



FACULDADE DE AGRONOMIA E ENGENHARIA FLORESTAL

Departamento de Engenharia Rural

Secção de Uso de Terra e Água

Licenciatura em Engenharia Agronómica

Projecto Final

**Problemática da drenagem na produção de hortícolas nos campos
da Associação de Produtores Joaquim Chissano, distrito municipal
Kamavota, na Cidade de Maputo.**



Autora:

Adma Nayara Luciano David

Supervisor:

Paiva Munguambe, MSc

Maputo, Maio de 2025

Declaração de Honra

Declaro, por minha honra, que este trabalho de culminação de curso é da minha exclusiva autoria e que nunca foi submetido, no todo ou em parte, nesta ou a qualquer outra instituição para obtenção de um grau académico. Assevero que o presente trabalho resulta de investigação própria, incluindo observações de campo, análises laboratoriais, pesquisa individual e orientação do meu supervisor. O seu conteúdo é original, e todas as fontes consultadas estão devidamente referenciadas no corpo do texto e na bibliografia final.

Adma Nayara Luciano David

_____ Data: ____/____/2025

Declaro, para os devidos efeitos, que o presente trabalho de culminação de curso foi elaborado pela candidata sob minha orientação, no cumprimento das exigências académicas previstas.

Mestre Paiva Munguambe (MSc)

Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal,
Universidade Eduardo Mondlane

_____ Data: ____/____/2025

Maputo, 2025

**Problemática da Drenagem na Produção de Hortícolas nos Campos da
Associação de Produtores Joaquim Chissano, Distrito Municipal Kamavota,
na Cidade de Maputo.**

Trabalho de culminação do curso submetido ao departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de licenciatura em Engenharia Agronómica, sob a supervisão do Mestre Paiva Munguambe.

RESUMO

O sistema de drenagem implementado antes da independência nos campos agrícolas da Associação de Produtores Joaquim Chissano (APJC) foi concebido com o objectivo de controlar o nível do lençol freático e facilitar a actividade agrícola. Actualmente, o seu funcionamento encontra-se comprometido por diversos factores, que têm gerado impactos negativos como o abandono de áreas produtivas, dificuldades de acesso ao mercado, perdas agrícolas e riscos para a saúde pública. Este estudo teve como objectivo analisar os desafios associados ao sistema de drenagem da APJC e propor medidas de melhoria que garantam o seu funcionamento eficiente ao longo de todo o ano agrícola. A recolha de dados foi realizada por meio de observações directas e entrevistas com a direcção da associação. A área de estudo foi dividida em três zonas (Zonas 1, 2 e 3), nas quais se efectuaram a recolha de amostras de solo, o monitoramento do nível freático e a realização de ensaios de campo: permeabilidade (método *auger hole*), infiltração (método *de duplo anel*) e avaliação da qualidade da água de irrigação. As observações e entrevistas confirmaram a presença dos principais componentes do sistema de drenagem, tal como descrito na literatura técnica, embora com gestão deficiente. A análise textural classificou as Zonas 2 e 3 como franco arenoso e a Zona 1 como areia franca. O nível freático situou-se entre 12 e 75 cm de profundidade, frequentemente próximo à zona radicular. A permeabilidade do solo variou entre moderada e moderadamente elevada, enquanto a velocidade de infiltração básica oscilou entre baixa e média. A qualidade da água de irrigação apresentou condutividade eléctrica (CE) de Classe 3, indicando alto risco de salinização, e um pH com acidez próxima à neutralidade. Com base nestes resultados, foram propostas medidas técnico-administrativas sustentáveis e de baixo custo para a reabilitação e manutenção eficiente do sistema de drenagem.

Palavras-chave: drenagem, lençol freático, comportamento hidráulico, Associação de Produtores Joaquim Chissano.

ABSTRACT

The drainage system implemented before independence in the agricultural fields of the Joaquim Chissano Producers Association (APJC) was originally designed to control the water table and support agricultural activities. However, its current performance is compromised by several factors, leading to negative impacts such as the abandonment of productive areas, reduced market access, crop losses, and public health risks. This study aimed to analyse the challenges related to the APJC drainage system and to propose technical and administrative measures to ensure its effective year-round operation. Data were collected through direct field observations and interviews with the association's management. The study area was divided into three zones (Zones 1, 2, and 3), where soil samples were collected, groundwater levels were monitored, and field tests were conducted, including permeability tests (*auger hole* method), infiltration tests (*double ring* method), and assessment of irrigation water quality. The findings confirmed the presence of the key components of a standard drainage system, as described in technical literature, but also revealed a deficient management structure. Textural analysis classified Zones 2 and 3 as sandy loam and Zone 1 as loamy sand. The water table was found at depths ranging from 12 to 75 cm, often within the root zone. Soil permeability ranged from moderate to moderately high, while the basic infiltration rate varied from low to medium. Water quality analysis showed electrical conductivity (EC) values corresponding to Class 3, indicating a high risk of salinisation, and pH values close to neutrality. Based on these results, sustainable and low-cost technical-administrative measures were proposed for the rehabilitation and improved maintenance of the drainage system.

Keywords: drainage, water table, hydraulic performance, Joaquim Chissano Producers Association.

DEDICATÓRIA

As mulheres da minha vida: Zaituna Kala, Sarifa Dengue, Rossana Kala e ao meu pai Roberto David, palavras não tenho para vos descrever, apenas dizer,

Muito Obrigada.

Aos meus irmãos, Látika Lair, Hagira Amino, Yassin Ussene e Amina Rossana, que sempre acompanharam a minha trajectória académica, tornando os meus dias mais leves.

