário e não permanente (Congope, 2018).

O espaçamento fornece a distância que deve ser dada entre dois drenos subterrâneos paralelos, para que eles sejam capazes de estabilizar ou rebaixar uma recarga, sendo estabelecidos pelo movimento da água no solo e assumem cerca de 80 a 85% do custo total do projeto (Duarte *et al.*, 2015).

Conforme Briceño *et al.* (2012), o espaçamento e profundidade dos drenos deverá considerar fatores como a profundidade da camada impermeável, a condutividade hidráulica do solo saturado, a profundidade das raízes exigida pelas culturas a serem implantadas, o tipo de irrigação, a intensidade de chuva, as condições climáticas, a qualidade da água de irrigação, a salinidade do solo e a topografia da área.

No desenvolvimento de projetos em sistemas de drenagem subterrânea de fluxo não permanente é necessário realizar testes de rebaixamento da água a uma profundidade que não comprometa a respiração das raízes, baseados em fatores de sensibilidade da cultura, o estágio de desenvolvimento da cultura e presença de barreiras (Costa *et al.*, 2008).

2.4 Indicadores econômico-sociais

No Brasil foram desenvolvidos dois modelos de produção agrícola: a “agricultura familiar” e a agricultura patronal chamado atualmente de “agronegócio” (Pedroso, 2014).

Santiago *et al.* (2017) asseveram que existe uma nova dinâmica das atividades rurais, que agora inclui uma extensa cadeia de mercados e serviços, onde obrigou ao produtor buscar novas formas de produção e adotar novas tecnologias, sendo que o Governo Federal criou o Pronaf (Programa Nacional da Agricultura Familiar), que estimula a produção agropecuária das famílias oferecendo créditos a uma baixa taxa de juros.

Em pequenas produções rurais é evidente que os produtores encontrem dificuldades em descrever os custos com mão de obra, manutenções dos seus equipamentos, custos de adubos, custos de defensivos para doenças ou pragas e quantidade de produção, que são parte dos valores agregados das atividades produtivas e financeiras, sendo muito importante para observar a eficiência produtiva por hectare.

Para fazer estudos de viabilidade de projetos com agronegócios devem ser aplicados indicadores como: prazo de retorno do investimento (Payback); valor presente líquido (VPL); taxa interna de retorno (TIR); TIRM (taxa interna de retorno modificada); taxa mínima de atratividade (TMA); valor anual uniforme equivalente (VAUE); índice de lucratividade (IL); retorno sobre investimento (ROI); valor anualizado equivalente (VAE); índice benefício-custo (IBC); e índices de rentabilidade (Bergmann *et al.*, 2023).

De acordo com Silva (2016), para fazer uma análise e diagnóstico de sistemas agrícolas em uma propriedade pequena, deve ser identificado o valor bruto da produção (VBP), o consumo intermediário (CI), a amortização do capital fixo (D) e a distribuição do valor agregado (DVA).

Pinho, Vasconsellos e Toneto (2017) afirmam que os custos de produção podem ser divididos em dois tipos: os custos variáveis totais (CVT), que representam a parcela dos custos totais dependentes do volume de produção ou vendas (incluindo insumos, implementos, transporte e mão de obra temporária), e os custos fixos totais (CFT), que correspondem às parcelas dos custos totais independentes da produção (como aquisição da terra, maquinaria e equipamentos), sendo que estes últimos sofrem depreciação ao longo do tempo.

Segundo Terrones e Sánchez (2011), devem ser gerados os custos de investimento inicial como fertilizantes, plantio, mão de obra permanente, comercialização, colheita, pós-colheita, defensivos/fungicidas, luz e irrigação que constituem o custo total, enquanto as

receitas geradas são da produção; a fim de obter a rentabilidade econômica, calculada pela relação Benefício/Custo (B/C) de cada projeto.

Ao analisar o desempenho dos sistemas de produção, destaca-se a importância da renda agrícola gerada pela produção, conforme destacado por Bento *et al.* (2017). Nessa perspectiva, para avaliar o desempenho econômico nas condições produtivas, é fundamental estabelecer uma relação entre a renda agrícola por trabalhador (RA/UTf) e a superfície de área útil disponível por trabalhador familiar (SAU/UTf).

Conforme Andrade e Schreiner (2022), os indicadores agroeconômicos quantitativos, para uma avaliação da Unidade de Produção Agrícola (UPA), são os seguintes:

- a) ST (Superfície Total): corresponde ao somatório das áreas utilizadas na produção e as impróprias para o uso agrícola do estabelecimento rural;
- b) SAU (Superfície Agrícola Útil): é a área efetivamente empregada para produção agrícola, ou seja, corresponde à ST menos a área imprópria para o uso agrícola;
- c) UTF (Unidade de Trabalho familiar): é a totalidade de mão de obra familiar disponibilizada no estabelecimento rural;
- d) SAU/UTF: mede a intensidade do emprego da mão de obra familiar no estabelecimento rural. Quanto maior for o seu valor menor será a intensidade do trabalho nesta unidade de produção;
- e) VA/SAU: mede a capacidade que o sistema de produção possui de gerar valor novo por hectare, ou seja, mede a produtividade da terra;
- f) VA/UTF: mede a capacidade que o estabelecimento possui de gerar valor pelo incremento da mão de obra familiar despendida, isto é, a produtividade do trabalho familiar obtida no estabelecimento rural.

Araújo *et al.* (2022) afirmam a importância do uso de esgoto tratado na irrigação suplementar do algodoeiro sob cenários de escassez de água em regiões semiáridas tropicais. Os tratamentos consistiram em três cenários hídricos (normal, seca e seca severa), e dois tratamentos de irrigação suplementar, com ou sem adubação NPK. Foi possível demonstrar maior crescimento, rendimento e maior rentabilidade na produção com o uso de só o esgoto tratado, sendo assim o baixo custo fixo e maior renda para o produtor já que não utilizou fertilizantes químicos. O algodão nos três cenários (normal, seca e seca severa) aumento em aproximadamente 29%, 255% e 251% respectivamente.

Em um estudo comparativo realizado por Gomes *et al.* (2021) avaliaram duas atividades socioeconômicas — produção orgânica e convencional — foi demonstrado que

ambos os sistemas demandam pelo menos 1,0 hectare para cobrir os custos fixos de produção. No sistema orgânico, observou-se um maior investimento, resultando em maior renda devido à sustentabilidade da produção e à conservação do solo, o que se reflete diretamente no aumento da produção agrícola. Já na agricultura convencional, foram utilizados agentes químicos como fertilizantes, fungicidas e herbicidas para culturas específicas, o que pode levar à degradação do solo e a um rendimento instável na área de produção.

A avaliação da produtividade e rentabilidade do milho (*Zea Mays L.*) em diferentes cenários hídricos e intensidades de seca na região semiárida brasileira (chuvoso, normal, seca, seca severa), conduzida por Cavalcante *et al.* (2020), afirmam que a irrigação suplementar com água salobra aumenta a produtividade na época de sequeiro. Devido às baixas taxas de descarga de fontes de água salobra, essa prática pode ser mais aplicável para a agricultura familiar. Além disso, os dados sobre o valor agregado acrescentam e demonstram a vantagem econômica da agricultura bioessalina.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área da pesquisa

A pesquisa foi realizada numa área de agricultor familiar de 0,4 ha cultivada com coqueiro anão verde (*Cocus nucifera L.*) com 15 anos de estabelecida, localizada no município de Pentecoste, (3°50'07" S; 39°21'11" W, 49m) Estado do Ceará (Figura 1).

Figura 2 – Mapa de localização da área, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Google Earth (2023).

Na área de estudo, Sousa (2012) observou que o lençol freático estava extremamente próximo à superfície do solo, com uma profundidade média de 0,17m. O solo salino-sódico com textura franco argilosa e classificado como Neossolo flúvico, retardou o desenvolvimento e a produção do coco anão verde.

O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo BSw'h', quente e semiárido com chuvas irregulares distribuídas de fevereiro a maio, com precipitação pluvial média anual de 801 mm, evaporação de 1475 mm; temperatura média anual em torno de 27,1 °C e umidade relativa média do ar de 73,7% (Araujo *et al.*, 2011).

Como estratégia para resolver o problema de drenagem, Sousa (2012) implantou dez drenos subterrâneos situados a uma profundidade média de 1,1 m e uma declividade de

0,3%. Os drenos laterais desaguam em um coletor de 135 m de comprimento e declividade de 0,15%. Adicionalmente, durante aquele período foram aplicados diferentes tratamentos com gesso e matéria orgânica, especificamente: 20 Mg ha⁻¹ de gesso; 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica; 10 Mg ha⁻¹ de gesso associado com 20 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica e 20 Mg ha⁻¹ de gesso associado com 40 Mg ha⁻¹ de matéria orgânica.

Após a implantação do sistema de drenagem subterrânea, observou-se um rebaixamento médio entre 0,3 e 0,5 m no lençol freático. O sistema também teve um impacto favorável na Ko, que inicialmente era lenta, situando-se entre 0,03 e 0,12 m dia⁻¹, de acordo com Millar (1988). No entanto, após um ano, a Ko foi classificada como moderadamente lenta (0,12 a 0,5 m dia⁻¹), com um valor médio de 0,29 m dia⁻¹. Como evidência adicional do efeito benéfico do sistema de drenagem subterrânea instalado, pôde-se notar uma mudança de cor nos coqueiros, de amarelo para um verde intenso, além do início da produção.

3.2 Avaliação de desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea

O desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea consistiu na análise das seguintes variáveis: rede de fluxo do lençol freático, perfis do lençol freático entre linhas de drenos e análise comparativa entre espaçamento real de campo e espaçamento estimado por equações de drenagem em regime de fluxo não-permanente.

3.2.1 Rede de fluxo do lençol freático

O estudo do comportamento do lençol freático teve a finalidade de investigar as condições de direcionamento do fluxo subterrâneo, sendo realizado por meio da planta de suas curvas de nível, conforme preconiza Cruciani e Godoy (1980). Conforme os autores, metodologias que caracterizam o comportamento do lençol freático apresentam eficiência em estudos para áreas com problemas de drenagem.

A planta foi elaborada por meio da interpolação das cotas do lençol freático em cada poço de observação com o aplicativo Surfer. As cotas do lençol freático foram calculadas a partir de medidas de profundidade do lençol freático e das cotas na superfície do terreno junto aos poços de observação obtidas por meio de nivelamento geométrico

3.2.2 Perfis do lençol freático entre linhas de drenos

As oscilações do lençol freático foram verificadas durante o período chuvoso e registradas a partir do mês de fevereiro até maio de 2023, sendo que os dados foram coletados junto aos poços de observação, estrategicamente implantados na área do experimento, servindo dessa forma para avaliar o sistema de drenagem subterrânea com relação ao critério agrônômico recomendado para a cultura do coqueiro.

Os perfis foram plotados após as recargas e com o lençol freático em depleção, após cessada a recarga.

3.2.3 Chuva crítica ou de projeto

O critério para estimativa de chuva crítica ou de projeto para suporte ao dimensionamento do sistema de drenagem subterrânea foi baseado na análise de frequência de uma série histórica desde o ano 1974 até 2022, obtida junto à Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme).

No procedimento de cálculo, os dados pluviométricos foram classificados em ordem crescente com intervalo de classe igual a 5,0 mm, atribuindo-se a cada intervalo o seu respectivo número de ordem. Pizarro (1985) considera como chuva crítica, a chuva de um dia igualada ou superada cinco vezes ao ano. Conforme o autor, o dimensionamento baseado na maior ocorrência de precipitação, tornaria o projeto antieconômico.

3.2.4 Espaçamento entre drenos laterais

O critério agrônômico no delineamento do sistema de drenagem visa proporcionar condições para aumentar a profundidade efetiva do sistema radicular, com o intuito de aprimorar as características físicas e químicas do solo, o que resulta em melhor aeração, maior atividade microbiana, melhor fixação de nitrogênio e fósforo. Além disso, procura controlar o nível de salinidade por meio da lixiviação dos sais presentes na camada do solo.

Em solos coesos e de baixa fertilidade, as raízes do coqueiro anão concentram-se a uma profundidade de 0,40 m, conforme a Cintra, Resende e Leal (2008). Analogamente, Santos *et al.* (2003) confirmam que um coqueiro anão adulto apresenta 77,36% de suas raízes situadas entre 0,20 e 0,60 m.

Benassi, De Santana e Fanton (2014) ressaltam que, no contexto da irrigação, a fim de prevenir alagamentos, é recomendável realizar o processo a cada dois dias em solos com predominância argilosa. De acordo com Azevedo *et al.* (2005) asseveram que, para não interferir no crescimento e na produção do coqueiro anão, deve-se realizar irrigação com turnos de rega a cada dois a três dias.

Nesse contexto, a fim de evitar interferências na produção do coqueiro anão, é necessário realizar o rebaixamento do lençol freático até 0,60 m em um período de dois dias

O critério de drenagem para o período chuvoso, estabelece que em consequência das precipitações, o lençol freático se eleva até atingir uma profundidade p em relação à superfície do solo, com uma frequência de N vezes por ano. No presente estudo foi utilizado critério de drenagem para o período chuvoso.

O espaçamento entre drenos laterais foi calculado por equações em condições de regime de fluxo não-permanente. Justifica-se o emprego de tais equações pela natureza do regime pluviométrico no Brasil ser caracterizado por chuvas de elevada intensidade. Foram utilizadas as equações de Glover-Dumm (1954) (curvatura inicial do lençol freático em forma parabólica) e Schilfgaard (1974) (curvatura inicial do lençol freático em forma elíptica) (Duarte, et al. 2023), por serem adequadas para regime variável, próprias para regiões com chuvas de grande intensidade, conforme as seguintes equações:

Equação de Glover-Dumm

$$S^2 = \frac{\pi^2 * K_o * d * t}{f * Ln\left(1,16 * \frac{h_o}{ht}\right)} \quad (1)$$

em que:

S_o : espaçamento entre drenos; m.

K_o : condutividade hidráulica do solo saturado; $m \text{ dia}^{-1}$

d : distância entre o fundo dos drenos e a barreira impermeável; m.

t : tempo necessário para o rebaixamento do lençol freático; dias.

f : porosidade drenável do solo; decimal.

h_o : altura do lençol freático sobre a linha do dreno, após de recarga.

ht : altura do lençol freático acima da linha do fundo dos drenos, após t dias de rebaixamento; m.

Equação Schilfgaard

$$S^2 = \frac{9 * K_o * d * t}{f * Ln\left[\frac{h_o * (2 * d + ht)}{ht * (2 * d + h_o)}\right]} \quad (2)$$

em que:

S_0 : espaçamento entre drenos; m.

K_0 : condutividade hidráulica do solo saturado; $m \text{ dia}^{-1}$

d : distância entre o fundo dos drenos e a barreira impermeável; m.

t : tempo necessário para o rebaixamento do lençol freático; dias.

f : porosidade drenável do solo; decimal.

h_0 : altura do lençol freático sobre a linha do dreno, após de recarga.

h_t : altura do lençol freático acima da linha do fundo dos drenos, após t dias de rebaixamento, m.

Como as equações de Glover-Dumm e Schilfgaarde utilizam a distância entre o fundo dos drenos e a barreira impermeável, os espaçamentos foram ajustados em relação ao fluxo radial pelo método de Van Beers (1965), conforme expresso na equação 3:

$$C = d * Ln * \left(\frac{d}{p}\right) \quad (3)$$

em que:

C : Correção em razão do fluxo radial;

d : distância entre o fundo dos drenos e a barreira impermeável; m.

p : perímetro do tubo (adotando 50% do perímetro total do tubo); m.

Os espaçamentos calculados em base às equações foram comparados com o espaçamento de campo, calculando-se os respectivos desvios percentuais ou erro relativo, conforme a equação 4:

$$E_r = \frac{S_e - S}{S} \quad (4)$$

em que:

E_r - erro relativo, adimensional;

S_e - espaçamento estimado pela equação, L;

S - Espaçamento real de campo, L.

O sistema de drenagem subterrânea instalado na área é composto por dez linhas de drenos laterais, num espaçamento entre drenos de 8,0 m, profundidade média de 1,10 m e declividade de $0,003 \text{ m m}^{-1}$. As limitações na cota de saída no desaguadouro não permitiram um maior aprofundamento dos drenos laterais.

3.3 Capacidade de transmissão de água no solo

O estudo da água subterrânea realizado por meio da estimativa e avaliação de atributos físicos do solo, constitui o aspecto principal para definição dos problemas de drenagem (FAO, 1998). Dentre os principais parâmetros hidrodinâmicos do solo, destaca-se a condutividade hidráulica do solo saturado (K_o), que representa a capacidade do solo de transmitir água (Duarte, et al., 2023).

O cálculo de K_o foi efetuado por meio do método de campo denominado “furo de trado” ou “auger-hole”, em presença do lençol freático e pela metodologia do permeâmetro de carga constante, para fins de caracterização da resistência hidráulica, conforme sugere a Food and Agriculture Organization - FAO (1980).

O método do furo de trado consiste em abrir um orifício no solo com um trado até ultrapassar a profundidade do lençol freático. Após algum tempo o orifício se enche de água até o equilíbrio com o nível do lençol. Após esse equilíbrio esvazia-se parcialmente o orifício, o que faz com que a água volte a ele tendendo novamente à situação anterior. Assim, cronometra-se o tempo de elevação do nível de água no orifício e o cálculo de K_o é realizado por meio de equação que correlaciona a velocidade de ascensão da água às condições do meio e a geometria do orifício.

No cálculo de K_o foi utilizada a condição em que o fundo do poço ultrapassa o nível freático, mas não atinge a camada impermeável. Nessa situação, a geometria ideal deve ser tal que a distância entre o fundo do poço e a camada impermeável seja maior que a metade da distância entre o nível freático e o fundo do poço (Libardi, 2015), conforme equação 5:

$$K_o = \frac{4000}{\left(\frac{H}{r} + 20\right) \left(2 - \frac{Y}{H}\right)} \cdot \frac{r \cdot \Delta Y}{Y \cdot \Delta t} \quad (5)$$

em que:

K_o : condutividade hidráulica do solo saturado, $L.T^{-1}$;

H: profundidade do poço, abaixo do nível freático, L;

Y: distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo Δt ,

L;

r: raio do poço, L;

ΔY : intervalo de altura no tempo Δt , L;

Δt : intervalo de tempo entre duas leituras, T.