A vós dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Allah o compassivo e misericordioso, que permitiu que meus objectivos fossem alcançados, por ter me concedido saúde e determinação durante todos os meus anos de estudo. *“Certamente, com a adversidade está a facilidade.” (94:6 Quran)*

Aos meus pais, irmãos e familiares, por serem o meu pilar nos meus momentos de fraqueza, por celebrarem as minhas pequenas conquistas e principalmente pela paciência, sacrifícios e por cada sorriso e abraço silencioso de encorajamento. O vosso amor me impulsionou a continuar e por isso serei eternamente grata.

Ao meu supervisor Paiva Munguambe, pois, sua paciência, ensinamentos, orientação, dedicação e sugestões tornaram possível a realização deste trabalho. Serei infinitamente grata, por estar comigo em cada etapa deste processo, por me mostrar que com dedicação, esforço e fé, é possível realizar qualquer objectivo que traçamos.

À Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal da Universidade Eduardo Mondlane (UEM) pelo privilégio de fazer parte desta instituição, e a todos os docentes que contribuíram para minha formação académica. Em especial ao Sr. Betuel Sigauque, aos docentes Sebastião Famba e Artur Madal, Sr. Edy Mulhovo e a dona Ernestina, pela facilidade na disponibilização do material, treinamento para a montagem dos ensaios e colecta de dados, ao Sr. Mário Cuna e a todos outros os produtores da APJC que se disponibilizaram a ajudar na realização da pesquisa na área de produção.

Aos meus amigos, Alexssandra Mutondo, Célio Amorim, Esperança Cossa, Halima Dalsuco, Humeid Bică, Úrsula Dos Santos, por me apoiarem ao longo deste caminho e principalmente por me proporcionarem momentos de alegria e diversão. Aos colegas do curso de Engenharia Agronómica da turma de 2019 e a tantos outros da FAEF que contribuíram directa ou indirectamente para a minha formação académica.

Muito obrigada, a todos vocês.

ÍNDICE

RESUMO	i
DEDICATÓRIA.....	iii
AGRADECIMENTOS	iv
I. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Problema de estudo e justificativa	2
1.3. Objectivos	4
1.3.1. Geral	4
1.3.2. Específicos.....	4
1.4. Pergunta de investigação	4
1.5. Estrutura do Projecto Final	5
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	6
2.1. Aspectos gerais sobre a drenagem agrícola.....	6
2.1.1. Conceitos e objectivos da drenagem agrícola.....	6
2.1.2. Tipos de drenagem agrícola.....	6
2.1.3. Benefícios da drenagem para a produção.....	6
2.2. Componentes do sistema de drenagem.....	7
2.3. Factores que influenciam o sistema de drenagem	8
2.3.1. Textura do solo	8
2.3.2. Lençol freático.....	9
2.3.3. Permeabilidade do solo.....	10
2.3.4. Capacidade de infiltração	11
2.4. Qualidade da água para irrigação.....	12
2.4.1. Condutividade eléctrica da água e salinidade.....	12
2.4.2. Potencial hidrogeniónico	14

2.5.	Profundidade do lençol freático e sua influência na produção agrícola	14
III.	METODOLOGIA.....	16
3.1.	Descrição da área de estudo.....	16
3.2.	Métodos de colecta de dados	17
3.2.1.	Método qualitativo.....	18
3.2.2.	Método quantitativo.....	18
3.3.	Técnicas de análise dos dados.....	18
3.3.1.	Análise qualitativa	18
3.3.2.	Análise quantitativa	18
3.4.	Análises físico-hidrológicas: do solo e lençol freático	19
3.4.1.	Classificação textural do solo	19
3.4.2.	Profundidade do lençol freático.....	19
3.5.	Propriedades hidráulicas do solo	20
3.5.1.	Permeabilidade do solo.....	21
3.5.2.	Infiltração da água no solo.....	22
3.6.	Atributos químicos da água	23
IV.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1.	Caracterização do sistema de drenagem nos campos da APJC	25
4.1.1.	Componentes do sistema de drenagem.....	25
4.1.2.	Responsabilidades e gestão	26
4.1.3.	Gestão de riscos de alagamento.....	28
4.2.	Análises do solo	28
4.2.1.	Classificação textural e homogeneidade do solo.....	28
4.3.	Profundidade do lençol freático: Análise integrada com a textura do solo e topografia local	31
4.3.1.	Propriedades hidráulicas do solo: Implicações para a gestão hídrica e produtiva...	33

4.3.2. Permeabilidade do solo.....	34
4.3.3. Infiltração da água no solo.....	34
4.3.4. Integração dos resultados: Análise comparativa e estratégica por zona.....	36
4.4. Atributos químicos da água de rega.....	37
4.5. Proposta de medidas técnico-administrativas para o melhoramento do sistema de drenagem da APJC	39
V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	42
5.1. Conclusões	42
5.2. Recomendações	43
5.3. Limitações metodológicas	43
VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA	51
APÊNDICE B: MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA DIVISÃO DA ÁREA DE ESTUDO	52
APÊNDICE C: DADOS DA PERMEABILIDADE	53
APÊNDICE D: DADOS E CÁLCULOS REALIZADOS PARA OBTENÇÃO DA VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO	54
APÊNDICE E: COORDENADAS DE AMOSTRAGEM DA ÁGUA	56
ANEXOS	57

Lista de Tabelas

Tabela 1: Intervalos de magnitude de condutividade hidráulica.	10
Tabela 2: Classificação do solo a partir de sua VIB em mm/h.....	12
Tabela 3: Níveis de salinidade da água segundo a sua CE e os tipos de culturas tolerantes.....	13
Tabela 4: Classificação textural do solo nos campos da APJC.	29
Tabela 5: Análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey para os teores areia, argila e limo em diferentes profundidades.	30
Tabela 6: Interpretação agronômica integrada dos resultados da textura e permeabilidade dos campos da APJC.....	33
Tabela 7: Análise comparativa e estratégica por zona.	36
Tabela 8: Propostas técnico-administrativas para o melhoramento do sistema de drenagem da APJC.....	40
Tabela 9: Dados de permeabilidade para zona 1.	53
Tabela 10: Dados de permeabilidade para zona 2.	53
Tabela 11: Dados de permeabilidade para zona 3.	53
Tabela 12: Determinação de infiltração acumulada na zona 1.	54
Tabela 13: Determinação de infiltração acumulada na zona 2.	55
Tabela 14: Determinação de infiltração acumulada na zona 3.	55

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema da distribuição dos componentes de drenagem.	8
Figura 2: Mapa da área de estudo (Campo da APJC).....	16
Figura 3: A) Sonda eléctrica. B) Poço de observação.	20
Figura 4: Determinação da permeabilidade em campo (até quase 2 metros de profundidade) utilizando o método auger hole.	21
Figura 5: Determinação da infiltração da água no solo utilizando o infiltrômetro de duplo anel.	22
Figura 6: Componentes do sistema de drenagem da APJC, no ano de 2024.	25
Figura 7: Condição dos drenos secundários nos campos da APJC, 2024.	27
Figura 8: Condição dos drenos laterais nos campos da APJC, 2024.....	27
Figura 9: Flutuação do lençol freático em 7 dias, no campo da APJC.....	31
Figura 10: Variação temporal da taxa de infiltração acumulada nas 3 zonas.....	35
Figura 11: Valores obtidos de CEa.....	37
Figura 12: Valores obtidos de pH.....	38

Lista de Anexos

Anexo 1: Diagrama triangular utilizado para a classificação textural do solo.	58
Anexo 2: Representação da instalação de um “ <i>Auger Hole</i> ”	58

Lista de Abreviaturas e Siglas

%	Porcentagem
°C	graus Celsius
μS/cm	microSiemens por centímetro
APJC	Associação de Produtores Joaquim Chissano
CEa	Condutividade eléctrica da água
cm	Centímetros
FAEF	Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal
GPS	Sistema de Posicionamento Global
K ₀	Permeabilidade ou condutividade hidráulica
m/dia	Metros por dia
mm/h	Milímetros por hora
ONG	Organização não governamental
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial Hidrogeniónico
PVC	Policloreto de vinilo
s	Segundos
SCS	Serviço de Conservação do Solo
USA	United States of America
ANOVA	Análise de variância
VIB	Velocidade de Infiltração Básica

I. INTRODUÇÃO

1.1. Antecedentes

O aumento populacional global, cuja projecção da Organização das Nações Unidas (ONU) aponta para cerca de 9,6 bilhões de habitantes até 2050, coloca sérios desafios à segurança alimentar mundial. Este cenário exige um aumento significativo da produção de alimentos, tornando imperativa a adopção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis, capazes de responder à crescente procura (United Nations, 2022).

Embora apenas 22% das terras agrícolas mundiais sejam irrigadas, essas áreas são responsáveis por aproximadamente 40% da produção agrícola global. Contudo, menos de 25% dessas zonas irrigadas dispõem de sistemas de drenagem adequados, comprometendo a produtividade e expondo os solos a problemas graves como a salinização e o alagamento (Schultz, Zimmer, & Vlotman, 2007).

Moçambique insere-se nesse panorama global, enfrentando desafios semelhantes, particularmente na sua capital, Maputo. Nas últimas décadas, a cidade registou um crescimento populacional acelerado, impulsionado por dinâmicas migratórias e pela concentração do poder político e administrativo. Esta evolução demográfica intensificou a procura por alimentos, evidenciando a importância estratégica da produção agrícola local como instrumento de combate à pobreza e de promoção da segurança alimentar (Censo, 2007; Muanamoha & Raimundo, 2018).

Neste contexto, a expansão das áreas de cultivo revela-se indispensável. No entanto, uma vasta região localizada a sul do rio Save apresenta um histórico de constrangimentos associados à drenagem deficiente. Quando tais limitações se combinam com a ocorrência de ciclones tropicais e chuvas intensas, fenómenos cada vez mais recorrentes devido às alterações climáticas, observa-se um acúmulo excessivo de água, resultando na saturação do solo e na redução da sua capacidade de infiltração. Esta condição exerce pressão adicional sobre os sistemas de drenagem artificiais, podendo desencadear inundações cíclicas severas e comprometer, de forma significativa, o potencial produtivo das áreas agrícolas (Rodrigues, 2024).

Tendo em conta a necessidade urgente de expandir a produção agrícola, a adopção de técnicas adequadas de drenagem torna-se essencial para mitigar os efeitos negativos das inundações e criar condições propícias ao cultivo. A drenagem, neste contexto, não constitui apenas uma estratégia

para o aumento da produtividade, mas desempenha também um papel determinante na conservação dos recursos edáficos e na gestão sustentável da água, contribuindo para o desenvolvimento de sistemas de produção agrícola mais eficientes, resilientes e ambientalmente sustentáveis (Ritzema, 2006; Costa, 2008).