As profundidades para obtenção dos valores de K_o pelo método do permeâmetro de carga constante foram definidas após análise detalhada do perfil do solo (Libardi, 2015), e K_o foi calculado de acordo com a equação 6:

$$K_o = \frac{V_A \cdot L}{A \cdot t (h + L)} \quad (6)$$

em que:

V_A : volume de água percolada durante o tempo t ;

A : área da secção transversal da amostra;

L : comprimento da amostra;

h : potencial de pressão (carga hidráulica) no topo da amostra.

Em conformidade com a FAO (1980), toda camada do perfil do solo cuja condutividade hidráulica é menor que na camada adjacente, constitui um impedimento para esta e para o fluxo vertical. Entretanto, o conceito de camada impermeável (barreira) está associado ao conceito de resistência hidráulica (R.H.), dada pela relação entre a espessura da camada e a condutividade hidráulica. Dessa forma, só constitui uma barreira impermeável a camada que tiver uma R.H. maior ou igual a 250 dias e não há barreira alguma quando a R.H. for menor ou igual a 50 dias, constituindo-se em impedimento crescente valores entre 50 e 250 dias (Cruciani, 1988). Já a ABNT (1998) considera como camada impermeável ou barreira, a camada de solo cuja condutividade hidráulica vertical saturada é igual ou inferior a 1/10 da média ponderada da condutividade hidráulica saturada das camadas superiores.

As amostras de solo para fins de testes de K_o realizadas em laboratório pelo permeâmetro de carga constante (Figura 2) foram coletadas nas extremidades da área de pesquisa (linha A e linha I dos drenos laterais), nas camadas de 0 – 0,30 m e 0,30 – 0,60 m, cujos pontos estavam localizados próximos aos locais dos testes de campo (linha A e linha H dos drenos laterais) realizados por meio da metodologia do furo de trado (Duarte et al., 2023).

Na pesquisa realizou-se também um teste de infiltração pelo método do infiltrômetro de anel duplo no centro da área de pesquisa. Posteriormente, obteve-se a curva de infiltração e o cálculo da velocidade de infiltração básica (VIB), num tempo de 180 minutos, conforme equação 7:

$$q = \frac{\partial Z}{\partial T} \quad (7)$$

em que:

q : velocidade de infiltração, mm h^{-1}

∂Z : variação da lâmina acumulada, mm ;

∂T : variação do tempo acumulado, min .

Figura 2 – Amostras de solo não deformadas para teste de K_o - Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará.

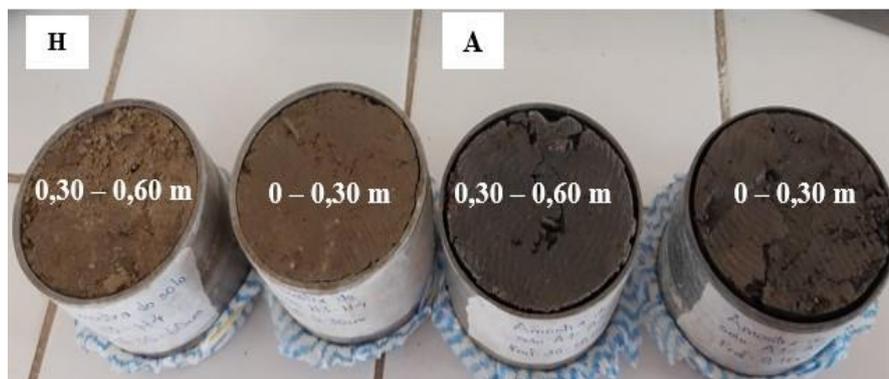


Foto: Quispe, C. M. (2023).

Figura 3 – Distribuição de drenos laterais, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Google Earth (2024).

3.4 Atributos químicos da água

Sendo a água um elemento muito importante para tornar produtivas as zonas áridas e semiáridas, o agricultor irrigante utilizar a tecnologia da irrigação para o aumento da produtividade dos cultivos. Na avaliação da qualidade da água realizaram-se coletas de água junto aos poços de observação instalados na área, nos drenos laterais e de um poço raso, o qual constitui a fonte hídrica disponível para irrigação.

As amostras de água foram coletadas em setembro de 2023, sendo em seguida levadas ao Laboratório de Análise de Águas do Departamento de Ciências do Solo/UFC para a realização de análises químicas, nos seguintes atributos: pH, condutividade elétrica (CE), relação de adsorção de sódio (RAS) e o teor de sais (Mg^{*2} , Na^+ , Ca^{+2} e K^+).

3.5 Atributos físicos do solo

Os atributos físicos do solo são de suma importância, pois estabelecem relações fundamentais com os processos hidrológicos, tais como velocidade de infiltração, escoamento superficial, drenagem e erosão. Além disso, desempenham uma função essencial no suprimento e armazenamento de água, nutrientes e oxigênio no solo.

Os atributos físicos do solo são classificados em intermediários e permanentes. Os intermediários são suscetíveis a alterações devido ao tipo de manejo do solo e incluem densidade, resistência à penetração, permeabilidade, aeração, agregação, porosidade e umidade. Já os atributos físicos permanentes abrangem textura, mineralogia, densidade de partículas e cor, conforme Stefanoski, *et al.*, (2013). Geralmente, os atributos físicos intermediários são os mais utilizados como indicadores, pois estão diretamente relacionados aos sistemas de manejo e exercem influência direta na produtividade das culturas.

3.5.1 Análise física do solo em laboratório

Para a análise física do solo foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 0,30 m e 0,30 a 0,60 m em setembro de 2023, em seguida levadas ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Ciências do Solo/UFC a fim de obter a proporção granulométrica e classificação textural.

3.5.2 Análise da resistência à penetração do solo

Para as medidas de resistência à penetração do solo (RP), foi utilizado o penetrômetro de impacto modelo Stolf et al. (1983), com as seguintes características: peso de 1,64 kg com impacto em curso de queda livre de 0,36 m; área de base do cone de 2,27 cm² e massa dos demais componentes de 1,53 kg.

A penetração por impacto foi lida na haste graduada do penetrômetro e os resultados foram fornecidos em impactos dm⁻¹ (número de impactos necessários para perfurar um decímetro de solo).

As resistências das penetrações do solo foram determinadas no dia 10 de abril de 2024, na área de pesquisa num total de três pontos ensaiados e uma profundidade máxima de 0,41 m.

3.6 Atributos químicos do solo

As amostras de solo foram coletadas nas camadas de 0 a 0,30 m e 0,30 a 0,60 m para fins de obtenção dos valores de condutividade elétrica no extrato 1:2 (CE 1:2) e percentagem do sódio trocável (PST).

A coleta das amostras de solo ocorreu em setembro de 2023, sendo as mesmas levadas ao Laboratório de Análise de Solos e Plantas do Departamento de Ciências do Solo/UFC para a realização de análises químicas.

3.7 Análise da sustentabilidade econômico-social

Dentre os principais cultivos estabelecidos no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste destaca-se o coqueiro anão, atualmente sob irrigação localizada por microaspersão com água subterrânea oriunda do aquífero aluvial e captada em poços rasos.

Na execução da análise econômica utilizaram-se os indicadores valor agregado e renda do agricultor com dados de produção referentes ao ano agrícola de 2023, bem como os custos fixos e variáveis, além dos cenários com e sem financiamento.

3.7.1 Valor agregado

Foi analisado o indicador de sustentabilidade social denominado valor agregado, além do indicador de sustentabilidade econômica denominado renda do agricultor, que avalia a viabilidade econômica do sistema de produção, conforme metodologia descrita por Silva Neto (2005).

O valor agregado foi obtido pela equação 8:

$$VA = VBP - (CF + CV + D) \quad (8)$$

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), em R\$, foi obtido pela produção total na respectiva unidade de produção associada à área estabelecida pela cultura (ha) e pelo preço de venda do produto (R\$ unidade⁻¹).

Os custos fixos (CF) foram compostos pelos valores anuais das amortizações dos investimentos relativos ao poço tubular, tubulações, sistema de bombeamento, sistema de drenagem subterrâneo e sistema de irrigação. O valor anual da amortização teve como base o enquadramento na linha de financiamento do Pronaf Mais Alimento.

Os custos variáveis (CV) foram constituídos pelos custos associados aos diversos itens que compõem o sistema de produção da cultura do coqueiro.

Para depreciação dos equipamentos foi utilizado o método linear, considerando a sua vida útil e valor residual igual a zero, para os itens financiados, conforme equação 9:

$$Dm = \frac{Vo - VR}{VU} \quad (9)$$

em que:

Dm: depreciação média, R\$;

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

VR: valor residual, R\$;

VU: vida útil do equipamento, anos.

O valor agregado foi calculado inicialmente para um hectare de produção e para os demais hectares foi utilizada uma relação linear ($Y = aX + b$), sendo o eixo das ordenadas o

valor agregado e o das abcissas representado pela superfície agrícola, levando em consideração que o valor agregado e a superfície agrícola possuem 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 teve como base 1,0 ha, esta relação foi expandida de forma linear, como forma de se obter um gráfico que relacione valor agregado/unidade de trabalho familiar (VA/UTf) versus superfície agrícola/unidade de trabalho familiar (SAU/UTf). A geração deste gráfico permitiu identificar a contribuição social (valor agregado) do sistema de produção e tipo de agricultor, considerando-se as necessidades de área e de capital fixo para a sua implantação, conforme Silva Neto (2005).

3.7.2 Renda do agricultor

A partir do valor agregado para cada sistema foi calculada a remuneração dos diferentes agentes que participaram direta ou indiretamente da produção, incluindo a renda dos agricultores, conforme equação 10:

$$RA = VA - J - S - I \quad (10)$$

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.

A partir do cálculo do valor agregado (VA) e da renda do agricultor (RA) proporcionados pelo sistema de produção foram elaborados modelos lineares para descrever os resultados econômicos (valor agregado ou renda) dos sistemas de produção em relação à superfície agrícola útil por unidade de trabalho (SAU/UT). Tais modelos lineares foram correlacionados a um nível de reprodução social, que representa o nível de renda mínima anual que o agricultor deve ter para que ele possa se estabelecer socialmente perante as condições econômicas da região, nesse caso, foi considerada a renda mensal de um salário mínimo do ano em vigência. Posteriormente, partindo-se do mesmo princípio linear, foi elaborado um nível de

reprodução social considerando um núcleo familiar que depende diretamente da renda do produtor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação de desempenho hidráulico do sistema de drenagem subterrânea

4.1.1 Rede de fluxo do lençol freático e mapas de isóbatas

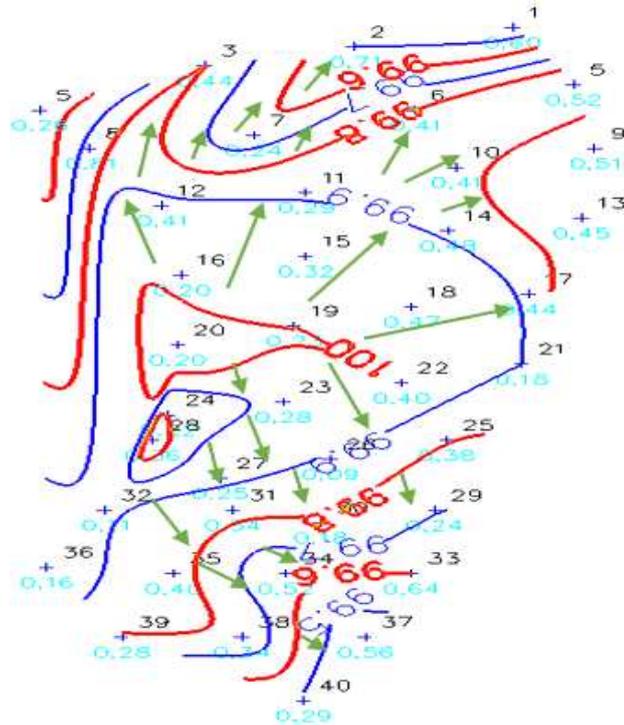
Na Figura 4 se visualiza a rede de fluxo do lençol freático (isohypsas), cujas equipotenciais são crescentes para o centro da área, região que se caracteriza como um divisor de águas subterrâneas, determinando, portanto, uma predominância de linhas de fluxo desta região no sentido das duas laterais com gradientes hidráulicos médios da ordem de 1,5%.

Para Silva (2023), o rebaixamento do lençol freático visa permitir o deslocamento das águas subterrâneas. A eficácia depende notavelmente da relação entre solo e água, destacando a importância de um estudo do perfil geológico.

Nesse contexto, as linhas da rede de fluxo apontam para a região mais baixa da área. Observa-se também que há uma maior quantidade de recarga hídrica, ou "seepage", localizada no centro da área (área de recarga). Isso indica que o potencial hídrico máximo está concentrado nessa região, enquanto as áreas com menor potencial hídrico encontram-se nas laterais (áreas de descarga).

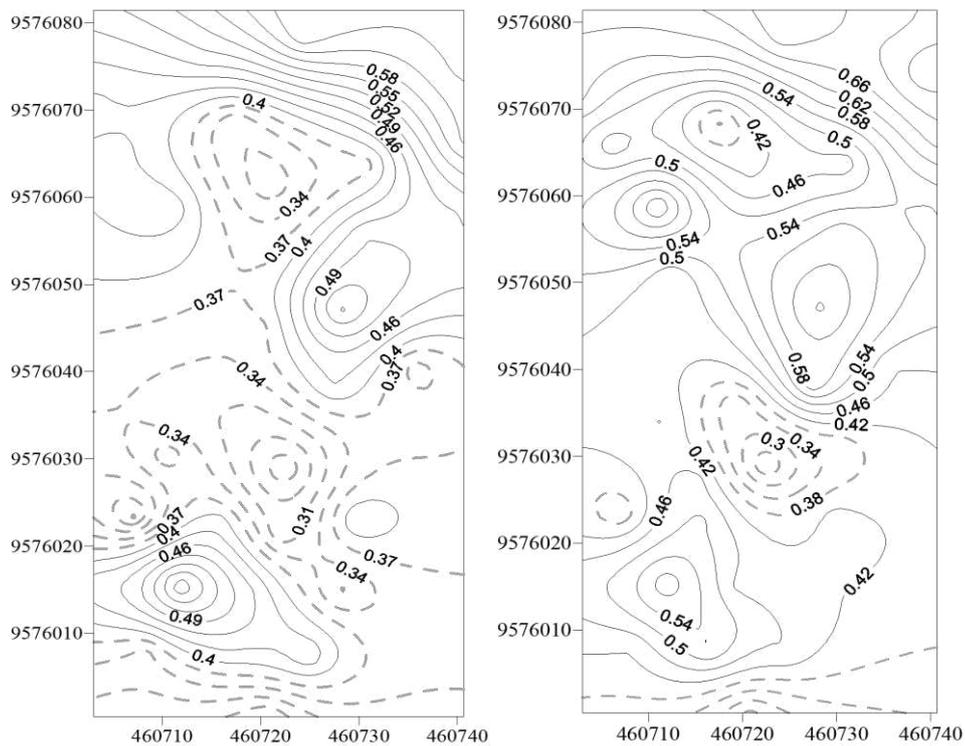
Nas Figura 5 e 6 visualizam-se mapas de isóbatas obtidos durante o período chuvoso do ano de 2023, nos quais se observam profundidades do lençol freático mais superficiais na região central da área.

Figura 4 – Rede de fluxo do lençol freático ou isohypsas, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



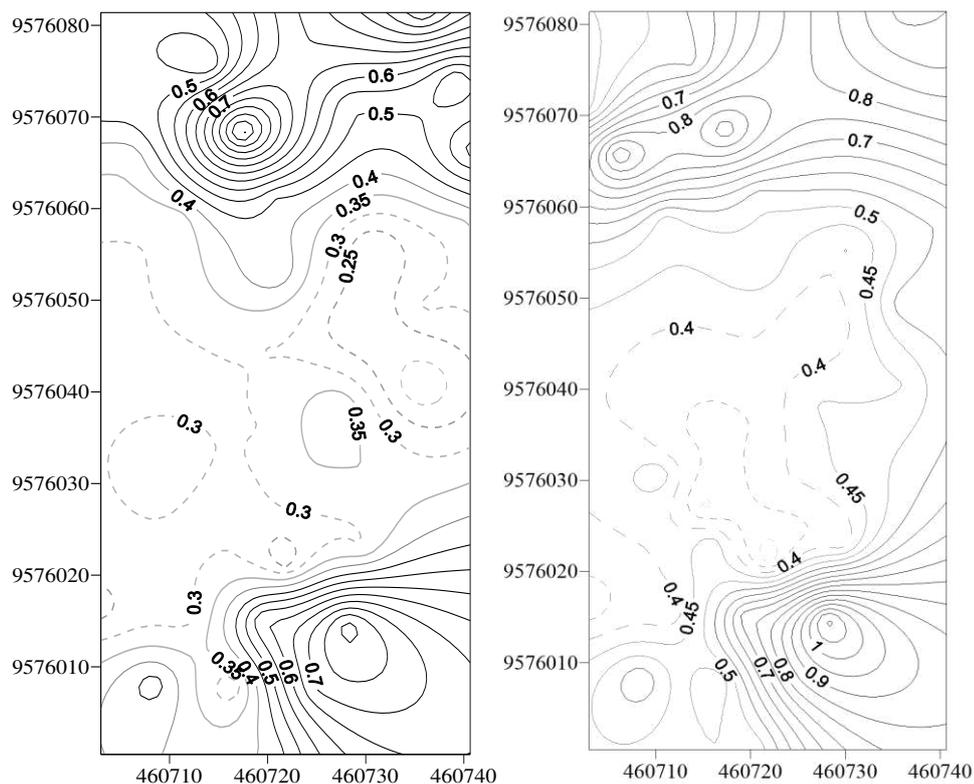
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 5 – Mapa de isóbatas: 18 e 19 de março de 2023, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora

Figura 6 – Mapa de isóbatas: 28 e 29 de abril de 2023, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora

4.1.2 Perfis de drenagem

Levando em conta o critério agrônomo do volume das raízes e a profundidade efetiva para a drenagem do solo, a fim de evitar hipoxia na cultura do coqueiro anão, pode-se observar na Figura 7 o rebaixamento do lençol freático na área no período de 27 a 30 de abril. Uma precipitação de 38 mm ocorreu na área no dia 26/04, dia anterior ao início das leituras que permitiram a obtenção dos perfis de drenagem. É notável que o poço de observação foi estrategicamente instalado próximo à linha do dreno lateral N° 6, onde se observa um maior rebaixamento.

Um aspecto fundamental para o gerenciamento da irrigação e fertilização de culturas é a concentração de um volume significativo de raízes. Segundo Santos et al. (2003), um coqueiro anão adulto apresenta 77,36% de suas raízes situadas entre 0,20 e 0,60 m de profundidade. Além disso, as raízes mais longas e de maior área estão localizadas na camada de 0,20 a 0,40 m de profundidade.

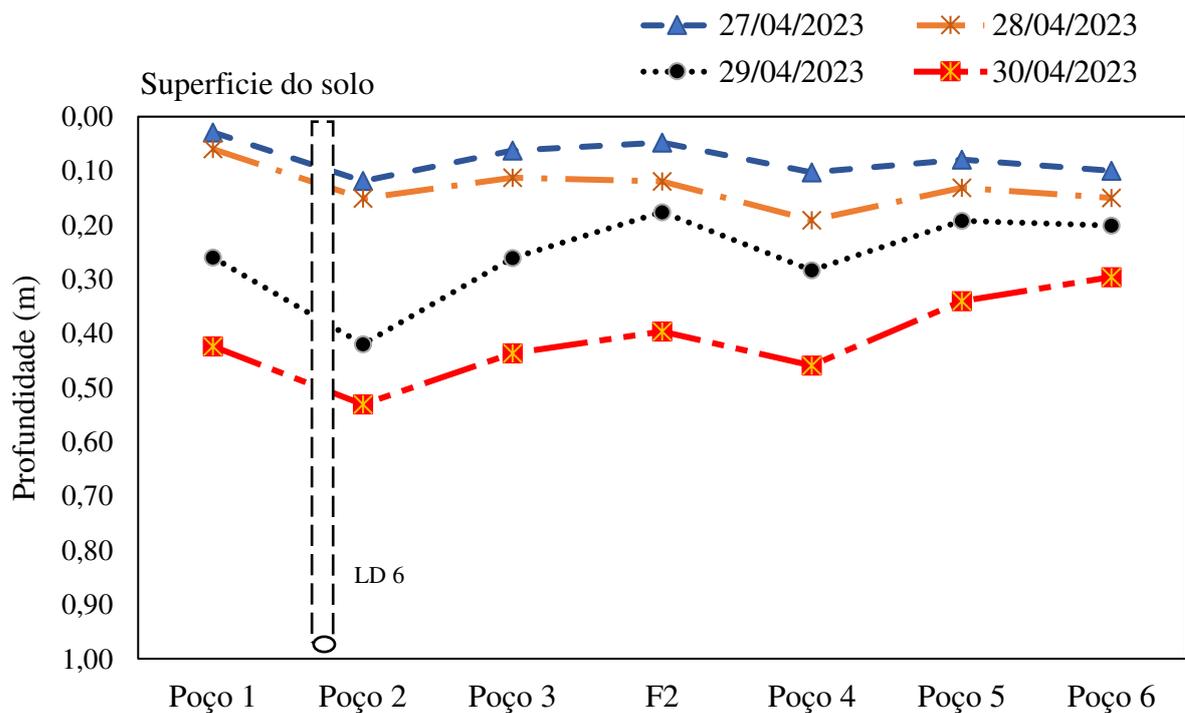
A densidade e o desenvolvimento das raízes do coqueiro anão podem ser influenciados por solos coesos que apresentam impedimentos mecânicos, reduzindo a taxa de

crescimento radicular. De acordo com Cintra, Resende e Leal (2008), os volumes de água exercem um efeito direto na expansão e profundidade das raízes. Ao avaliar os sistemas de irrigação localizada, os pesquisadores verificaram que o sistema de gotejamento é mais eficaz para o coqueiro anão, alcançando uma profundidade efetiva de 0,60 m. Além disso, constataram que um volume de água entre 100 a 150 litros proporcionam melhores condições para o desenvolvimento lateral e em profundidade das raízes do coqueiro anão verde.

A ilustração contida na Figura 7 permite constatar na área de pesquisa a existência de locais onde houve uma maior retenção de água, decorrente da precipitação no dia 26 de abril. As possíveis causas podem ser uma maior presença de argila na área, a utilização de maquinário agrícola causando compactação do solo, ou ainda a presença de uma alta concentração de sódio no complexo sortivo.

A retenção de água no solo é em grande parte devida ao processo que acontece no meio poroso do solo, conhecido como capilaridade. Nyle e Ray (2013) afirmam que a adsorção de água pelo solo é resultado das forças de atração exercidas nas partículas do solo, um fenômeno chamado adesão, e das forças de atração entre as moléculas de água, conhecido como coesão.

Figura 7 – Depleção do lençol freático em quatro dias, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.3 Capacidade de transmissão de água no solo

Para identificar os problemas de transmissão de água no solo na área da pesquisa coletaram-se amostras de solo nas profundidades de 0 – 0,30 m e 0,30 – 0,60 m junto às linhas de drenos laterais A e H para fins de testes de condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório.

Uma forma de explicar a considerável diferença no movimento da água no solo é levar em conta o que Sousa (2012) destacou: a profundidade de instalação das linhas laterais dos drenos foi estabelecida com base na limitação de cota de saída do dreno principal. Além disso, fatores como a quantidade de argila no solo, a salinidade do solo, e a porosidade também poderiam exercer influência.

4.1.3.1 Determinação da condutividade hidráulica do solo saturado em laboratório

A condutividade hidráulica do solo saturado (K_o) em laboratório foi determinada pelo método do permeâmetro de carga constante em amostras de solo não deformadas, nas quais foi possível se verificar a contração em condições de secamento, e quando postas a saturar, a ocorrência de expansão.

O resultado da condutividade hidráulica na amostra da linha de drenagem (A) na camada superficial do solo (0 – 0,30m) foi de $0,22 \text{ m dia}^{-1}$, ao passo que no solo da camada 0,30 – 0,60m não foi possível saturar a amostra de solo para a realização do teste. Na linha de drenagem (H) os resultados de K_o foram de $0,04 \text{ m dia}^{-1}$ e $0,16 \text{ m dia}^{-1}$, respectivamente para as camadas 0 – 0,30m e 0,30 – 0,60m. Em base a estes resultados verifica-se que a resistência hidráulica varia entre 7,5 e 1,9 dias para as respectivas camadas, caracterizando, portanto, a não ocorrência de impedimentos físicos nas camadas de solo analisadas.

No que se refere à condutividade hidráulica do solo saturado pelo método de campo, conhecido como furo do trado ou “auger hole”, realizaram-se dois testes próximos aos locais onde foram coletadas amostras de solo para determinação de K_o em laboratório, e obtiveram-se os valores de $0,19 \text{ m dia}^{-1}$ e $0,22 \text{ m dia}^{-1}$.

Sousa (2012) obteve valor de condutividade hidráulica do solo saturado correspondente a $0,06 \text{ m dia}^{-1}$ na camada de 0 – 0,30m. Estas diferenças, embora significativas, são inerentes a solos neossolos flúvicos, que têm como características uma elevada variabilidade espacial.

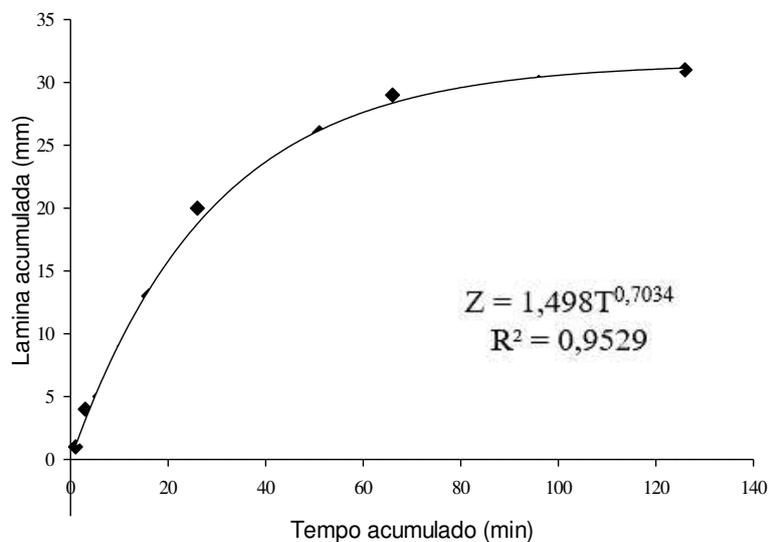
Nos solos aluviais localizados no Nordeste do Brasil, o valor de K_0 no perfil do solo pode apresentar variações significativas. Segundo Barreto *et al.* (2001), solos de areia muito fina possuem condutividade hidráulica entre 0,20 e 0,50 m dia⁻¹. Em solos aluviais, essa condutividade varia de 0,12 a 49 m dia⁻¹.

4.1.3.2 Teste de infiltração com cilindro infiltrômetro

A Figura 8 ilustra o comportamento da infiltração acumulada com o tempo, onde se observa que decorridos 60 minutos o incremento da lâmina de água infiltrada com o tempo é praticamente nulo. Verifica-se ainda que a lâmina acumulada de água infiltrada durante a realização do teste (126 minutos) foi de apenas 31 mm. Este tipo de teste pode ser influenciado por fatores tais como a textura do solo, a umidade no início do teste e a presença de sais.

Para prevenir extensas áreas de alagamento, é crucial a realização de testes com infiltrômetros, visando ajustar a drenagem do solo. De acordo com Ottoni (2007), essa prática é benéfica, uma vez que a mesma aplicação hídrica dos testes de infiltração no anel auxilia na identificação da capacidade de campo. O teste é realizado *in situ* para determinar com base nos dados de umidade do solo, a drenagem sob o anel interno de um infiltrômetro.

Figura 3 – Teste de infiltração na parte central da área, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

A curva de infiltração acumulada estabilizou-se após duas horas de teste. Para uma análise mais detalhada, obteve-se a curva de velocidade de infiltração (Figura 9) por derivação da equação de infiltração acumulada com o tempo.

$$q = 63,2 * T^{-0,297}$$

$$q = 63,2 * 180^{-0,297}$$

$$q = 13,52 \text{ mm h}^{-1}$$

O valor da VIB obtido no teste de infiltração pode ser considerado como solo de VIB média (Tabela 5). Este resultado pode ser explicado pela possibilidade de que o solo teria sofrido modificações em sua estrutura física devido ao uso de máquinas sobre a superfície do solo, resultando em uma camada compactada que diminui a capacidade de infiltração de água no solo.

A taxa de infiltração da água no solo é mais alta no início do processo de infiltração, particularmente, quando o solo está com déficit de umidade, mas tende a decrescer com o tempo, aproximando-se de um valor constante denominado taxa de infiltração estável (conhecida como velocidade de infiltração básica da água no solo - VIB).

O comportamento do processo pode ser compreendido a partir da aplicação da equação de Darcy-Buckingham [$q = -K_0 \frac{\delta H}{\delta Z} (\psi + Z)$] às condições de escoamento em meio não saturado. No início do processo de infiltração, o valor da profundidade da frente de umedecimento é pequeno. Desta forma, tem-se um valor de gradiente hidráulico muito elevado e, portanto, uma taxa de infiltração alta. Com o passar do tempo, o valor de Z vai aumentando até que o gradiente hidráulico $[(\Psi+Z)/Z]$ vai tendendo a 1,0 e, conseqüentemente, a taxa de infiltração tende a um valor aproximadamente igual à condutividade hidráulica do solo saturado, a qual aproxima-se da própria VIB.

O tempo de estabilização do regime assintótico da curva de infiltração acumulada tem uma correlação muito forte com o gradiente hidráulico no solo no início do processo de infiltração. Assim, para menores valores de gradientes hidráulicos espera-se a obtenção mais rápida do regime assintótico. Contudo, nota-se que a estabilização não é total em face da própria natureza da equação utilizada.

O elevado valor do gradiente hidráulico no início do processo de infiltração, decorrente do baixo teor de água no solo, explica a elevada taxa de infiltração no início do processo. Com o decorrer do tempo, a redução dos gradientes hidráulicos, também explica o comportamento assintótico da curva de velocidade de infiltração com o passar do tempo.

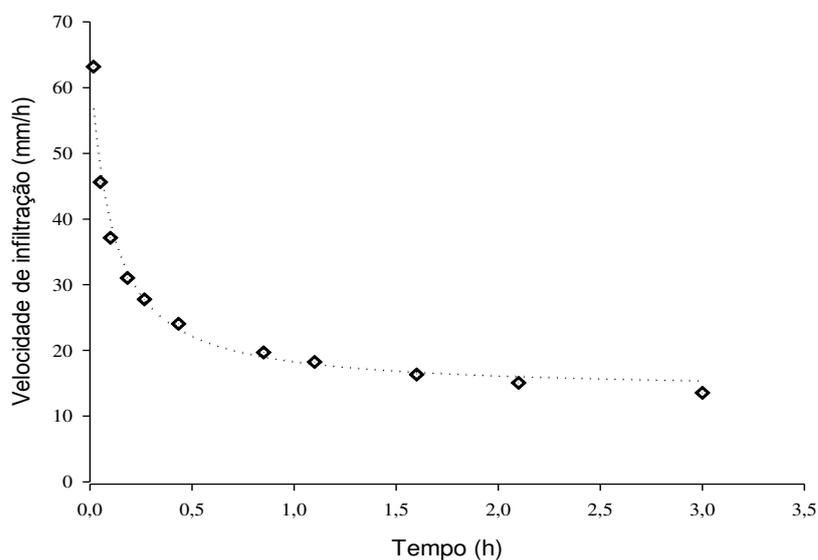
O valor da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) obtido pelo método de campo na presente pesquisa resultou num valor inferior à VIB, e, portanto, coerente, uma vez que num teste de campo com cilindro infiltrômetro somente em condições muito especiais se tem um gradiente hidráulico igual a 1,0.

Tabela 5 – Classificação do solo a partir de sua VIB em mm h^{-1} , Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará.

Solo	VIB em mm h^{-1}
Solo de VIB muito alta	$> 30 \text{ mm h}^{-1}$
Solo de VIB alta	$15 - 30 \text{ mm h}^{-1}$
Solo de VIB média	$5 - 15 \text{ mm h}^{-1}$
Solo de VIB baixa	$< 5 \text{ mm h}^{-1}$

Fonte: Fonseca; Duarte (2006) e Souza et al. (2018).

Figura 4 – Velocidade de infiltração básica VIB, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.4 Estimativa da chuva de projeto

No município de Pentecoste, a chuva de projeto para fins de dimensionamento de drenagem subterrânea em base ao critério econômico estabelecido se situa entre 30 e 35 mm (Tabela 6). De acordo com Teixeira *et al.* (2023), o regime pluviométrico de Pentecoste se

caracteriza por chuvas nos primeiros cinco meses do ano, sendo março o mês mais chuvoso. A média anual de precipitação é de 748,3 mm.

Tabela 6 – Estimativa da chuva de projeto para drenagem subterrânea, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará.

Intervalo de Classe		Ni	$F_i=N_i/\sum N_i$	$F_j=M_j/\sum N_i$	$T=1/F_j$	$N=365/T$
0		14353	0,808	1,0000	1,00	365,00
(0	5]	1466	0,083	0,1917	5,22	69,99
(5	10]	702	0,040	0,1092	9,16	39,85
(10	15]	445	0,025	0,0697	14,36	25,43
(15	20]	268	0,015	0,0446	22,42	16,28
(20	25]	156	0,009	0,0295	33,89	10,77
(25	30]	110	0,006	0,0207	48,26	7,56
(30	35]	73	0,004	0,0145	68,83	5,30
(35	40]	43	0,002	0,0104	95,99	3,80
(40	45]	41	0,002	0,0080	125,06	2,92
(45	50]	24	0,001	0,0057	175,82	2,08
(50	55]	24	0,001	0,0043	230,62	1,58
(55	60]	16	0,001	0,0030	335,06	1,09
(60	65]	11	0,001	0,0021	479,95	0,76
(65	70]	6	0,000	0,0015	683,00	0,53
(70	75]	3	0,000	0,0011	887,90	0,41
(75	80]	1	0,000	0,0010	1044,59	0,35
(80	85]	5	0,000	0,0009	1109,88	0,33
(85	90]	2	0,000	0,0006	1614,36	0,23
(90	95]	2	0,000	0,0005	1973,11	0,18
(95	100]	0	0,000	0,0004	2536,86	0,14
(100	105]	0	0,000	0,0004	2536,86	0,14
(105	110]	4	0,000	0,0004	2536,86	0,14
(110	115]	0	0,000	0,0002	5919,33	0,06
(115	120]	1	0,000	0,0002	5919,33	0,06
(120	125]	0	0,000	0,0001	8879,00	0,04
(125	130]	1	0,000	0,0001	8879,00	0,04
(130	135]	1	0,000	0,0001	17758,00	0,02

$$\sum N_i \quad 17758$$

Ni: Número de observações; Fi: Frequência das observações; Fj: Frequência com a qual a precipitação é igualada ou superada; T: Período de retorno em dias; N: Número de vezes por ano que a chuva é igualada ou superada; Mj: Soma do número de observações das precipitações de ordem igual e superiores a i; Σi : 17758 dias.

Fonte: Elaborada pela autora.

4.1.5 Espaçamento entre drenos laterais

Na Tabela 7 é possível observar que o menor erro relativo (4%) foi obtido pela equação de Glover-Dumm, cuja espaçamento entre drenos laterais calculado foi 8,3m. Considerando a variação nos dados requeridos para as equações de Glover-Dumm e Schilfgaard leva em consideração a profundidade da camada de impedimento em relação ao nível dos drenos. Segundo Sousa (2012), a área apresenta uma camada de impedimento irregular, cujo valor médio em relação ao nível dos drenos é de 3,0 m.

A determinação do espaçamento entre os drenos em um sistema de drenagem subterrânea deve levar em conta fatores econômicos, avaliação dos atributos físicos do solo, a aplicação de um critério de drenagem realista, o tipo de cultura a ser estabelecida, a qualidade da água utilizada para irrigação, as condições climáticas e uma fórmula apropriada para o cálculo do espaçamento entre drenos.