O presente estudo incide sobre a gestão do sistema de drenagem da Associação de Produtores Joaquim Chissano, localizada na zona baixa das Mahotas, na Cidade de Maputo. Pretende-se oferecer uma análise aprofundada da situação actual, sendo os resultados fundamentais para a caracterização do sistema de drenagem existente e a proposição de intervenções que visem maximizar a eficácia da utilização do solo, promovendo uma gestão sustentável e potenciando, assim, o aumento da produção e da produtividade agrícola.

1.2. Problema de estudo e justificativa

As zonas de produção de hortícolas nas baixas das Mahotas e do Vale do Infulene configuram-se como áreas de elevado interesse sócio-económico, destacando-se pelo seu considerável potencial agrícola e pelo papel crucial que desempenham no abastecimento contínuo de produtos frescos para os mercados das cidades de Maputo e Matola. Importa destacar que a exploração agrícola nestas regiões ocorre, predominantemente, em pequenas parcelas familiares (*machambas*), com orientação comercial. O cultivo, de carácter não mecanizado, é realizado ao longo de todo o ano, com destaque para hortícolas como a alface, couve, folha de abóbora, beterraba, cebola, entre outras, sendo viabilizado, em grande parte, pelo uso estratégico das águas subterrâneas (Siteo, 2010).

Num estudo conduzido por Gomes (1986), verificou-se que, antes da independência nacional, a área de produção agrícola na baixa das Mahotas beneficiava-se de um sistema de drenagem de águas subterrâneas e superficiais, concebido com o objectivo de controlar o nível do lençol freático e facilitar a prática da agricultura. Contudo, actualmente, as valas originalmente construídas encontram-se obstruídas, em grande parte, devido ao crescimento descontrolado de vegetação infestante ao longo do curso natural da água.

Diversos factores contribuem para a deterioração do sistema de drenagem, entre os quais se destacam a gestão inadequada do solo e da água, bem como a manutenção deficiente das infraestruturas. Quando associados à erosão e ao alagamento constante, tais factores podem desencadear múltiplas consequências negativas. Singh (2018), identifica entre essas consequências

o abandono de áreas de cultivo, a dificuldade de acesso aos mercados devido à intransitabilidade das vias, a baixa produtividade resultante de inundações ocasionais, a insegurança alimentar decorrente das perdas financeiras por parte dos produtores, e até mesmo impactos na saúde pública, uma vez que as águas estagnadas favorecem a proliferação de doenças. Acrescem ainda os recursos financeiros limitados e a frequência cada vez maior de inundações associado às mudanças climáticas, os quais, de forma cumulativa, contribuem para a modificação das valas e comprometem o funcionamento eficiente do sistema de drenagem, afectando negativamente os níveis de produção e produtividade das culturas.

Perante este cenário, o presente estudo tem como objectivo aprofundar a compreensão das causas subjacentes à problemática da drenagem nos campos de produção da baixa das Mahotas, com particular enfoque na Associação de Produtores Joaquim Chissano. Pretende-se, igualmente, propor melhorias estruturais e operacionais que assegurem o funcionamento eficaz e sustentável do sistema de drenagem de águas subterrâneas e superficiais, de forma a garantir a continuidade da produção de hortícolas e sua disponibilidade nos mercados ao longo de todo o ano.

1.3. Objectivos

1.3.1. Geral

Analisar a problemática do sistema de drenagem nos campos de produção agrícola da Associação de Produtores Joaquim Chissano e propor medidas técnico-administrativas para a sua melhoria e funcionamento ao longo de todo o ano.

1.3.2. Específicos

- a) Caracterizar o sistema de drenagem nos campos de produção agrícola da APJC.
- b) Avaliar a operacionalidade dos componentes do sistema de drenagem da APJC.
- c) Propor medidas técnico-administrativas para melhorar o funcionamento do sistema de drenagem da APJC.

1.4. Pergunta de investigação

Considerando a delimitação do tema e a relevância do problema identificado, desenvolveu-se a seguinte questão de investigação, que se assume como base orientadora deste estudo:

- Quais são os principais factores que comprometem o funcionamento eficaz do sistema de drenagem nos campos agrícolas da APJC?

1.5. Estrutura do Projecto Final

Tendo em conta a relevância da problemática da drenagem agrícola na zona baixa das Mahotas, em especial nos campos da Associação de Produtores Joaquim Chissano, esta dissertação encontra-se estruturada de forma a permitir uma abordagem progressiva e coerente da temática em análise.

O Capítulo I apresenta a introdução ao estudo, descrevendo os antecedentes, o problema de investigação, a justificação da escolha do tema, os objectivos geral e específicos, bem como a pergunta de investigação.

O Capítulo II é dedicado à revisão da literatura relevante, procurando sistematizar os principais conceitos relacionados com a drenagem agrícola, os factores edáficos e hidrológicos que influenciam a eficiência dos sistemas de escoamento, e as implicações da qualidade da água de irrigação para a sustentabilidade da produção.

O Capítulo III descreve a metodologia utilizada na condução do estudo, com destaque para as abordagens técnicas, os instrumentos de recolha de dados e os procedimentos de análise.

No Capítulo IV, apresentam-se os resultados da investigação, acompanhados da respectiva análise e discussão crítica, com base no referencial teórico previamente estabelecido.