Duarte, Miranda e Cruciani (2002) analisaram a eficácia de diversas equações de espaçamento entre drenos, mas nenhuma representou corretamente a queda do lençol freático. As equações de Glover-Dumm e Schilfgaard foram as mais precisas para a condição de drenos afastados da camada impermeável, apresentando o menor erro padrão na comparação entre as posições medidas e simuladas do lençol freático.

Tabela 7 – Espaçamento entre drenos em condições de fluxo não permanente, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará.

Equação	Espaçamento entre drenos (m)	Erro relativo (%)
Glover-Dumm	8,3	4
Schilfgaard	10,3	29

Fonte: Elaborada pela autora.

4.2 Atributos químicos da água de irrigação, do lençol freático e de drenagem

A irrigação dos coqueiros é realizada por um sistema de irrigação localizada tipo microaspersão, com água proveniente de um poço raso (profundidade < 20,0m) localizado

próximo à área, sendo que o agricultor irrigante efetua a irrigação de forma empírica com tempo de irrigação de três horas e turno de rega de dois dias.

Almeida (2010) ressalta que toda água utilizada para irrigação contém uma quantidade variável de sais solúveis. A remoção desses sais depende do tipo de solo e da existência de um sistema de drenagem, que possibilita a lavagem e eliminação dos mesmos. No caso da água subterrânea, a salinidade geralmente é mais acentuada.

A Tabela 8 detalha os atributos químicos da água utilizada para irrigação proveniente de um poço raso, da água do lençol freático proveniente de um poço de observação instalado na área da pesquisa e da água proveniente da descarga de um dreno lateral.

O pH da água de irrigação indica um nível de acidez próximo à neutralidade, enquanto a água do lençol freático e do dreno, este se situa na faixa neutra.

Ao analisar os resultados de CE_a e RAS em relação aos dados da água de irrigação, foram obtidos valores que variam entre 0,75 e 1,51 respectivamente. Segundo Ayers e Westcot (1991), esses valores não representam risco de causar sodicidade no solo. No entanto, considerando a classificação da água de acordo com Richards (1954), ela é classificada como classe 3 (C_3S_2), indicando risco alto de salinidade. Portanto, seu uso é mais adequado em solos bem drenados e em culturas com alta tolerância ao sal, como é o caso do coqueiro, cuja salinidade limiar é da ordem de $6,4 \text{ dS m}^{-1}$, conforme Holanda *et al.* (2016).

É importante ressaltar que tanto a água do poço de observação quanto a do dreno apresentam níveis superiores de CE_a e RAS em relação à água de irrigação. Evidentemente, os sais em excesso presentes no complexo sortivo do solo estão sendo lixiviados para o sistema de drenagem subterrânea.

Durante a realização da pesquisa (fevereiro 2023 a março 2024) observou-se a saída da água pelos drenos laterais para o dreno coletor após a ocorrência de recargas hídricas, no período chuvoso ou devido ao sistema de irrigação, por conseguinte em consideração ao valor mais alto da CE da água do dreno lateral, é possível confirmar o funcionamento adequado do sistema de drenagem subterrânea instalado há 13 anos (Apêndice – G).

De acordo com Almeida (2010), o índice RAS assume uma relevância significativa quando existe uma predominância do íon sódio. Este íon pode desencadear uma substituição de íons cálcio e magnésio por íons de sódio no solo, o que pode ocasionar sua degradação e, conseqüentemente, a perda de sua estrutura e permeabilidade. Isso reduz a capacidade de infiltração de água no solo, o que pode resultar em prejuízos para a produção.

Tabela 8 – Atributos químicos da água, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

Atributos	Unidade	Irrigação	Poço de observação	Dreno
CEa	dS m ⁻¹	0,75	0,88	1,05
pH		6,8	7,0	7,2
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,1	0,9	2,3
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	3,3	2,9	2,6
Na ²⁺	mmol _c L ⁻¹	3,1	5,0	4,7
K ⁺	mmol _c L ⁻¹	0,2	0,1	0,4
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	0,6	0,5	0,6
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	7,6	8,0	9,8
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	1,51	2,61	2,15

Fonte: Elaborada pela autora.

Ao analisar a água usada há treze anos, Sousa (2012) faz referência à Tabela 9. Nela, é possível notar que os valores de pH estavam na faixa de neutralidade, e que se trata de uma água doce e não salobra (416 mg L⁻¹) na concentração de sais. De acordo com o diagrama de classificação de águas para irrigação de Richards (1954), no Anexo-A, essa água possuía um baixo teor de sódio, reduzindo o risco de problemas de sodificação no solo, sendo corroborado pela presença do bicarbonato (HCO₃).

Como pode ser observado na Tabela 9, os valores que se diferenciam estão na quantidade de sódio e na RAS. No entanto, através dos drenos laterais, os sais são praticamente eliminados, fazendo com que a solução do solo se torne menos salina.

No entanto, como consequência de uma irrigação manejada de forma inadequada, os solos poderão ficar salinizados, tornando-se totalmente improdutivos.

Tabela 9 – Atributos químicos da água utilizada durante a pesquisa de 2012

Atributos	Unidade	Valores
CEa	dS m ⁻¹	0,65
pH		7,10
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,29
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	1,82
Na ²⁺	mmol _c L ⁻¹	2,29
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	2,01
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	3,52
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	1,82

Fonte: Sousa (2012).

4.3 Atributos físicos do solo

4.3.1 Análise granulométrica

Os atributos físicos do solo desempenham um papel importante no manejo da irrigação, da adubação e da drenagem. A textura e a estrutura do solo contribuem para determinar sua capacidade de retenção e condução de nutrientes ou poluentes químicos (Brady, 2013). Na Tabela 10 são apresentadas a composição granulométrica e a classificação textural do solo na área de pesquisa.

Tabela 10 – Composição granulométrica e classificação textural, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

Profundidade (m)	Composição granulométrica g kg ⁻¹				
	Areia	Silte	Argila	Argila Natural	
0 - 0,30	286	370	344	243	
0,30 - 0,60	428	268	304	293	
Classificação textural: Franco argilosa					
Composição granulométrica da Areia g kg ⁻¹					
Profundidade (m)	Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina
0 - 0,30	16	42	49	119	62
0,30 - 0,60	20	67	102	176	65

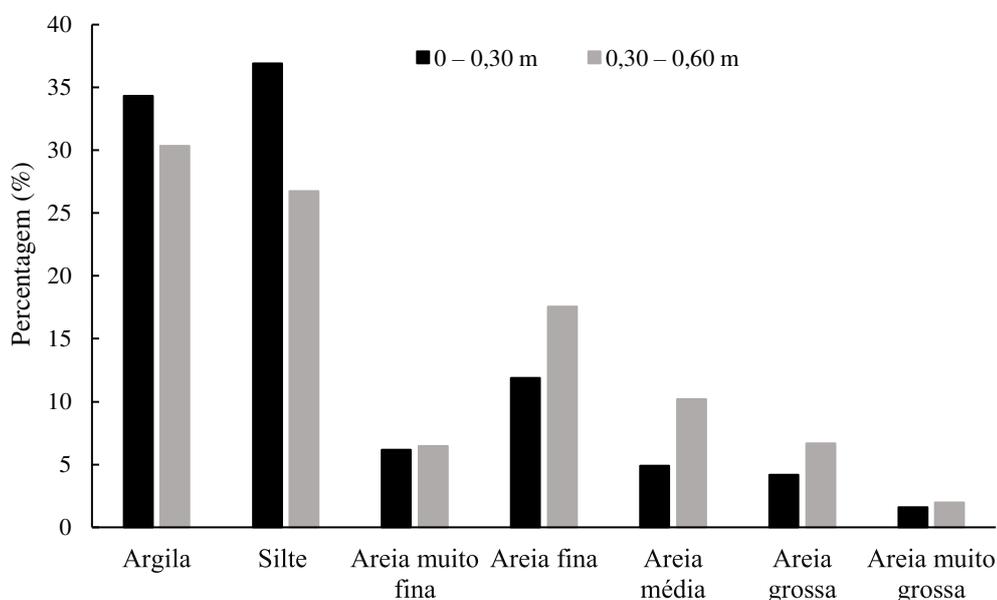
Fonte: Elaborada pela autora.

O conhecimento da granulometria, de forma geral, representa as proporções relativas de areia, silte e argila no solo. Verifica-se uma predominância de argila e silte na camada superficial do solo. Para uma melhor compreensão da influência que o tamanho das partículas do solo exerce no estudo da drenagem, foi elaborada a Figura 10, que detalha, além disso, as proporções de areia muito grossa, areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina. Observa-se que, na profundidade de 0,30 a 0,60 metros, aumentam as proporções de areia fina e areia média. Essa distribuição está diretamente relacionada à capacidade de retenção de umidade, à infiltração e à permeabilidade do solo.

Os solos com maior teor de argila geralmente são mais adequados para fins agrícolas, pois possuem uma faixa mais ampla de umidade. No entanto, esses solos também podem se tornar problemáticos devido às suas propriedades químicas, à qualidade da água de irrigação e à drenagem deficiente. Conforme Duarte *et al.* (2015), solos problemáticos apresentam uma quantidade elevada de silte, areia fina e areia muito fina. Essa composição pode levar à formação de lama no fundo do dreno, resultando em colmatção da manta e redução da eficiência da drenagem.

Considerando a proporção e tamanho das partículas identificadas como problemáticas nas amostras do solo, foram elaboradas as figuras presentes no apêndice B.

Figura 5 – Distribuição granulométrica das amostras do solo nas diferentes profundidades, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

4.3.2 Análise da resistência à penetração do solo

O crescimento e o desenvolvimento adequado de uma cultura dependem, dentre outros fatores, da capacidade de enraizamento. A porosidade, a água disponível e a resistência mecânica do solo são fatores que influenciam na produção (Tavares et al., 2012).

A compactação do solo reduz a porosidade total, diminui a infiltração e, conseqüentemente, a disponibilidade de nutrientes. Isso culmina na redução da penetração e da ramificação das raízes devido à resistência mecânica excessiva e à deficiência na aeração. Em um Latossolo Vermelho, foi observado que a compactação prejudicou o crescimento inicial da soja (*Glycine max*). Além disso a compactação do solo reduziu a condutividade hidráulica, o que demandou maior quantidade de irrigação para a remoção de 0,03 a 0,05 m de solo e evitar a formação de crostas rígidas que impediriam a emergência das plantas (Beutler et al., 2003).

Na análise física do solo, é importante considerar indicadores como textura, densidade, resistência à penetração das raízes e porosidade de aeração. Em uma pesquisa realizada em Cambissolos Háplicos da Chapada do Apodi, no Ceará, verificou-se que os solos utilizados para fruticultura apresentam maior variabilidade nos dados de densidade, porosidade total e permeabilidade. Embora exista produção, é importante melhorar a rede porosa do solo para otimizar a produção frutícola (Mota et al., 2017).

Nesse contexto, no dia 10 de abril de 2024, verificou-se alta umidade no solo da área de pesquisa. Na Figura 11 ilustram-se os valores de resistências à penetração no início, no centro e no final da área, constatando que entre 0,26 e 0,31m de profundidade foi possível observar o valor máximo de 2,34 MPa, o que permite inferir em base aos dados de classificação da resistência contidos na Tabela 11, que o solo apresenta pouca limitação ao crescimento radicular; constituindo de modo geral 2,0 MPa como o valor crítico de resistência para as culturas.

Neste caso, é possível adotar práticas adequadas para manejar a compactação do solo, assim com a integração do cultivo de crotalária ou brachiária, por exemplo em uma área cultivado com milho, foram utilizadas culturas de cobertura crotalária (*Crotalaria spectabilis*) e brachiária (*Brachiaria ruziziensis*) para acrescentar a macroporosidade e reduzir a resistência à penetração do Latossolo. Como resultado, na profundidade de 0,10 a 0,20 m, a Brachiaria foi mais eficiente no aumento da macroporosidade em relação à crotalária (Thomé et al. 2021). Além de fixar nitrogênio no solo, a crotalária possui raízes pivotantes que contribuem para aumentar a porosidade do solo (Ríos e Estigarribia, 2018).

Tabela 11 – Classificação da resistência à penetração do solo, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

Classes	Limites (MPa)	Limitação ao crescimento das raízes
Muito baixa	<1,1	Sem limitação
Baixa	1,1 a 2,50	Pouca limitação
Média	2,6 a 5,00	Algumas limitações
Alta	5,1 a 10,00	Sérias limitações
Muito alta	10,10 a 15,00	Raízes praticamente não crescem
Extremadamente alta	>15,00	Raízes não crescem

Fonte: Canarache, (1991).

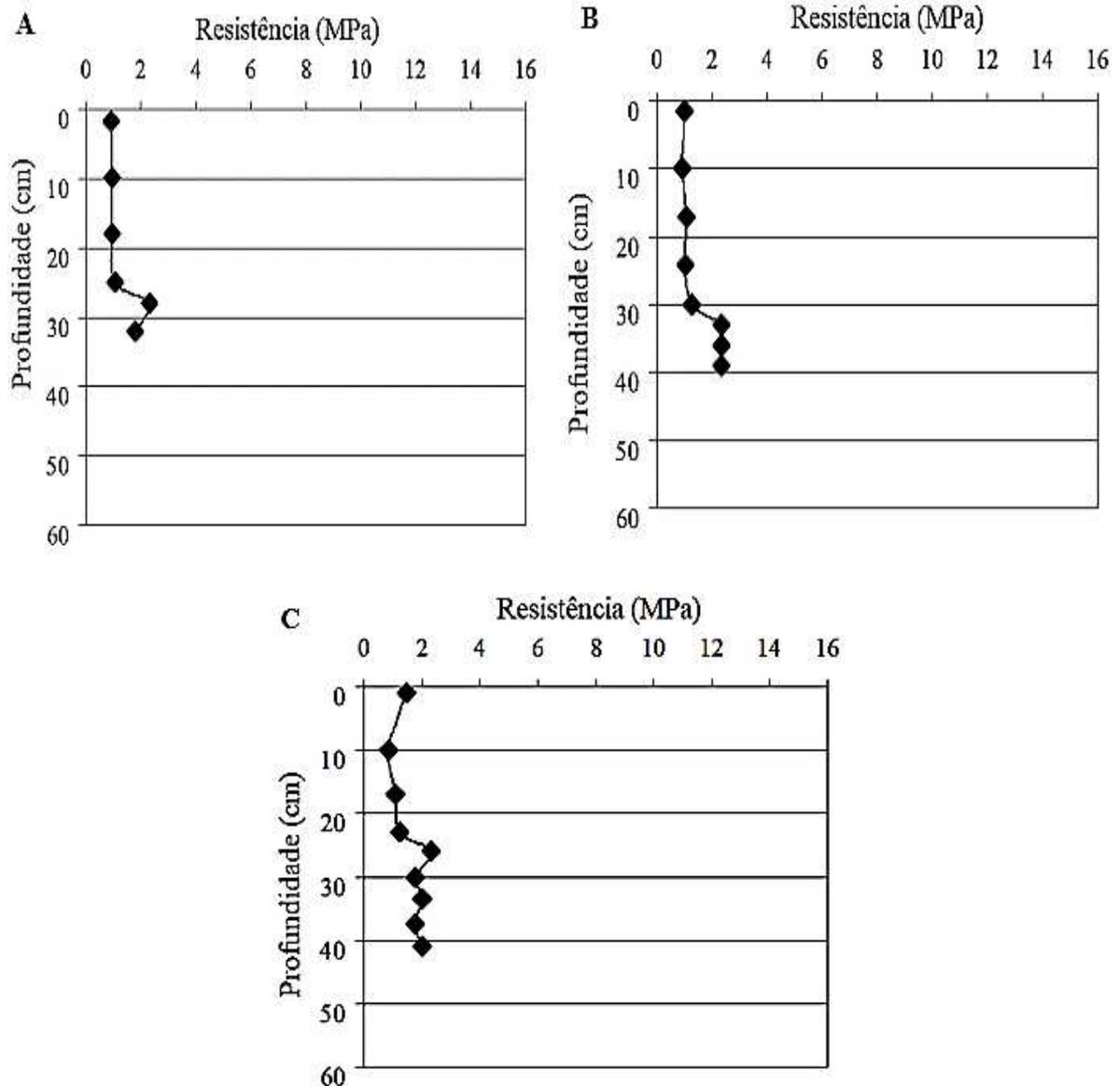
O uso do penetrômetro é dependente da umidade do solo. Vaz *et al.* (2002) indicam realizar as medições em condição próxima à umidade na capacidade de campo. No entanto, essa sugestão não resolve totalmente o problema. Seria mais adequado medir a umidade durante o teste do penetrômetro e, em seguida, aplicar alguma forma de correção ou normalização para um nível constante de umidade. Além disso, ainda não se compreende bem como a resistência à penetração varia em diferentes níveis de umidade e como o tipo de solo afeta essa relação.

A resistência à penetração está fortemente ligada ao crescimento das raízes, já que a extensão das raízes diminui conforme essa resistência aumenta. As restrições ao crescimento das raízes variam dependendo do tipo de solo e da espécie de planta. Além disso, a redução da umidade do solo resulta em um aumento da resistência mecânica à penetração, devido à maior coesão entre as partículas sólidas (Gerard, Mehta e Hinojosa, 1972).

Nuñez *et al.* (2010) asseveram que o estudo da resistência à penetração dos solos que são afetados por salinização e compactação com baixos níveis de matéria orgânica, permite tomar decisões, introduzir tecnologias, elaborar um plano estratégico para o estabelecimento e a rotação de culturas e fazer uso adequado da mecanização para aumentar a produtividade.

Pinto *et al.* (2023) constatou como afeta a resistência à penetração na cultura do mamoeiro, a maior parte das raízes se concentra principalmente a uma profundidade de 0,30 m, sendo que a RP deu um valor 10 MPa a uma profundidade de 0,20m causando interferência no desenvolvimento radicular, e conseqüentemente uma baixa produtividade de apenas 4.169 kg ha⁻¹. Por outro lado, em outra subparcela apresentou valores adequados para o desenvolvimento das raízes, que não limitaram o crescimento adequado da cultura, cuja produtividade foi de 47.667 kg ha⁻¹.

Figura 6 – Resistência à penetração do solo no início (A), no centro (B) e no final (C) da área de pesquisa, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

4.4 Análise da necessidade de envoltório

Um fator essencial para a implementação de envelopes em um sistema de drenagem subterrânea é estabelecer a composição granulométrica do solo. Em nossa área de pesquisa, o solo evidencia algumas complexidades. Conforme dados apresentados anteriormente, existe uma predominância significativa de areia muito fina argila e silte em ambas as camadas.

No sistema de drenagem subterrânea foi utilizada a manta bidim OP 20 sem que uma análise granulométrica fosse realizada antes da instalação. Ghane *et al.* (2022) destacam

que o envelope geotêxtil impede a entrada de areia fina e lodo no sistema de drenagem subterrânea, evitando, dessa forma, o entupimento do tubo de drenagem com sedimentos.

Paschoalin e Lima (2007) ressaltam a importância de se considerar duas funções fundamentais na seleção de materiais para a elaboração de um sistema de drenagem. O material escolhido deve não só facilitar a circulação do fluxo, mas também atuar como um filtro eficaz para prevenir o arrasto de partículas de solo pelo fluxo. Neste cenário, a caracterização do envoltório adequado pode ser definida por meio da determinação da distribuição granulométrica e da realização de ensaios de permeabilidade à carga constante

Assim, a escolha do tipo de tubo de drenagem (com ou sem revestimento de geotêxtil) desempenha um papel relevante no projeto de drenagem subterrânea, pois influencia na entrada do fluxo da água no sistema de drenagem.

De acordo com Duarte *et al.*, (2015), em solos que apresentam [areia fina + areia muito fina + silte] > 45%, deve-se evitar o uso de mantas geotêxteis, dando-se preferência aos envelopes granulares. Cabe aqui destacar que na área da pesquisa os percentuais de [areia fina + areia muito fina + silte] correspondem a 55,1 e 50,9% para as camadas de solo de 0 – 0,30m e 0,30 – 0,60m, respectivamente.

Almeida *et a.* (2005) asseveram que na comparação da eficiência de envelopes de bidim OP-20, brita zero e um composto de espuma de 5mm, todos tiveram bom desempenho hidráulico, mas a brita zero foi superior. O composto de espuma mostrou maior resistência ao fluxo do que o envelope de bidim OP-20, sugerindo que este poderia ser substituído pelos outros.

Na Figuras 12 (A e B) são apresentadas as curvas de % passante do solo nas camadas 0 – 0,30 m e 0,30 – 0,60 m, cujas equações permitem estimar o D_{60} do solo, os quais correspondem a 0,02 mm e 0,04 mm para as camadas 0 – 0,30 m e 0,30 – 0,60 m, respectivamente. Portanto, o D_{60} do envelope deve ficar entre 2 e 10mm, o que sugere um envelope com brita zero zero ou alternativamente, brita zero, conforme se visualiza em Anexos.

Figura 7 – Curva de % passante do solo, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

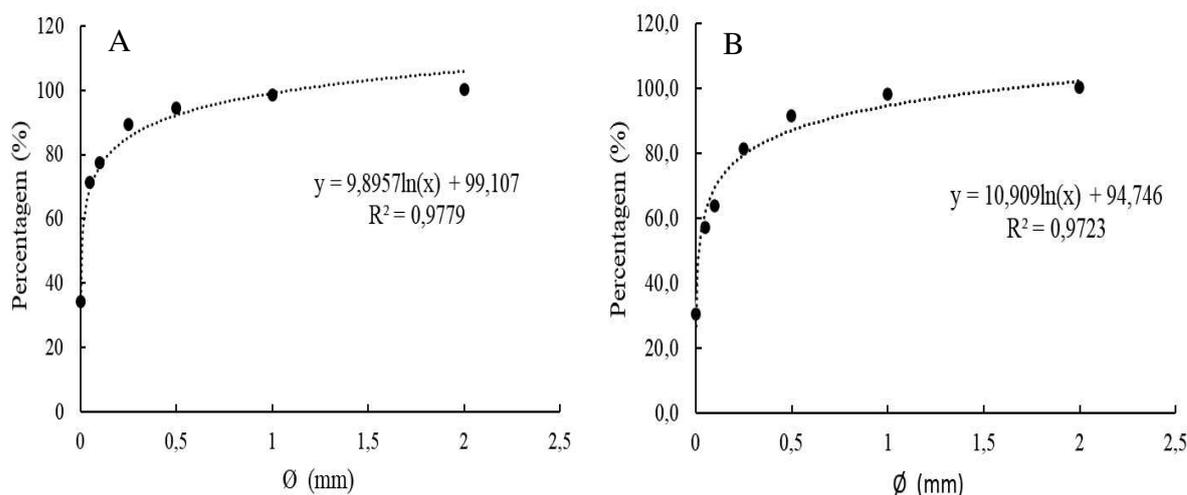


Figura A: camada do solo de 0 – 0,30 m. Figura B: camada do solo de 0,30 – 0,60m.
Fonte: Elaborada pela autora.

4.5 Atributos químicos do solo

Os atributos químicos do solo agrícola podem sofrer modificações após o uso de condicionadores de solos, adubos e irrigação. Neste contexto serão enfatizadas consequências do emprego da água de irrigação e as transformações que ocorreram no solo ao longo de treze anos.

É importante destacar que Brady (2013) afirma que a prática de agricultura irrigada em regiões semiáridas representa um potencial risco. Essa atividade pode resultar em degradação do solo devido à acumulação de sais, processo conhecido como salinização ou sodificação. Na Tabela 12 são apresentados atributos químicos do solo.

Considerando o resultado do pH do solo, este se encontra em uma faixa básica, indicando uma dificuldade na assimilação de nutrientes. Ao analisar os dados de PST, CE e as quantidades de Na^+ , Mg^{2+} e Ca^{2+} , é possível identificar que se trata de um solo sódico. Esta condição provoca uma degradação das partículas, resultando em menor porosidade e, conseqüentemente, reduzindo a permeabilidade do solo.

Na análise comparativa com os dados de 2009 (Tabela 13), antes do processo de recuperação do solo, observa-se que a concentração de CE era de $4,0 \text{ dS m}^{-1}$, visando a identificação do tratamento realizado no local de extração da amostra de solo, a qual foi submetida à subsolagem + 40 Mg ha^{-1} de matéria orgânica, além disso foi cultivada com girassol e feijão de corda. Sousa (2012) afirma uma redução média de $1,1 \text{ dS m}^{-1}$, após o processo de

recuperação em 2011, e atualmente encontra-se em $0,74 \text{ dS m}^{-1}$. No entanto, no caso da PST, antes do processo de recuperação, era de 32,1%; certamente devido ao processo de recuperação, houve uma redução para 17,0%, e atualmente está em 15%. Após 13 anos, observou-se uma redução pouco significativa dos valores.

Tabela 12 – Atributos químicos do solo, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

Atributos	Unidade	Valores	
		Prof. 0 - 0,30 (m)	Prof. 0,30 - 0,60 (m)
Ds	kg dm^{-3}	1,47	1,54
Dp	kg dm^{-3}	2,67	2,67
Ca^{2+}	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	13,50	8,50
Mg^{2+}	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	4,30	3,5
K^+	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	0,21	0,09
Na^+	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	3,02	2,33
$\text{H}^+ \text{ Al}^{3+}$	$\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$	0,33	0,5
pH em água		8,0	7,9
$\text{CE}_{1:1}$	dS m^{-1}	0,74	1,07
PST	(%)	14	16
V	(%)	98	97
C	g kg^{-1}	4,59	4,23
N	g kg^{-1}	0,48	0,44
C/N		10	10
MO	g kg^{-1}	7,92	7,3
P Assimilável	mg kg^{-1}	1	2

Ds – densidade do solo; Dp – densidade de partículas; PST – percentagem de sódio trocável; $\text{CE}_{1:1}$ condutividade elétrica; V %: saturação por bases; C/N Relação Carbono Nitrogênio.

Tabela 13 – Atributos do solo antes do processo de recuperação 2009

Atributos	Unidade	Valores
Classe textural		Franco arenosa
Ds	kg dm ⁻³	1,41
Dp	kg dm ⁻³	2,6
CC 0,033 Mpa	m ³ m ⁻³	0,22
PMP a 1,5 Mpa	m ³ m ⁻³	0,09
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	5,50
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	1,60
K ⁺	cmol _c dm ⁻³	0,18
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	3,44
H ⁺ Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,00
pH em água (1:2,5)		8,0
CE _{1:1}	dS m ⁻¹	4,0
PST	(%)	32,1

Fonte: Sousa (2012).

A maior parte do solo analisado é composta por montmorilonita, uma argila expansiva que se expande quando úmida e se contrai ao secar. Esta argila pode conter muitos íons, tais como cálcio (Ca²⁺), magnésio (Mg²⁺) e potássio (K⁺), que exercem influência sobre a adsorção de íons ou a ligação coloidal (Brady, 2013).

Na Figura 13 (A e B), capturada na área de estudo, é possível identificar o impacto do excesso de água associada a problemas de drenagem natural do solo. Esses fatores conforme Lepsch (2011) podem levar o solo a apresentar coloração cinzenta, sinalizando a remoção de ferro, resultando em um estado de oxidação e redução deficiente (A). Por outro lado, a presença de cores vermelhas indica concentrações de ferro, o que sugere um enriquecimento devido à alternância entre condições de oxidação e redução (B).

Figura 13 – Drenagem natural deficiente na área da pesquisa, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

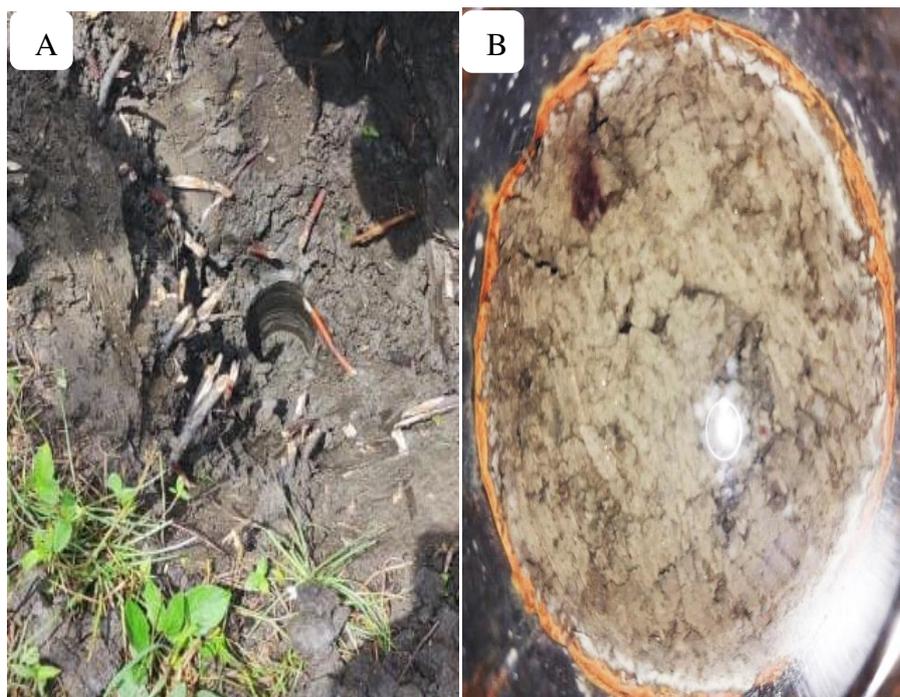


Figura A. solo da área de pesquisa *in situ*, na profundidade de 0,50m.
 Figura B. Amostra indeformada do solo na profundidade de 0,30 - 0,60m.
 Foto: Quispe, M. C. (2023).

4.6 Análise da sustentabilidade econômico-social

4.6.1 Valor agregado

Na Tabela 14 são apresentados os valores dos custos fixos (CF), custos variáveis (CV), o valor bruto da produção (VBP) e da depreciação (D). Todos os dados foram normalizados para um hectare, considerando que a área de produção utilizada na pesquisa é de 0,4 ha. No cálculo da depreciação, levou-se em consideração a vida útil do equipamento e resíduo zero ao final da vida útil.

Os custos variáveis foram analisados anualmente para cada item. É importante destacar que o produtor conta com mão de obra auxiliar nas atividades agrícolas e na colheita do coco. No processo de venda do produto, o agricultor irrigante não se submete à figura do intermediário, porquanto realiza diretamente a venda do coco ao preço unitário de R\$ 1,50.

No ano de 2023, a produção alcançou 14.208 cocos provenientes de 52 pés de coqueiro anão, alcançando uma média mensal de 23 cocos planta⁻¹, praticamente o dobro da

média obtida no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, a qual se situa em torno de 12 cocos planta⁻¹ mês⁻¹.

Na produção de coco, a maior parcela do custo total é composta pelos custos variáveis (61,90%), enquanto o restante (38,10%) é destinado à cobertura dos custos fixos. A depreciação anual das ferramentas e sistema de irrigação possui um significado econômico importante para a viabilidade do produtor em médio e longo prazo na produção de coco (Alves *et al.*, 2014).

Tabela 14 – Valor agregado anual correspondente a 1,0 ha da produção de coco anão com e sem financiamento

Discriminação		Sem Financiamento	Com financiamento
(CF)	Poço raso	2500	250
	Sistema de bombeamento	7500	750
	Adutora e sistema de irrigação	10750	1075
	Total	20750	2075
(CV)	Fertilizantes	2500	250
	Defensivos	1418,35	141,84
	Energia Elétrica	11250	1125
	Combustível	1421,58	142,16
	Óleo de dois tempos	300	30
	Total	16889,93	1688,99
Produção	Valor bruto da produção	53280	53280
Depreciação	Anual	1050	1050
Valor Agregado	VA = VBP - (CF+CV+D)	14590,08	48466,01

Fonte: Elaborada pela autora.

Na Figura 14 constam os gráficos que representam as equações de valor agregado para a produção de coqueiro anão, considerando os cenários com e sem financiamento do Pronaf. A produção sem o uso de financiamento demanda um custo fixo maior, totalizando R\$ 20.750,00 gerando uma menor contribuição marginal de R\$ 35.340,00. No entanto, com o uso de financiamento, apresenta as maiores contribuições marginais por unidade de área, atingindo R\$ 50.541,00, com um custo fixo menor de R\$ 2.075,00.

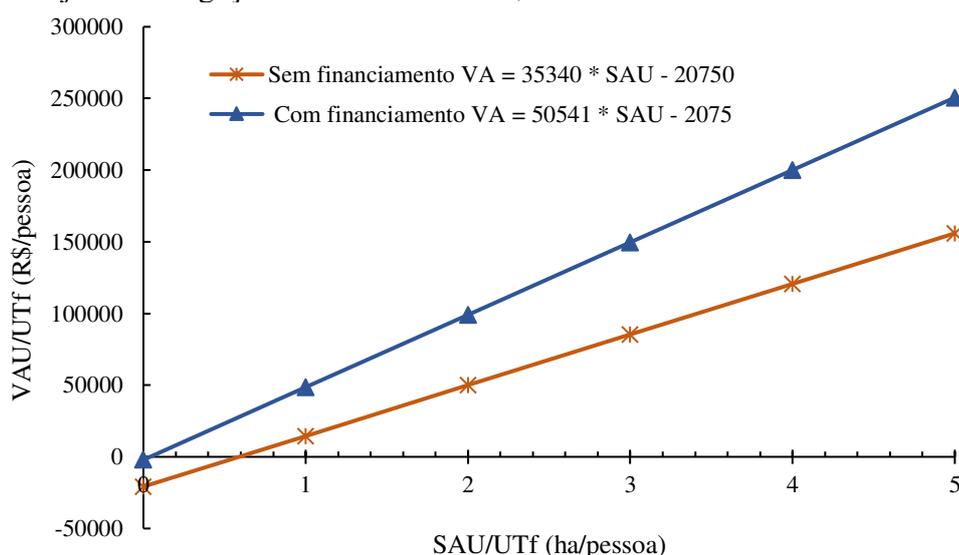
Ao avaliar a área necessária para cobrir os custos de produção, é perceptível na Figura 14, que menos de um hectare é suficiente nas condições do pequeno produtor. É importante ressaltar que o produtor estabelece o preço de venda de cada coco em R\$ 1,50.

Ele também possui uma estratégia de venda da água de coco a R\$ 7,00 por litro, que não foi considerada nas análises, já que esta venda ocorre apenas em escassas ocasiões.

Os modelos de valor agregado em relação à superfície agrícola útil permitem identificar as contribuições sociais para os diversos tipos de investimentos analisados. O modelo possibilita determinar se a unidade de produção enfrenta maiores desafios para se manter na atividade agrícola e suas perspectivas conforme a dinâmica de acumulação do sistema agrário.

Na análise do valor agregado e da rentabilidade da produção em aquíferos aluviais sob diferentes cenários de financiamento, conduzida por Paiva *et al.* (2023) identificaram a contribuição econômico social de diferentes sistemas de produção: monocultura (arroz) e policultura (arroz, milho e feijão). Devido aos maiores custos fixos exigidos o uso de financiamento (Pronaf) foi apontado como uma forte limitação para ambas atividades. Destaca-se a importância do financiamento como uma alternativa de produção economicamente eficiente para a sustentabilidade econômica e social, gerando maiores contribuições marginais por unidade de área e, conseqüentemente, os maiores valores agregados por hectare.

Figura 14 – Valor Agregado para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará

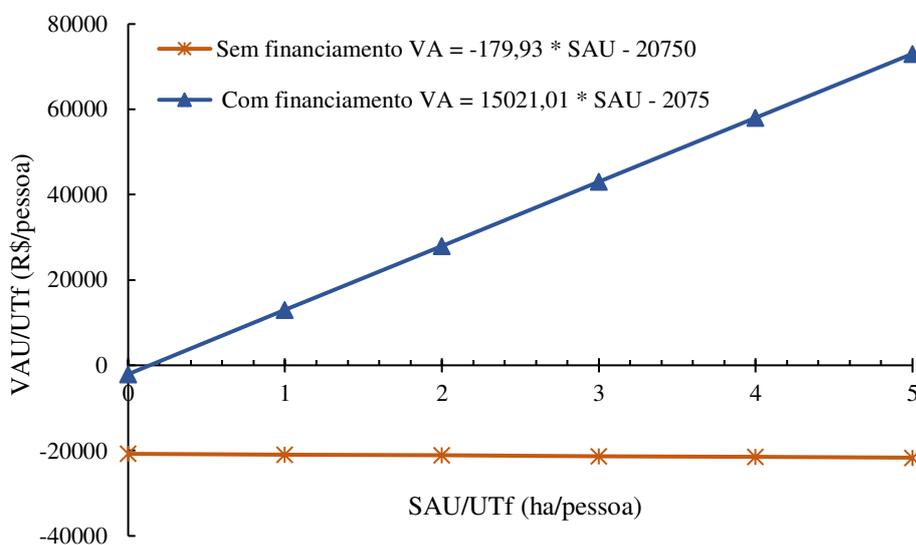


Fonte: Elaborada pela autora.