Por fim, o Capítulo V sintetiza as principais conclusões do estudo, avançando com recomendações práticas que visam a melhoria do sistema de drenagem e a promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis no contexto da APJC.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais sobre a drenagem agrícola

2.1.1. Conceitos e objectivos da drenagem agrícola

A drenagem agrícola pode ser definida como um conjunto de estratégias técnicas e estruturas hidráulicas destinadas à remoção do excesso de água e de sais presentes no solo. O seu principal objectivo é garantir um ambiente devidamente oxigenado para o desenvolvimento normal das raízes, mantendo proporções equilibradas de água e ar no solo, em conformidade com as exigências fisiológicas das culturas (Gurovich & Oyarce, 2015).

Segundo Ferreira (2001), para além de favorecer o crescimento das plantas, a drenagem agrícola contribui para preservação das propriedades físicas e químicas do solo, aumentando o número anual de dias com condições ideais para a realização das actividades agrícolas.

Quando a drenagem natural se revela insuficiente ou ineficaz, torna-se necessária a implementação de sistemas artificiais de drenagem. Nesse sentido, Salazar (1988) considera que um sistema de drenagem agrícola deve ser analisado com base no equilíbrio entre o aumento da produção que proporciona e os custos associados à sua instalação.

2.1.2. Tipos de drenagem agrícola

De acordo com Mello (2009), a drenagem agrícola pode ser classificada em dois tipos principais: drenagem superficial e drenagem subterrânea.

A drenagem superficial visa remover o excesso de água acumulada à superfície do solo, geralmente resultante de precipitação ou regas excessivas, que não foram eliminadas por evaporação ou infiltração. Por sua vez, a drenagem subterrânea actua em profundidade, tendo como finalidade o rebaixamento do lençol freático e o apoio aos processos de rega, promovendo um melhor equilíbrio hídrico no perfil do solo.

2.1.3. Benefícios da drenagem para a produção

Easton (2016) destaca que a drenagem agrícola é fundamental para a conservação e recuperação do potencial produtivo dos solos, apresentando diversos benefícios, entre os quais se salientam:

a) Aumento da produtividade agrícola

A remoção do excesso de água na zona radicular melhora a aeração do solo, intensifica a actividade microbiana e favorece a sua estruturação. Estes factores, em conjunto, criam um ambiente propício ao desenvolvimento das raízes e à absorção de nutrientes, contribuindo para o aumento da produtividade das culturas.

b) Recuperação de áreas com problemas de salinidade e encharcamento

Em zonas próximas do lençol freático ou sujeitas a sistemas de rega, o excesso de sais no perfil do solo pode provocar toxicidade nas plantas e comprometer a estrutura do solo. A elevação da frente salina até à zona radicular, proveniente de água subterrânea, da rega ou da fertilização, é uma das principais causas destes problemas. Segundo Macedo, De Souza e Morril (2007), as precipitações naturais são insuficientes para eliminar os sais da zona radicular, sendo necessária a implementação de um sistema de drenagem eficaz que estabilize o seu fluxo a longo prazo.

c) Controlo da salinidade

De acordo com Silveira (2016), a drenagem também contribui para o processo de lixiviação dos sais oriundos da água de rega e para o controlo do nível do lençol freático, prevenindo a evaporação excessiva e, conseqüentemente, a deposição de sais à superfície do solo.

De forma geral, pode afirmar-se que a drenagem agrícola, para além de contribuir para a recuperação e conservação dos solos, facilita o aproveitamento sustentável das terras com elevado potencial agrícola. Representa assim, um elemento essencial para assegurar a continuidade da produção de hortícolas, especialmente em áreas com limitações naturais à drenagem, como ocorre nos campos da APJC.

2.2. Componentes do sistema de drenagem

De acordo com Famba (2005), os sistemas de drenagem superficial (Figura 1) são constituídos por uma rede de drenos ou valas com funções específicas, a saber:

- a) Drenos de campo ou laterais** – dispostos paralelamente às parcelas cultivadas, têm como principal função o controlo do nível do lençol freático ou da acumulação de água à superfície.

- b) **Drenos colectores ou secundários** – recolhem a água proveniente dos drenos de campo e encaminham-na para os drenos principais. São, geralmente, posicionados perpendicularmente aos drenos de campo.
- c) **Drenos principais** – asseguram o transporte da água para fora da área abrangida pelo projecto ou perímetro irrigado.

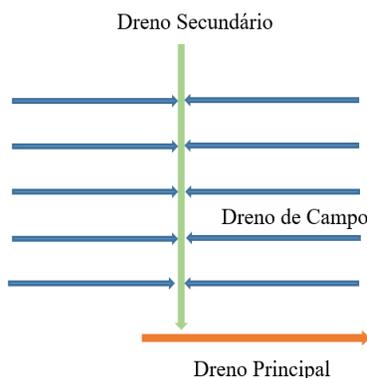


Figura 1: Esquema da distribuição dos componentes de drenagem.

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

2.3. Factores que influenciam o sistema de drenagem

A disposição natural de uma área beneficiada por sistemas de rega ou drenagem pode sofrer alterações ao longo do tempo. Para antecipar as consequências dessas alterações, é necessário considerar cuidadosamente determinados factores associados ao solo e à hidrologia da região.

2.3.1. Textura do solo

A textura do solo influencia significativamente o tipo de tratamento hidráulico a aplicar, estando relacionada com a capacidade de retenção de humidade, a permeabilidade e a preparação da terra. A textura refere-se ao tamanho das partículas e desempenha um papel relevante no desenvolvimento radicular das plantas, influenciando o fornecimento de nutrientes, a condução de ar e retenção de água, classificando-se geralmente em três grupos principais: solo arenoso, argiloso e franco (Cooper, Mazza, Silva, & Oliveira, 2016; Kitamura, 2004).