Na comparação do mesmo nível de produção de coco anão, quando há a presença de um intermediário para a comercialização ao preço referencial de R\$ 0,50, obteve-se o valor agregado, conforme se visualiza na Figura 15. Observa-se que para a condição sem

financiamento do Pronaf, tem-se um valor negativo associado à contribuição marginal, no entanto, com o financiamento esta contribuição marginal é de R\$ 15.021,01.

Figura 8 – Valor Agregado para a cultura do coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



4.6.2 Renda do agricultor

Para analisar economicamente os sistemas de produção, é importante ter conhecimento do valor da renda do agricultor, já que afeta diretamente a manutenção da atividade agropecuária, a fixação do produtor e a qualidade de vida.

Considerou-se a comparação com e sem financiamento do Pronaf Mais Alimentos, o qual tem uma taxa de juros de 2,5% ao ano, sendo que o agricultor tem dez anos para pagar o investimento. Na Tabela 15 são detalhadas as variáveis necessárias para o cálculo da Renda do Agricultor (RA), obtida pela diferença entre o valor agregado da produção e os custos com juros pagos aos agentes financeiros e salários pagos aos trabalhadores. É importante ressaltar que no presente estudo, o produtor não está sujeito ao pagamento do ITR, imposto sobre propriedade rural.

O salário pago ao trabalhador foi calculado com base nos dados fornecidos pelo produtor. Observa-se que a renda do agricultor é significativamente maior com financiamento, constituindo R\$ 47.387,91 e em comparação com o valor obtido sem financiamento, sendo apenas R\$ 3.809,08.

O nível de reprodução social (NRS) está diretamente relacionado à renda necessária para garantir a reprodução social, tomando como base o salário mínimo. Conforme Machado (2023), por meio da medida provisória 1172/23, foi estabelecido um aumento de 1,38% no salário mínimo a partir de 1º de maio de 2023, elevando-o para R\$ 1.320,00 e por conseguinte uma renda anual de R\$ 15.840,00.

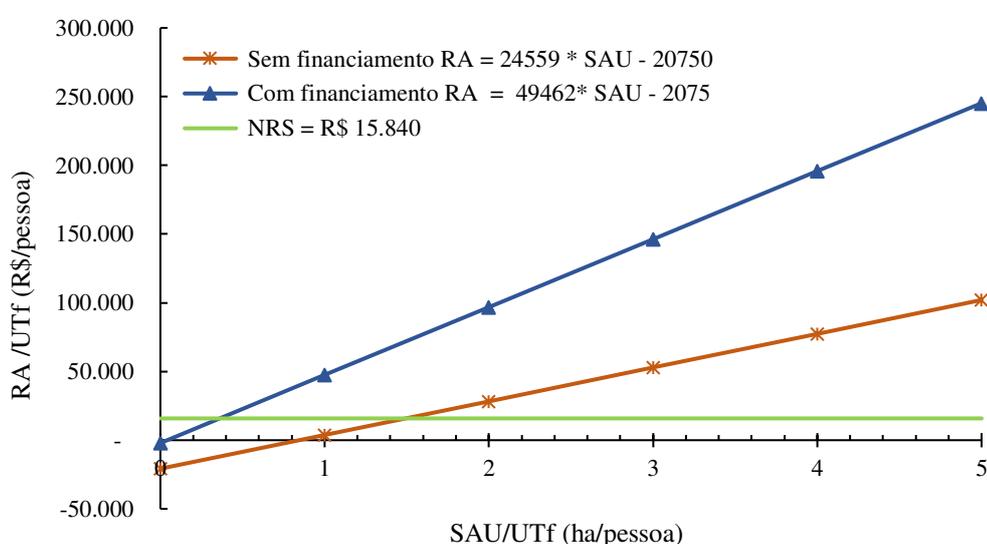
Na Figura 16 observam-se as retas que representam a renda do agricultor com e sem financiamento em relação à produção do coqueiro anão. No caso de adquirir o financiamento, é possível ultrapassar o NRS com aproximadamente 0,36 ha em produção. Já para a produção sem financiamento, o NRS só é possível com uma área de 1,5 ha.

Tabela 15 – Parâmetros utilizados para cálculo da renda do agricultor (RA), Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará.

Discriminação	Sem Financiamento	Com financiamento
Valor Agregado	14.590,08	48.466,01
Juros 2,5%	1181,00	118,10
Salário pago ao trabalhador	9600,00	960,00
Renda do agricultor (RA = VA – J – S)	3.809,08	47.387,91

Fonte: Elaborada pela autora.

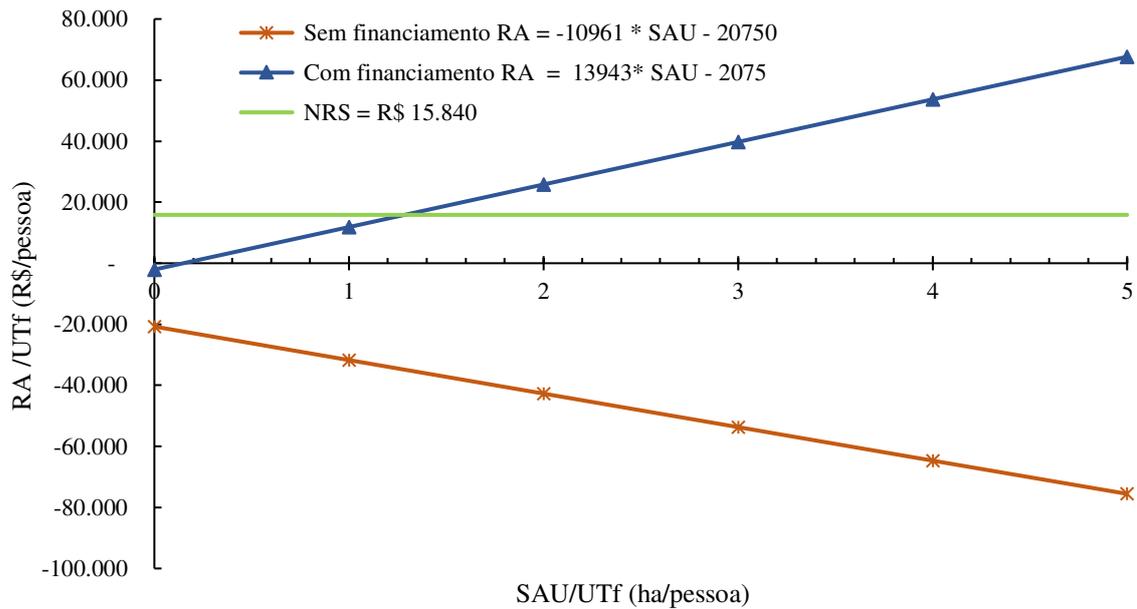
Figura 9 – Renda do agricultor (RA) na produção de coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

Na análise comparativa da renda do agricultor, com a presença do intermediário observa-se na Figura 17 as retas correspondentes com e sem financiamento para a produção do coqueiro anão. Evidencia-se que não é possível gerar uma renda sem o financiamento já que os custos fixos aumentam à medida que a área de produção cresce. Por outro lado, ao adquirir o financiamento é possível ultrapassar o NRS com uma área de 1,28 ha.

Figura 17 – Renda do agricultor (RA) na produção de coqueiro anão com e sem financiamento, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A rede de fluxo do lençol freático evidencia a região central da área com maiores valores de potenciais totais e, portanto, funcionando como um divisor de águas subterrâneas, cujas linhas de fluxo seguem aproximadamente perpendiculares à direção dos drenos laterais com gradientes hidráulicos que sinalizam o sistema de drenagem subterrânea funcionando como tipo intercepção.

Os perfis de rebaixamento do lençol freático refletem a baixa capacidade de transmissão de água no solo traduzida no valor médio da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0) obtido em ensaios de campo.

O valor da velocidade de infiltração básica do solo confirma que não se deve usá-la em substituição ao valor da condutividade hidráulica do solo saturado (K_0), porquanto iria superdimensionar o valor do espaçamento entre drenos.

Os valores de resistência à penetração do solo nas profundidades avaliadas demonstram não comprometer o desenvolvimento do sistema radicular do coqueiro, mantendo coerência com os valores de resistência hidráulica, os quais demonstram a inexistência de impedimentos físicos.

A análise da necessidade de envoltórios na área da pesquisa recomenda o uso de envelopes granulares com brita zero zero ou alternativamente brita zero, ao invés de mantas geotêxteis, as quais poderão apresentar riscos de colmatação.

O espaçamento de 8,0m entre drenos laterais, embora adotado em razão do espaçamento da cultura do coqueiro converge para o valor médio calculado por equações em regime de fluxo não-permanente.

Os atributos químicos do solo demonstram que após o processo de recuperação do solo salino sódico, os níveis de salinidade e sodicidade se apresentam praticamente inalterados, se tratando atualmente de um solo no limiar de sódico, tal qual após o processo de recuperação, ocorrido há 13 anos.

A fonte hídrica utilizada na irrigação e oriunda do aquífero aluvial não apresenta riscos ao solo ou à cultura do coqueiro, com o sistema de drenagem subterrânea sendo vital na retirada de sais.

A área piloto de 0,4 ha permite que o agricultor irrigante atinja o nível de reprodução social, o que só é possível em razão do financiamento e pela não existência de intermediários no processo de comercialização.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. **Requisitos para elaboração de projetos de drenagem subterrânea para fins agrícolas**, Rio de Janeiro, ABNT, 1998, 3p. NBR 14144:1998.

ALBUQUERQUE, José Alfredo. **Avaliação do passivo ambiental de solos degradados por sais no Projeto irrigado Curu Pentecoste, Ceará. (Brasil)**. Orientador: Raimundo Nonato Távora Costa. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18982/1/2015_tese_jaalbuquerque.pdf Acesso em: 20 de abril de 2023.

ALMEIDA Otávio Álvares de. **Qualidade da água de irrigação**. Embrapa Mandioca e Fruticultura. 1ª ed. Cruz das Almas; Bahia. 2010. *E-book*. Disponível em: <https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/irrigacao/livros/QUALIDADE%20DA%20AGUA%20DE%20IRRIGACAO.pdf> Acesso em: 4 de abril de 2023.

ALMEIDA Florício P. de. et al. Material envoltório na drenagem subterrânea. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 671–676, set. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162005000300012> Acesso em: 8 de maio de 2023.

ALVES, Carlos Oscar Maia. et al. Perfil técnico e econômico da produção de coco irrigado no Ceará. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 1, p. 44-64, 2014. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/885> Acesso em: 5 de maio de 2023.

ARAÚJO, Guilherme José Ferreira de; SANTOS, Clélio Cristiano dos; GOMES, Edvânia Tôres Aguiar. **Desafios dos produtores de base familiar na produção do coco em reassentamentos públicos do Vale do São Francisco–Brasil**. Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasilera de geografia, n. 56, 2022. Disponível em: <http://journals.openedition.org/confins/47990> Acesso em: 1 de maio de 2023.

ARAÚJO P, B, A. et al. Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, UAEEA/UFCG. v.15, n.4, p.377–382, 2011. Disponível em: <http://www.agriambi.com.br> Acesso em: 3 de junho de 2023.

ASSIS JÚNIOR Raimundo Nonato de; e SILVA Edison Fernandes da. Efeito da qualidade da água de irrigação sobre os atributos físicos de um neossolo flúvico do Município de Quixeré, **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Ceará - Brasil. v. 36, n. 6, p. 1778–1786, nov. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000600011> Acesso em: 15 de maio de 2023.

AZEVEDO, A. J. et al. **Requerimento de irrigação do coqueiro – anão derivado do controle com tensiômetros em ambiente de cerrado**. Planaltina DF. 2005. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/569419/1/p200506.pdf> Acesso em: 30 de maio de 2023.

BACK, Allison Fernando. **Modelagem Numérica de Fluxo das Águas Subterrâneas no Campus da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/22197> Acesso em: 8 de maio de 2023.

BARROS Maria de FC; SANTOS Paulo M. dos e SILVA Airon J. da. Recuperação de solos afetados por sais usando água de qualidade inferior. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, no suppl 1, p. 310-313. 2005.

BARRETO, Aurelir N. et al. Condutividade hidráulica saturada em um solo aluvial do perímetro irrigado de São Gonçalo, PB. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola e Ambiental**, Paraíba, v. 5, n. 1, p. 152–155, jan. 2001. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000100029> Acesso em: 20 de maio de 2023.

BELTRAN, J.M. **Drenaje Agrícola.** In: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación/Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario, Madrid, 239 p. Series de Ingenieria Rural y Desarrollo Agrario - Manual Tecnico Num. 5. 1986.

BENASSI, Antonio Carlos; DE SANTANA, Enilton Nascimento; FANTON, César José. **O cultivo do coqueiro-anão-verde: tecnologias de produção.** Incaper, n 255, Issn 1519.2059, Vitória, ES 2014. Disponível em: <https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2713/1/BRTcultivodocoqueiroanao-benassi.pdf> Acesso em: 2 de julho de 2023.

BENTO, José Alex Nascimento. et al. Dinâmica e Diferenciação de Sistemas de Produção no Semiárido Brasileiro: Agriculturas do Município de Pentecoste, Ceará. **Desenvolvimento em Questão**, v. 15, n. 41 p. 416–456, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.21527/2237-6453.2017.41.416-456> Acesso em: 10 de julho de 2023.

BERGMANN, Brenda Hellen. et al. Estudo da combinação de indicadores para análise da viabilidade de projetos: uma revisão de literatura. **Revista de Gestão e Secretariado (Management and Administrative Professional Review)**. v. 14, n. 6, p. 10644-10665, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistagesec.org.br/secretariado/article/view/2397> Acesso em: 12 de agosto de 2023.

BEUTLER, Amauri Nelson, et al. Influência da compactação e do cultivo de soja nos atributos físicos e na condutividade hidráulica em Latossolo Vermelho. **Irriga**, vol. 8, no 3, p. 242-249, 2003. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/3139/1931> Acesso em: 10 de julho de 2023.

BRAINER, Maria Simone de Castro Pereira. Coco: produção e mercado. Banco do Nordeste do Brasil. **Caderno Setorial Etene**, Fortaleza, n.206, ano 6, p. dez., 2021. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1043>. Acesso em: 20 de julho de 2023.

BRADY NYLE C. **Elementos da natureza e propriedades dos solos.** Tradução técnica. Igo Fernando Lepsch. 3ª Edição. Porto Alegre: Bookman. 2013.

BRICEÑO, Miguel.; ÁLVAREZ Francisco.; BARAHONA Ulises. **Manual de Riego y Drenaje**. Programa de Gestão Integrada de Pragas na América Central. Licenciatura em Ciências Agrárias e Produção. Escola Agrícola Panamericana, ISBN: 1-885995-76-8. El Zamorano, Honduras. 115p. 2012. Disponível em: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_5_Manual_de_Riego_y_Drenaje..pdf Acesso em: 3 de novembro de 2023.

CANARACHE, A. **Factors and indices regarding excessive compactness of agricultural soils**. *Soil and Tillage Research*, v. 19, n. 2-3, p. 145-164, 1991. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(91\)90083-A](https://doi.org/10.1016/0167-1987(91)90083-A) Acesso em: 20 de julho de 2023.

CAMBOIM NETO, Luís de França. **Coqueiro anão verde: Influência de diferentes lâminas de irrigação e de porcentagens de área molhada no desenvolvimento, na produção e nos parâmetros físico-químicos do fruto**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) -Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2002. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/9463> Acesso em: 6 de dezembro de 2023.

CASTRO Pereira Brainer Maria Simone de. **Coco: produção e mercado. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste** – Caderno Setorial ETENE. Banco do Nordeste, ano 6, n. 206, dezembro, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482dspace/bitstream/123456789/1043/1/2021_CDS_206.pdf Acesso em: 14 de julho de 2023.

CAVALCANTE, Eduardo Santos. et al. Supplemental irrigation using brackish water on maize in tropical semi-arid regions of Brazil: yield and economic analysis. *Scientia Agricola*, v. 78, p. e20200151, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2020-0151> Acesso em: 15 de setembro de 2023.

CINTRA, Fernando L. D.; RESENDE, Ronaldo S.; LEAL, Maria DE L. da S. Distribuição de raízes de coqueiro anão sob volumes de água em solo coeso dos tabuleiros. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 614–619, nov. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662008000600007> Acesso em: 12 de junho de 2023.

CONGOPE Consórcio de Governos Provinciais Autônomos do Equador. **Manual técnico para a conceção de sistemas de drenagem em solos agrícolas no Equador**. ed. Agroprecisão, Plataforma de gestão financeira governamental. v. s.n. p. 102. 2018. Disponível em: <http://www.competencias.gob.ec/biblioteca/manual-tecnico-para-el-diseno-de-sistemas-de-drenaje-en-suelos-agricolas-del-ecuador/> Acesso em: 5 de agosto de 2023.

CORDEIRO Gilberto G. **Salinidade e sodicidade do solo**. Petrolina PE: II Curso sobre manejo de solo e água em propriedades agrícolas do tropico semiárido. EMBRAPA, setembro, 1983. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68363/1/Gilberto.pdf> Acesso em: 2 de novembro de 2023.

COSTA Raimundo Nonato Távora; CAVALCANTE Thereza Rhayane Barbosa e NUNES Kenya Gonçalves. **Cartilha Atributos físico – químicos da água e do solo**. Universidade Federal do Ceará, Centro de ciências agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola. Fortaleza, Ceará – Brasil, 2019.

COSTA Raimundo Nonato Távora et al. Interferência do excesso de água no solo e componentes de produção em beterraba. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 74-77, 2008

CUNHA Jarbas Ferreira Tony. et al. **Bioma Caatinga**. 2021 Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/neossolos/fluvicos> Acesso em: 10 de dezembro de 2023.

CRUCIANI Décio Eugenio e GODOY Renato. **Estudos do lençol freático em problemas de drenagem**. Revista de Agricultura, Piracicaba, p.115-126, 1980.

CRUCIANI Décio Eugenio A drenagem na agricultura. 4. ed. São Paulo, Nobel, 1989, 337 p.

DA SILVA Glaucia Vianna. **Estudo da renda agrícola, da viabilidade econômica, financeira e da rentabilidade de uma unidade de produção agropecuária do Município de Augusto Pestana, RS**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2016. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/bitstream/handle/123456789/4252/Glaucia%20Vianna%20da%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Acesso em: 10 de julho de 2023.

DE ANDRADE Miguel, Lovois; SCHREINER, Camila Traesel. **Gestão e planejamento de unidades de produção agrícola**. 2a edição, Porto Alegre, p. 279 E-book. Editora da UFRGS, 2022.

DE ARAÚJO, Antonio Flávio Batista. et al. Fiber quality, yield, and profitability of cotton in response to supplemental irrigation with treated wastewater and NPKfertilization. **Agronomia** v. 12, n. 10, p. 2527, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/agronomy12102527> Acesso em: 15 de setembro de 2023.

DE MIRANDA Rodriguez Fabio; GOMES Antônia Renata Monteiro. **Manejo da irrigação do coqueiro-anão**. Circular técnica on line 25, p. 8. ISSN 1679-2254, Fortaleza, Ceará 2006 Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426401/1/Ci025.pdf> Acesso em: 25 julho. 2023.

DIAS, Jeronimo Marcelino et al. Eficiência técnica de produtores de coco do perímetro Curu-Paraipaba, Estado do Ceará. Instituto de Economia Agrícola. **Revista de economia agrícola** v. 54, p. 36, 2007 - São Paulo. Disponível em: http://www.editoragazeta.com.br/sitewp/wp-content/uploads/2017/03/PDF- Fruticultura_2017.pdf Acesso em: 16 de novembro de 2023.

DIAS Nildo da Silva et al. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade (Salinity effects on plants and tolerance of crops to salinity). **Book Chapter**, 2016, ISBN 978-85-420-0948-4 p. 151-162.

DIAS, Jeronimo Marcelino et al. Eficiência técnica de produtores de coco do perímetro Curu-Paraipaba, Estado do Ceará. **Revista de Economia Agrícola**, São Paulo, v. 65, n. 1, p. 05-14, jan.-jun. 2018. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/51915/1/2018_art_jmdias.pdf Acesso em: 18 de julho de 2023.

DOS SANTOS, C. R.; DOS SANTOS, R. C.; MENDONÇA, C. E. S. Estudo de raízes de coqueiro anão verde em neossolos quartzarênicos da fazenda são João, em Petrolina-PE.

2003. **Cpatsa Embrapa**. Disponível em:

<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/150037/1/OPB65.pdf> Acesso em: 20 de agosto de 2023.

DUARTE Sérgio Nascimento. et al. **Fundamentos de drenagem agrícola** Fortaleza, CE: Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade, Editoração Eletrônica Byte Systems - Soluções Digitais. 338 p. 2015.

DUARTE Sergio Nascimento et al. **Fundamentos de drenagem agrícola**. Piracicaba: LEB/ESALQ/USP. 2023

DUARTE, Sérgio Nascimento; MIRANDA, JH de; CRUCIANI, Décio Eugênio. Desempenho de equações de espaçamento entre drenos. **Revista Engenharia Rural**, v. 13, n. 1, p. 49-55, 2002. Disponível em: https://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/jarbas/Artigos_do_Jarbas/artigo4_2002.pdf Acesso em: 26 de junho de 2023.

FAO. Drainage design factors: 28 questions and answers. Irrigation and Drainage. Paper, Rome, n.38, p.1-52, 1980.

FAO, ISSS and ISRIC: World reference base for soil resources, Inst. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Society of Soil Science (ISSS-AISS.IBG), and International Soil Reference and Information Center (ISRIC), World Soil Resources Report No. 84. FAO, Rome, Italy, 1998, Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/W8594E/w8594e00.htm>. Acesso em: 2 de maio de 2023.

FERREIRA Guilherme José de Araujo; DOS SANTOS Clélio Cristiano e GOMES Edvânia Tôres Aguiar. Desafios dos produtores de base familiar na produção do coco em reassentamentos públicos do Vale do São Francisco – Brasil. **Open edition journals**. n. 56, 29 setembro 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.4000/confins.47990> Acesso em: 8 de novembro de 2023.

FERREIRA Neto Miguel. et al. Emissão foliar, relações iônicas e produção do coqueiro irrigado com água salina. **Revista Ciência Rural**, v. 37, n.6, pp.1675-1681 ISSN: 0103-8478. 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33137626> Acesso em: 4 de setembro de 2023.

FERREIRA Neto Miguel. et al. Qualidade do fruto verde de coqueiro em função da irrigação com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p.69-75, jan, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662002000100013> Acesso em: 16 de julho de 2023.

FERREIRA, Santos Maria Joana. et al. Coco ‘Anão’. **Revista Cultivo de fruteiras**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, V. 32 N. 264, p 49 – 62. 2011. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/174851/1/Coco-anao.pdf> Acesso em: 6 de julho de 2023.

FREIRE, Maria. B. G. S. et al. Agrupamento de solos quanto à salinidade no Perímetro Irrigado de Custódia em função do tempo. **Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental**,

v. 18, p. 86–91, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsuppS86-S91> Acesso em: 17 de julho de 2023.

GHANE, Ehsan et al. Knitted-sock geotextile envelopes increase drain inflow in subsurface drainage systems. **Agricultural Water Management**, v, 274, p. 12. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107939> Acesso em: 10 de junho de 2023.

GERARD, C. J.; MEHTA, H. C.; HINOJOSA, E. Root growth in a clay soil. **Soil Science**, v. 114, n. 1, p. 37-49, 1972. Disponível em: https://journals.lww.com/soilsci/citation/1972/07000/root_growth_in_a_clay_soil.7.aspx Acesso em: 30 de julho de 2023.

GHEYI Hans Raj. et al. Manejo e recuperação de solos afetados por sais: avaliação geral e experiências no semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 53, e 20217917, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220058> Acesso em: 19 de junho de 2023.

GOICOCHEA, Ríos Antonio Javier. **Engenharia de drenagem**. Universidad Nacional Agraria La Molina. ISBN: N° 978-612-4147-05-0. Primera Edición, p. 161 Janeiro de 2012. Disponível em: <https://www.fondoeditorialunalm.com/wp-content/uploads/2020/09/INGENIERIA-DE-DRENAJE.pdf> Acesso em: 25 de agosto de 2023.

GOMES, Maryjane Diniz de Araújo. et al. Sustainability of organic and conventional irrigated systems based on family farming. *Irriga*, v. 1, n. 1, p. 14–29, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v1n1p14-29. Disponível em: <https://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4237> Acesso em: 24 de julho de 2023.

HOLANDA José S. et al. Qualidade da água para irrigação. *In*: GHEYI Hans Raj; DIAS Nildo da Silva; LACERDA Claudivan Feitosa de; FILHO Enéas Gomes **Manejo da salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados 2.ed.** Fortaleza, Ceará. INCTSal. 504p. ISBN: 978-85-420-0948-4 p. 60 – 75. 2016.

HOYOS Aguilar Josue Wilder Moises. **Projeto de um sistema de drenagem na fazenda San Juan. Distrito de Chao, província de Viru, La Libertad, Peru**. Orientador: Carlos Alberto Cabanillas Agreda. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Agropecuarias. 2019. Disponível em: <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12378> Acesso em: 26 de agosto de 2023.

LIBARDI Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP. Vol. 61. 2005.

LIBARDI Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: EDUSP, 2015.

LIMA, Glauênia Peixoto. **A produção do território no perímetro irrigado Curu Pentecoste – Ceara (Brasil)**. Orientador: Daniel Rodriguez de Carvalho Pinheiro 2005. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Geografia). Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnología. p. 183, 2005. Disponível em: https://www.uece.br/posla/wpcontent/uploads/sites/60/2009/10/glaudenia_peixoto_dissertacao1.pdf Acesso em: 20 de julho de 2023.

LEITE Egeiza Moreira. et al. Redução da sodicidade em solo irrigado com a utilização de ácido sulfúrico e gesso agrícola. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 110-116, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufersa.edu.br/caatinga/article/view/1419> Acesso em: 3 de junho de 2023.

LOPES da Silva Sonia Maria; DE OLIVEIRA Batista Neto Manoel. Neossolos Flúvicos. **Revista EMBRAPA Solos**. Brazilian Agricultural Research Corporation. 2021, Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana/caracteristicas-do-territorio/recursos-naturais/solos/neossolos-fluvicos> Acesso em: 24 de agosto de 2023.

MACHADO Ralph. Medida provisória aumenta salário mínimo para R\$ 1.320 a partir de maio. Edição – Rachel Librelon, **Agência Câmara de Notícias**, 2023. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/957339-medida-provisoria-aumenta-salario-minimo-para-r-1-320-a-partir-de-maio/> Acesso em: 2 de novembro de 2023.

MADEREIROS, Josinaldo Xavier de. **Desempenho de sistemas drenantes para fins agrícolas. Campina Grande, Paraíba. (Brasil)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Campina Grande. 2004. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/9837> Acesso em: 17 de agosto de 2023.

MARINHO Francisco José Loureiro, et al. Cultivo de coco 'Anão Verde' irrigado com águas salinas. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Irrigação e Drenagem, 41(8):1277–84. agosto 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/mDqGkCmfHpJxRh5Kjs5mh4B/?lang=pt#> Acesso em: 12 de novembro de 2023.

MELO, Osé Geraldo de. et al. Aspectos hidrogeoquímicos e classes de água do aquífero Cárstico Jandaíra para irrigação, Baraúna, RN. **Revista Águas subterrâneas**, v. 21, n. 1, p. 9-21, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/ras.v21i1.16161> Acesso em: 1 de abril de 2023.

MILLAR, A.A. **Drenagem de terras agrícolas: bases agronômicas**. São Paulo: Editerra Editorial Ltda., 1988. 303 p.

MIRANDA, Fábio Rodrigues de. et al. Produção do coqueiro anão-verde irrigado na região Litorânea do Ceará: características dos frutos. **Relatório Congresso Brasileiro de Fruticultura**. - Centro de Convenções – Vitória/ES.2008. *E-book*. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/16117/producao-do-coqueiro-anao-verde-irrigado-na-regiao-litoranea-do-ceara-caracteristicas-dos-frutos> Acesso em: 10 de novembro de 2023.

MOTA, Jaedson Cláudio Anunciato, et al. Impactos de uso e manejo do solo na variabilidade e qualidade de atributos físicos de Cambissolos. **Revista Agro@ mbiente on-line**, v. 11, no 4, p. 277-289, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v11i4.4040> Acesso em: 2 de maio de 2023.

NASCIMENTO Da Silva Evandro. et al. Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-mansô sob diferentes níveis de salinidade. Universidade Federal do Ceará, Brasil. *Revista Ciência Agrônômica*, ISSN 1806-6690, v. 40, n. 2, pp. 240-246, abril-junio, 2009. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195318233011> Acesso em: 19 de agosto de 2023.

NYLE, C. B.; RAY, R. W. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3ª ed. Brasília, DF: Livro, 2013.

NÚÑEZ Tablada Ramón. et al. Estudio de la resistencia de penetración de un suelo Vertisol con el uso del penetrómetro de impacto en la localidad de "Antonio Maceo". *Cacocum. Holguín. Cuba*". **Ciencias Holguín**, v. XVI, n. 2, pp.1-9, 2010, Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181517926017> Acesso em: 12 de julho de 2023.

OTTONI FILHO, Theophilo Benedicto. et al. **Uma variação do enunciado de capacidade de campo (CC): II uso de dados de drenagem em infiltrômetros de anel para determinar CC**. 2007. Disponível em: http://rigeo.cprm.gov.br/bitstream/doc/17741/1/ottonifilho_variacao_cbcs2007.pdf Acesso em: 7 de maio de 2023.

PAIVA Pedro V. V. et al. Added value and profitability in irrigated production in alluvial aquifer: financing scenarios. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 3, p. 630–638, ISSN 1983-2125, 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252023v36n316rc> Acesso em: 19 de junho de 2023.

PARRON Lucilia Maria; MUNIZ Daphne Heloisa de e PEREIRA Freitas Claudia Mara. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. Colombo - PR. Embrapa Florestas, ISSN 1980-3958; 219, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf> Acesso em: 12 de agosto de 2023.

PASCHOALIN Filho, João Alexandre; de LIMA David Willian Construção de protótipo para estudo de drenagem em solos arenosos **Exacta**, Universidade Nove de Julho São Paulo, Brasil, v. 5, n. 2, p. 259-265, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/810/81050207.pdf> Acesso em: 13 de julho de 2023.

PEDROSO Maria Thereza Macedo. A agricultura familiar no Brasil. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 125–125, jan. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0102-0562014000100022> Acesso em: 10 de junho de 2023.

PEDROTTI Alceu et al. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. Santa Maria, v. 19, n. 2, p. 1308- 1324. 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5902/2236117016544> Acesso em: 8 de julho de 2023.

PINTO, Caio Sampaio et al. Technical and economic indicators of papaya crops for the production factors water and organic compost. **Revista Caatinga**, v. 36, no 2, p. 390-401 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1983-21252023v36n216rc> Acesso em: 5 de novembro de 2023.

PINHO Diva Benevides, DE VASCONCELLOS Marco Antonio S., TONETO Rudinei Jr.

Manual de economia, ed, 7, ISBN 978-85-472-2029-7, 17-0825 CDD 330 Sao Paulo: Saraiva, E-book. 2017.

PIZARRO, F. C. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Fortaleza: MINTER/SUDENE/DNOCS, 1976; Madrid: Agricola Española, 1985.

PONTES, Andrezza Graziella Veríssimo et al. Os perímetros irrigados como estratégia geopolítica para o desenvolvimento do semiárido e suas implicações à saúde, ao trabalho e ao ambiente. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 18, p. 3213-3222, 2013. Disponível em: https://www.scielo.org/article/ssm/content/raw/?resource_ssm_path=/media/assets/csc/v18n11/12.pdf Acesso em: 18 de junho de 2023.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington: USDA, p.160. Handbook, 60. 1954

RIBEIRO Patrícia Roque Lemos et al. Efeito dos sais e da qualidade da água no solo e na planta. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.35512/ras.v1i1.164013> Acesso em: 28 de maio de 2023.

RÍOS, Danny; ESTIGARRIBIA, Arturo. Descompactación biológica, una alternativa de solución a la compactación del suelo. **Revista de Investigación Científica y Tecnológica**, v. 2, no 2, p. 73-83. 2018. Disponível em: <https://revista.serrana.edu.py/index.php/rict/article/download/38/28> Acesso em: 2 de novembro de 2023.

RODRIGUES, Joseilson Oliveira et al. Equações de intensidade-duração frequência de chuvas para as localidades de Fortaleza e Pentecoste, Ceará. **Scientia Agraria**, v. 9, n. 4, p. 511-520, 2008. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2906145> Acesso em: 22 de julho de 2023.

ROLLEMBERG, Fontes Humberto; SANTOS Ferreira Maria Joana. **A cultura do coqueiro**. 1ª. ed. Brasília, DF. 108 p. 2006. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/11907/2/00078970.pdf> Acesso em: 12 de junho de 2023.

ROLLEMBERG, Fontes Humberto et al. Cultivo de coco. **Revista campo y negócios**, Brasil. 2021. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/cultivo-de-coco/> Acesso em: 2 de novembro de 2023.

SANTIAGO Daiane Alves Rodrigues et al. **Economia agrícola**. Londrina, Paraná- Brasil. Ed. Educacional S.A., 2017. 200 p. Disponível em: http://cm-klf-content.s3.amazonaws.com/LIVROS_UNOPAR_AEDU/Economia%20Agr%C3%ADcola.pdf Acesso em: 5 de agosto de 2023.

SILVA, Rodrigo Rogerio Cerqueira da; DOS SANTOS MACIEL, Marcos Maciel. Análise das técnicas de rebaixamento de lençol freático aplicado em solos sedimentares. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 15, n. 1, 2023. Disponível em: <https://orcid.org/0000-0002-7928-9462> Acesso em: 2 de setembro de 2023.

SILVA NETO, B. Objetivos e Aspectos Metodológicos dos Estudos Municipais. *In*: SILVA NETO, B.; BASSO, D. (Org.). **Sistemas agrários do Rio Grande do Sul: Análise e recomendações políticas**. Ijuí: Unijuí, p. 159-163, 2005.

SILVEIRA, Renata Nayara Câmara Miranda. **As águas subterrâneas do perímetro irrigado Curu – Pentecoste, Ceara – geometria aquífera, qualidade e disponibilidade hídrica a irrigação. (Brasil)**. Orientador: Itabaraci Nazareno Cavalcante 2020. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará. 113 p. 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/53820> Acesso em: 3 de junho de 2023.

SOARES, Osvaldo Hélio Dantas. **Monitoramento do processo de recuperação de um solo aluvial sódico em condições de drenagem subterrânea**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1996.

SUAREZ, Guillermo José. **Manual de irrigação e drenagem**. Instituto Colombiano agropecuario (ICA). Disciplinas agrícolas, Programa de manejo de águas. Bogotá – Colombia. 1986. *E-book*. Disponível em: <https://library.co/document/zx52lpwq-manual-de-riego-y-drenaje.html> Acesso em: 8 de julho de 2023.

SOUSA, Carlos Henrique Carvalho de. **Uso integrado de práticas de manejo na recuperação de um solo salino-sódico cultivado com coqueiro (Brasil)**. 2012. (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/18887/1/2012_tese_chcsousa.pdf Acesso em: 22 julho 2023.

SOUZA Dérica Barreto et al. Determinação Da Velocidade Infiltração Básica (VIB), Sob O Método De Infiltrômetro De Anéis Concêntricos Em Diferentes Tipos De Solo Na Região Oeste Da Bahia. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. ed.12, v. 04, pp. 170-193 dezembro de 2018. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-agricola/determinacao-da-velocidade> Acesso em: 10 de agosto de 2023.