Segundo Leal (2011), a textura do solo corresponde à proporção relativa presente numa determinada massa seca de solo, definindo-se, assim, pela percentagem de areia (diâmetro entre 0,05 e 2 mm), silte ou limo (diâmetro entre 0,002 e 0,05 mm), e argila (diâmetro inferior a 0,002 mm).

Kitamura (2004) observa que, em termos de manejo agrícola, os solos com textura média (francos) possuem uma faixa mais ampla de humidade útil, pois equilibram melhor a drenagem e a retenção de água, por outro lado, os solos arenosos apresentam uma menor capacidade de retenção, sendo a drenagem mais pronunciada, apresentando maior risco de percolação excessiva e lixiviação de nutrientes.

A determinação da classe textural é uma etapa fundamental na caracterização do solo, sendo muitas vezes a primeira propriedade a ser analisada, pois esta, só pode ser modificada através da incorporação de outros tipos de solos com diferentes características texturais, o que possibilita a tomada de decisões mais adequadas em termos do seu uso e gestão (Reinert & Reichert, 2006; Cooper, Mazza, Silva, & Oliveira, 2016).

2.3.2. Lençol freático

Segundo Iritani e Ezaki (2008), o lençol freático é a superfície localizada na parte superior da zona de saturação, ou seja, o limite superior da água subterrânea, onde a pressão atmosférica se iguala à pressão da água do subsolo.

Silveira (2016) defende que, para uma gestão adequada dos problemas de drenagem, é essencial conhecer as flutuações espaciais e temporais do nível freático. Neste sentido, Cruciani (1987) citado por Niero (2011), afirma que a profundidade do lençol freático varia constantemente em função da percolação resultante de precipitações e regas excessivas. Essa variação ocorre pela infiltração de água através da zona não saturada do solo, bem como por escoamentos subterrâneos provenientes de canais, cursos de água naturais ou de encostas com níveis superiores ao freático.

Gomes (1986), num estudo sobre a drenagem na zona das Mahotas, assinala que, quanto maior for a quantidade da chuva ou irrigação, e menor for a permeabilidade do solo, maior será o tempo de alagamento, promovendo a subida do lençol freático. Dependendo do tipo de cultura e do seu estágio de desenvolvimento, essa elevação pode ter uma influência negativa no seu rendimento.

2.3.3. Permeabilidade do solo

A permeabilidade ou condutividade hidráulica é uma das propriedades físicas mais importantes do solo, pois determina a movimentação da água no perfil do solo e influencia directamente o dimensionamento de sistemas de drenagem (Costa, 2004).

Mello (2009) define a condutividade hidráulica (K_0) como a capacidade do solo de permitir o escoamento da água, especialmente no sentido horizontal. Trata-se, portanto, de maior ou menor facilidade com que a água atravessa o meio poroso.

Silveira (2016) acrescenta que esta propriedade depende das características físicas do solo e do próprio fluido, influenciando directamente a eficácia da drenagem.

Gomes e Costa (2016) destacam que os principais factores que condicionam o coeficiente de permeabilidade incluem: o índice de vazios, temperatura, a estrutura do solo e o grau de saturação do solo, bem como a sua estratificação.

Segundo Miranda (2018), a permeabilidade está directamente relacionada com a porosidade do solo, isto é, com o volume de espaços vazios preenchidos por água ou ar. Essa característica interfere no comportamento dos lençóis freáticos, podendo ser determinada através de ensaios laboratoriais ou medições directas no campo. A Tabela 1 apresenta a classificação da condutividade hidráulica em diferentes faixas, relacionando a velocidade de movimentação da água com o tipo do solo correspondente.

Tabela 1: Intervalos de magnitude de condutividade hidráulica.

Velocidade do movimento	Tipo do solo	Condutividade hidráulica (m/dia)
Muito alta	Arenoso com cascalho e areia fina	> 6
Alta	Arenoso, franco arenoso.	3,00 - 6,00
Moderadamente elevada	Franco arenoso.	1,56 - 3,00
Moderada	Franco, franco silte e franco argiloso.	0,48 - 1,56
Moderadamente lenta	Franco silte argiloso, franca argilosa areia	0,12 - 0,48
Lenta	Argiloso, argila silte.	0,02 - 0,12
Muito lenta	Argiloso densa	<0,02

Fonte: Serviço de Conservação do Solo, USA (1994) citado por Quispe (2024).

A condutividade hidráulica em solos saturados pode ser determinada por métodos directos, realizados em laboratório ou directamente no campo, ou por métodos indirectos. A medição em campo revela-se particularmente conveniente e de baixo custo, sendo preferível pela sua maior representatividade das condições hidrogeológicas locais (Maziero, Carneiro, & Wendland, 2004).

Para além da permeabilidade, a capacidade de infiltração é outro parâmetro essencial na dinâmica hídrica dos solos agrícolas.

2.3.4. Capacidade de infiltração

A capacidade de infiltração é um dos processos mais importantes do ciclo hidrológico, pois determina a disponibilidade da água para as culturas, contribui para a recarga dos lençóis freáticos, regula o escoamento superficial e orienta as práticas de manejo do solo e da água (Cecílio, Silva, Pruski, & Martinez, 2003).

De acordo com Carvalho e Da Silva (2006), a capacidade de infiltração pode ser definida como a aptidão do solo para permitir a passagem da água da superfície para o seu interior, ao longo de um determinado intervalo de tempo. Sob outra perspectiva, Fiorin (2008) refere que a infiltração é o processo de entrada da água no solo, geralmente por fluxo vertical descendente, envolvendo toda ou parte da superfície.

Segundo Portela *et al.* (2011), a capacidade de infiltração depende de um conjunto de condições físicas internas e externas do solo. Silveira (2010), identifica como principais factores influenciadores: o tipo e estrutura do solo; a declividade do terreno, a capacidade de retenção de água, o grau de humidade inicial; a acção da precipitação, o nível de compactação, a cobertura vegetal, bem como a presença de fendas, rachaduras e canais biológicos formados por raízes decompostas.

Peixoto (2011) explica que, durante uma precipitação, toda água que atinge o solo tende a infiltrar-se até que este atinja a saturação. A taxa de infiltração é mais elevada no início, especialmente quando o solo se encontra seco, e tende a diminuir com o tempo até estabilizar num valor constante, denominado velocidade ou taxa de infiltração básica.

Fiorin (2008) define a velocidade de infiltração básica, como a velocidade média com que a água penetra num solo saturado, ou seja, a quantidade máxima de água que pode infiltrar-se num determinado intervalo de tempo, sendo normalmente expressa em milímetros por hora (mm/h).

Nesse sentido, Armazia (2014) salienta que o conhecimento da taxa ou velocidade de infiltração da água no solo é fundamental para definição de técnicas de conservação do solo, planeamento de sistemas de rega e drenagem, e para uma composição mais precisa da capacidade de retenção de água e da aeração no solo.

A Tabela 2 apresenta a classificação dos solos de acordo com a sua velocidade de infiltração básica.

Tabela 2: Classificação do solo a partir de sua VIB em mm/h.

Solo	VIB (mm/h)
Solo de VIB muito alta	> 30
Solo de VIB Alto	15 - 30
Solo de VIB média	5 -15
Solo de VIB baixa	< 5

Fonte: Fonseca; Duarte (2006) e Souza *et al.* (2018), citado por Quispe (2024).

Segundo Peixoto (2011) e Barreto (2004) citado por Fuzer (2013), a velocidade de infiltração e a condutividade hidráulica (K_0) estão, em termos teóricos, correlacionadas. Contudo, na prática, essa correlação pode apresentar variações significativas explicadas por factores como a camada superficial do solo, o conteúdo inicial de humidade e a eventual presença de camadas de impedimento no perfil do solo.

2.4. Qualidade da água para irrigação

A utilização da água para fins de irrigação deve atender às necessidades específicas de cada cultura, sendo a sua adequação avaliada com base na qualidade e na finalidade de uso. Torna-se, por isso, essencial analisar as suas características físico-químicas e posicioná-la em função das condições mais adequadas de aplicação. Uma mesma qualidade da água pode ser perfeitamente aceitável para determinado tipo de solo ou cultura, mas ser inadequada para outros. (Silva, Fontes, Tavella, Oliveira, & Oliveira, 2011)

2.4.1. Condutividade eléctrica da água e salinidade

A salinidade pode ser definida como a presença excessiva de sais solúveis e de sódio trocável na solução do solo. Esta condição dificulta a absorção de água e nutrientes pelas plantas, prejudicando

assim o seu desenvolvimento. A água de irrigação é uma das principais fontes de salinidade secundária, sobretudo quando gerida de forma inadequada (Alencar, 2007; Almeida, 2010).

Um dos parâmetros mais utilizados para a avaliação preliminar da qualidade da água é a condutividade eléctrica da água. De acordo com, Vasconcelos *et al.* (2019) e Almeida (2010) este indicador representa a quantidade total de sais dissolvidos, sem, no entanto, especificar os seus tipos, permitindo uma estimativa geral da composição salina do meio líquido. A CEa é considerada um dos principais indicadores do risco de salinização: quanto maior for o conteúdo salino da água, maior será a condutividade eléctrica, sendo geralmente expressa em microSiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Águas subterrâneas com CEa elevada possuem normalmente maiores quantidades de iões (catiões e aniões), o que pode favorecer o processo de salinização dos solos. Os impactos no solo relacionados com a qualidade da água resultam, sobretudo, de dois fenómenos: a infiltração e a evaporação. Quando a infiltração predomina, o solo tende a ser mais facilmente lixiviado, podendo tornar-se ácido. Por outro lado, se a evaporação for mais intensa, ocorre o acúmulo de sais na camada superficial (Vasconcelos, Cajazeiras, & Sousa, 2019; Almeida, 2010).

Segundo Richards (1954) citado por Alencar (2007), existe uma relação praticamente linear entre a CEa e o risco de salinização do solo, conforme ilustrado na Tabela 3:

Tabela 3: Níveis de salinidade da água segundo a sua CE e os tipos de culturas tolerantes.

Classe de salinidade	Risco de Salinidade	CE	Tipo de cultura
C1	Baixa	< 250	Todas culturas, pois, apresentam baixa probabilidade de salinização
C2	Média	250 - 750	Plantas com tolerância modera
C3	Alta	750 - 2250	Culturas com boa tolerância aliadas ao controlo de salinidade nos solos
C4	Muito alta	> 2250	Plantas com uma resistência extrema a salinidade como é o caso dos mangais

Fonte: Adaptado de Alencar (2007).