STEFANOSKI D. C. et al. Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 12, p. 1301–1309, dez. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200008> Acesso em: 17 de julho de 2023.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendações para uso de penetrômetro de impacto, modelo IAA/Planalsucar- Stolf**. São Paulo, MIC/IAA/PNMC - Planalsucar, p. 8, 1983. Série Penetrômetro de Impacto, BT1

STOLF R. **Penetrômetro de Impacto Stolf**- programa de manipulação de dados em Excel-VBA. UFSCar, 2011.

TAVARES-SILVA, Carolina Amaral; CEZAR, Thais Cesar Mariotto; NÓBREGA, Lúcia Helena Pereira. Porosidade de latossolos e práticas de manejo agrícola visando conservação do solo. **Varia Scientia Agrárias**, v. 2, n 2, p. 153-164. 2012. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/variascientiaagraria/article/download/4087/5054> Acesso em: 2 de novembro de 2023.

TEIXEIRA Luiz Antonio Junqueira et al. Adubação com NPK em coqueiro anão-verde (Cocos nucifera L.): atributos químicos do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira De Fruticultura**, v. 27, n. 1, p. 115–119, abr. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452005000100031> Acesso em: 18 de julho de 2023.

TERRONES Cordero Aníbal e SÁNCHEZ Torres, Yolanda. Análise da rentabilidade econômica da produção de tomate em estufa em acaxochitlán, Hidalgo. **Revista Mexicana de Agronegocios**, v. 29, pp. 752-761, 2011. ISSN: 1405-9282. 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=14119052013> Acesso em: 20 de junho de 2023.

THOMÉ Henrique Marsaro et al. Physical properties of Latossolo Vermelho after maize and cover crop cultivated in monoculture or consortium. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e39210917493, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i9.17493. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/17493>. Acesso em: 6 de junho de 2023.

TREJO, Z. M.; ROJAS, S. H. Modelación numérica de un experimento de drenaje agrícola subterráneo: Numerical modeling of an agricultural subsurface drainage experiment. **Revista South Florida Journal of Development**, v. 3, n. 4, p. 5505-5514, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.46932/sfjdv3n4-113> Acesso em: 26 de julho de 2023.

VAN BEERS, W.F.J. Some nomographs for the calculation of drain spacings. Bull. 8, Int. Inst. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. pp.48. 1965.

VASCONCELOS Ricardo R.A de. et al. Características físicas de solos salino-sódicos do semiárido pernambucano em função de diferentes níveis de gesso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Pernambuco, v. 17, n.12, p. 1318-1325, dezembro, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013001200010> Acesso em: 21 de novembro de 2023.

VAZ Carlos Manoel Pedro et al. Influência da umidade na resistência do solo medida com penetrômetro de impacto. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Comunicado Técnico. São Carlos SP. n 51, P. 5. ISSN1517-4786 2002. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/28447/1/CT512002.pdf> Acesso em: 29 de junho de 2023.

VÁZQUEZ, Marco Antonio González. A importância da engenharia de irrigação e drenagem no uso sustentável da água em distritos de irrigação. **Congresso Nacional de Irrigação, Drenagem e Biosistemas. Artigo COMEII-2023**, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP). Teziutlán, Puebla, México. 23 - 26 de novembro de 2022.

WADT Paulo Guilherme Salvador, et al. **Práticas de conservação do solo e recuperação de áreas degradadas**. ISSN 0104-9046, dezembro 2003. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/498802/1/doc90.pdf> Acesso em: 1 de maio de 2023.

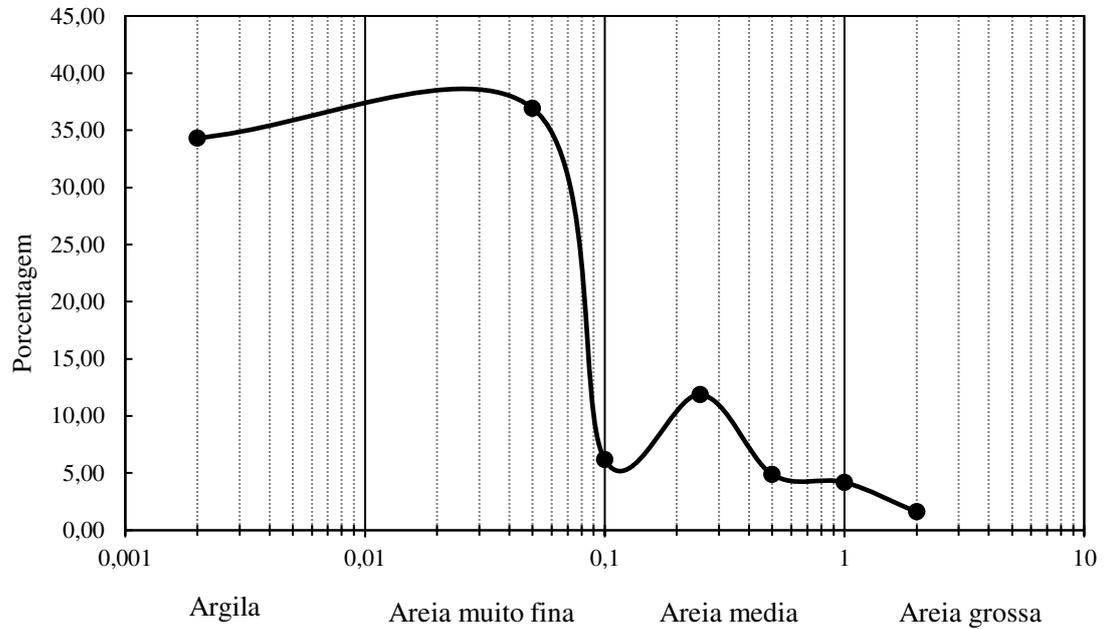
APÊNDICE A – COORDENADAS DOS POÇOS DE OBSERVAÇÃO

Poço	Coordenadas		
	x	y	z
A1	460735,8	9576068,5	100,00
A2	460724,2	9576065,8	100,02
A3	460714,0	9576066,3	100,00
A4	460703,0	9576063,8	99,75
B1	460739,2	9576061,3	99,95
B2	460728,3	9576058,7	99,87
B3	460717,3	9576058,1	99,91
B4	460706,1	9576055,8	99,97
C1	460740,6	9576053,2	99,97
C2	460731,1	9576050,9	99,90
C3	460720,9	9576049,3	99,97
C4	460711,0	9576047,2	100,06
D1	460739,7	9576045,0	99,81
D2	460730,6	9576042,8	100,00
D3	460720,9	9576040,5	100,05
D4	460712,4	9576038,3	99,93
E1	460736,1	9576036,1	99,90
E2	460728,1	9576034,1	99,98
E3	460720,1	9576031,1	100,04
E4	460712,1	9576029,0	100,13
F1	460735,6	9576027,3	99,93
F2	460727,4	9576030,6	100,01
F3	460719,3	9576023,0	99,93
F4	460711,5	9576021,2	99,89
G1	460730,5	9576023,0	99,86
G2	460722,5	9576023,4	99,95
G3	460715,0	9576014,7	100,07
G4	460710,4	9576015,2	99,82
H1	460729,7	9576015,4	99,76
H2	460721,9	9576015,6	99,86
H3	460715,9	9576007,5	99,80
H4	460707,1	9576007,8	99,89
I1	460728,1	9576008,2	99,85
I2	460719,5	9576000,4	99,87
I3	460711,8	9576015,41	99,83
I4	460703,2	9576015,64	100,01
J1	460724,9	9576007,47	99,81
J2	460716,5	9576007,85	99,90
J3	460708,3	9576008,20	99,97
K1	460720,7	9576000,44	99,75

Fonte: Elaborada pela autora.

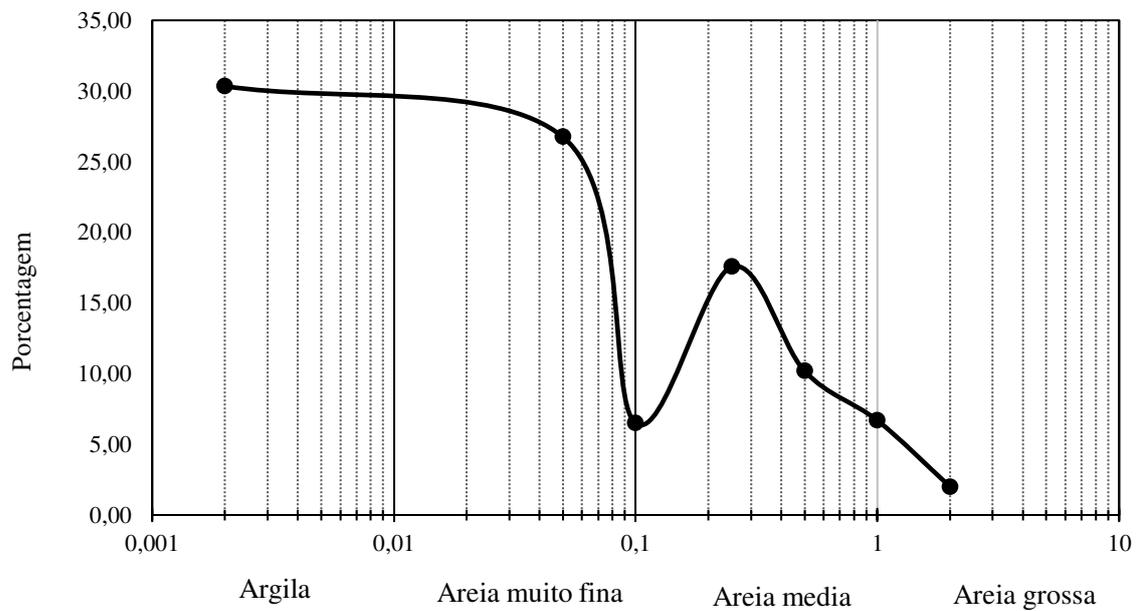
APÊNDICE B – PROPORÇÕES DE TAMANHO DE PARTÍCULAS NAS AMOSTRAS DO SOLO

Profundidade de 0 – 0,30 m



Fonte: Elaborada pela autora.

Profundidade de 0,30 – 0,60 m



Fonte: Elaborada pela autora

APÊNDICE C – ATRIBUTOS DA FERTILIDADE DO SOLO

Tabela 16 – Atributos da fertilidade do solo 2023.

Atributos	Unidade	Valores
P ⁺	mg dm ⁻³	10
K ⁺	mg dm ⁻³	115
Ca ²⁺ + Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	18,30
Ca ²⁺	cmol _c dm ⁻³	8,40
Mg ²⁺	cmol _c dm ⁻³	9,90
H ⁺ Al ³⁺	cmol _c dm ⁻³	0,00
Na ⁺	cmol _c dm ⁻³	473
pH em água		7,8
M.O.	g kg ⁻¹	0,00
CE _{1:1}	dS m ⁻¹	0,47

Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE D – DADOS E CÁLCULOS REALIZADOS PARA OBTENÇÃO DA RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DO SOLO

Tabela 17 – Resistência à penetração (início da área)

Entrada dados			Resistência		
Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos / dm	kgf / cm ²	MPa
1	2	2	5,88	9,31	0,91
5	10	8	6,17	9,70	0,95
5	18	8	6,10	9,60	0,94
5	25	7	7,14	11,00	1,08
5	28	3	16,67	23,81	2,34
5	32	4	12,50	18,21	1,79

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 18 – Resistência à penetração (parte central da área)

Entrada dados			Resistência		
Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos / dm	kgf / cm ²	MPa
1	2	2	6,67	10,36	1,02
5	10	9	5,88	9,31	0,91
5	17	7	7,14	11,00	1,08
5	24	7	6,94	10,74	1,05
5	30	6	8,62	12,99	1,27
5	33	3	16,67	23,81	2,34
5	36	3	16,67	23,81	2,34

Fonte: Elaborada pela autora

Tabela 19 – Resistência à penetração (final da área)

Entrada dados			Resistência		
Impactos	Profundidade (cm)	Penetração (cm)	Impactos / dm	kgf / cm ²	MPa
1	1	1	10,00	14,85	1,46
5	10	9	5,56	8,87	0,87
5	17	7	7,14	11,00	1,08
5	23	6	8,33	12,61	1,24
5	26	3	16,67	23,81	2,34
5	30	4	12,50	18,21	1,79
5	34	4	14,29	20,61	2,02
5	38	4	12,50	18,21	1,79

Fonte: Elaborada pela autora

APÊNDICE E – FOTOGRAFIAS DA ÁREA DE PRODUÇÃO

Figura 18 – Cultura do coqueiro no ano 2009, Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Sousa (2012).

Figura 19 – Fotografia da área de produção 2023 no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE F – FOTOGRAFIAS DA PESQUISA

Figura 20 – Leitura do lençol freático na área de produção no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 21 – Poços de observação colmatados e substituídos, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE G – FOTOGRAFIAS DO FUNCIONAMENTO DA DRENAGEM SUBTERRÂNEA

Figura 22 – Drenagem da água pelo dreno lateral F, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 23 – Drenagem da água pelo dreno lateral B, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

APÊNDICE H – FOTOGRAFIAS DA PRODUÇÃO DO COQUEIRO ANÃO VERDE

Figura 24 – Colheita dos frutos do coqueiro anão verde, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



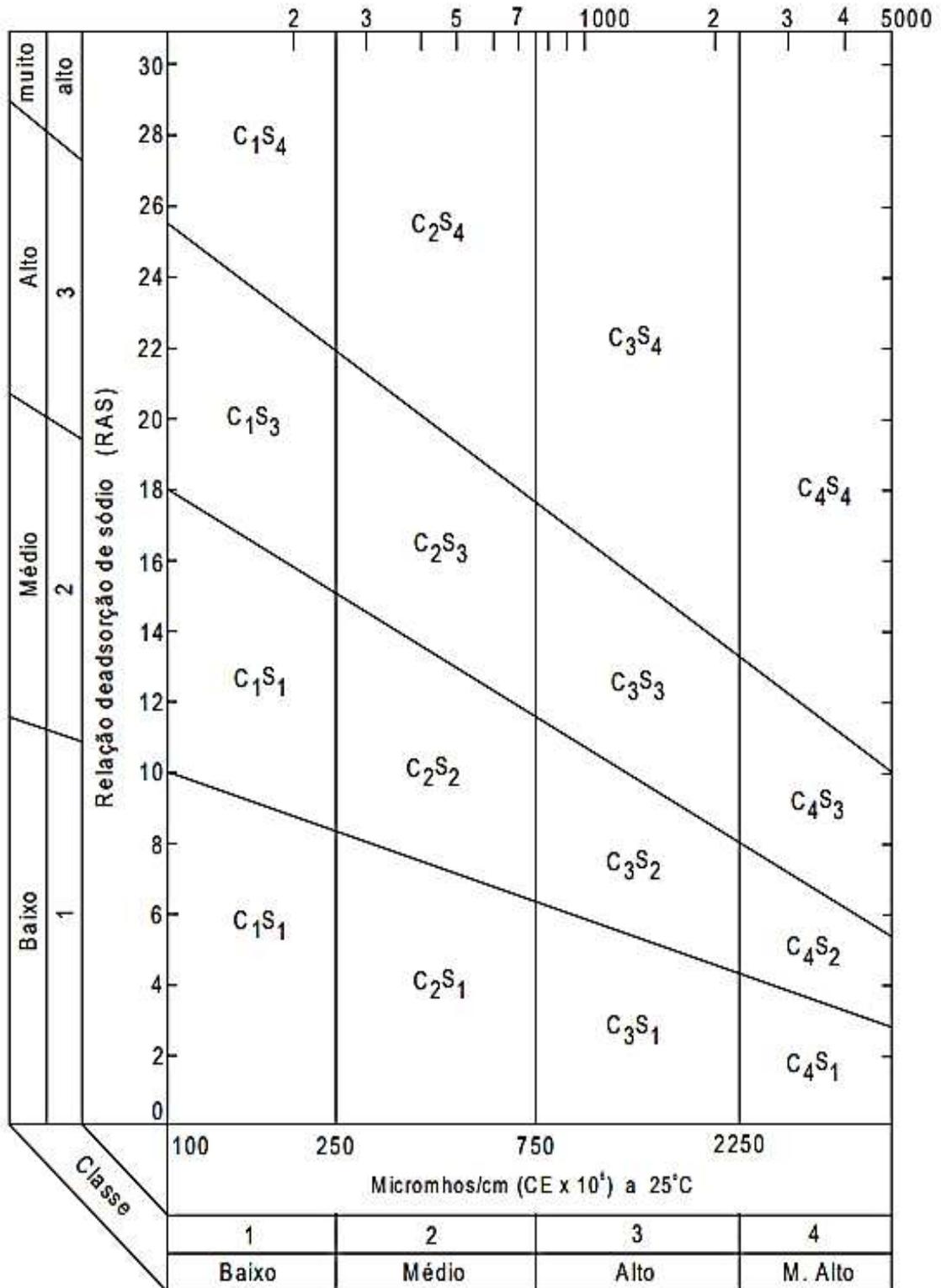
Fonte: Elaborada pela autora.

Figura 25 – Contabilização dos frutos de coco, no Projeto de Irrigação Curu – Pentecoste, Ceará



Fonte: Elaborada pela autora.

ANEXO A – DIAGRAMA PARA CLASSIFICAÇÃO DE ÁGUAS PARA IRRIGAÇÃO



Fonte: Richards, 1954

ANEXO B – TABELAS PARA CÁLCULO DO ENVELOPE

Tabela 20 – Valor de D₆₀ recomendado para o envelope em função do D₆₀ estimado para o solo.

Faixa de D ₆₀ do solo (mm)	D ₆₀ do envelope	
	Valor mínimo (mm)	Valor máximo (mm)
0,02 a 0,05	2	10
0,05 a 0,10	3	12
0,10 a 0,25	4	15
0,25 a 1,00	5	20

Fonte: Schilfgaarde, (1974) *apud* Duarte *et al.*, (2015).

Tabela 21– Faixa de diâmetro dos materiais possíveis de serem utilizados como envelope, fornecida por empresa que comercializa materiais de construção.

Material	Faixa de diâmetro englobado (mm)
Areia fina	0,075 a 0,18
Areia média	0,18 a 0,42
Areia grossa	0,42 a 2,00
Brita zero zero	5 a 8
Brita zero	8 a 12,5
Brita um fina	12,5 a 22
Brita um grossa	12,5 a 25
Brita dois	22 a 32

Fonte: Duarte *et al.*, (2015).