De acordo com Ayers e Westcot (1985) o potencial de rendimento total de quase todas culturas é atingida quando utiliza-se água com salinidade que varia de baixa a média ($<700 \mu\text{S}/\text{cm}$), para as hortícolas concretamente, o seu rendimento mantém-se a quase 100% quando utilizada a água com salinidade alta, como é o caso da, alface que tolera até $900 \mu\text{S}/\text{cm}$, couve ($1,9 \mu\text{S}/\text{cm}$), espinafre ($1,3 \mu\text{S}/\text{cm}$), cebola ($0,8 \mu\text{S}/\text{cm}$) e a beterraba ($2,7 \mu\text{S}/\text{cm}$). Estes autores afirmam ainda que o rendimento potencial destas culturas decresce com o aumento da salinidade da água.

2.4.2. Potencial hidrogeniónico

Entre os factores relevantes na avaliação da aptidão da água para irrigação encontra-se o pH, que expressa o grau de acidez ou alcalinidade de uma solução. Trata-se de um parâmetro fundamental na caracterização das condições químicas da água e do solo, uma vez que interfere na disponibilidade de diversos elementos essenciais ao desenvolvimento vegetal. Pode facilitar ou dificultar a libertação de nutrientes, afectando a solubilidade de compostos e o potencial de toxicidade de determinadas substâncias (Brandão & Lima, 2002; Silva, Fontes, Tavella, Oliveira, & Oliveira, 2011; Vasconcelos, Cajazeiras, & Sousa, 2019).

Segundo Atkins e Jones (2012), a escala do pH varia entre 0 a 14, sendo que: (i) indicação de solução ácida quando $\text{pH}<7$; (ii) correspondência de uma solução neutra, $\text{pH}=7$; (iii) caracterização de uma solução básica ou alcalina, $\text{pH}>7$.

No contexto da irrigação, considera-se que a água ideal apresenta pH entre 6,5 e 8,4. Valores superiores a 8,4 podem causar entupimentos em sistemas de irrigação localizada, devido à precipitação de carbonato de cálcio. Por outro lado, valores de pH demasiado baixos (<4) podem levar à corrosão acelerada de componentes metálicos em sistemas de irrigação por aspersão (Silva, Fontes, Tavella, Oliveira, & Oliveira, 2011).

2.5. Profundidade do lençol freático e sua influência na produção agrícola

De acordo com Costa (2008), a profundidade óptima do lençol freático é aquela que proporciona a menor relação custo-benefício, embora esta determinação seja altamente relativa, uma vez que não existem dados suficientes que permitam avaliar com precisão o impacto da profundidade do lençol sobre a produtividade das culturas.

Nesta linha, Salazar (1988) reforça que os efeitos da profundidade do lençol freático na produtividade são difíceis de quantificar em condições reais de campo, devido ao elevado número de variáveis envolvidas e à interação complexa entre elas.

Segundo Famba (2005), a influência do lençol freático na produtividade agrícola depende de vários factores, tais como: a profundidade do sistema radicular das culturas, as características do solo, o clima e o estágio fenológico da cultura. Neste sentido, Millar (1978) citado por Famba (2005), realizou um estudo comparativo dos rendimentos de várias culturas em diferentes profundidades do lençol freático. Os resultados indicaram que, de forma geral, rendimentos mais elevados são obtidos com maiores profundidades, com excepção da batata e da cevada, que apresentaram melhores resultados com profundidades de 60 e 90 cm, respectivamente.

Por outro lado, Cruciani (1987), citado por Niero (2011), afirma que a relação entre a profundidade do lençol freático e a produtividade depende fortemente das condições climáticas locais, dificultando assim a extrapolação de resultados de uma região para outra. O impacto de um nível mais elevado ou mais profundo varia consoante o tipo de cultura e as propriedades físicas do solo.

Corroborando esta análise, Lyra *et al.* (2003) referem que a elevação do nível do lençol freático tende a reduzir a aeração do solo, comprometendo o desenvolvimento radicular e, conseqüentemente, o crescimento e produtividade das plantas.

Com base na literatura apresentada, é possível compreender que a eficácia de um sistema de drenagem agrícola depende de múltiplos factores, tais como a textura e a permeabilidade do solo, a profundidade do lençol freático, a capacidade de infiltração e a qualidade da água utilizada para irrigação. Estes elementos, quando analisados em conjunto, oferecem subsídios fundamentais para a caracterização e o diagnóstico do estado funcional de sistemas de drenagem, especialmente em áreas de produção intensiva como a zona baixa das Mahotas.

Neste sentido, o conhecimento teórico revisto será aplicado à realidade da APJC, onde se pretende observar, registar e interpretar os fenómenos relacionados com o escoamento de águas, a saturação dos solos e a funcionalidade das infraestruturas de drenagem existentes. Esta análise será conduzida com base em procedimentos metodológicos específicos, a serem detalhados no capítulo seguinte, os quais permitirão identificar as principais fragilidades do sistema actual e propor intervenções técnico-administrativas que garantam a sustentabilidade da produção hortícola local.

III. METODOLOGIA

3.1. Descrição da área de estudo

A Associação de Produtores Joaquim Chissano (APJC) encontra-se situada no Vale das Mahotas, inserido no Distrito Urbano de KaMavota, na Cidade de Maputo. A área de produção ocupa aproximadamente 69 hectares, delimitada pelas coordenadas 25°53'26.9'' de latitude Sul e 32°37'54.8'' de longitude Este (ver Figura 2).

Em termos geográficos, a APJC estende-se: a norte, para além dos limites administrativos da Cidade de Maputo; a nascente, confronta com bairros residenciais localizados em zonas húmidas e propensas a inundações, com presença de mangais; a sul, delimita-se com o Campo de Golfe da Polana; a poente, confina com a linha de caminho-de-ferro.

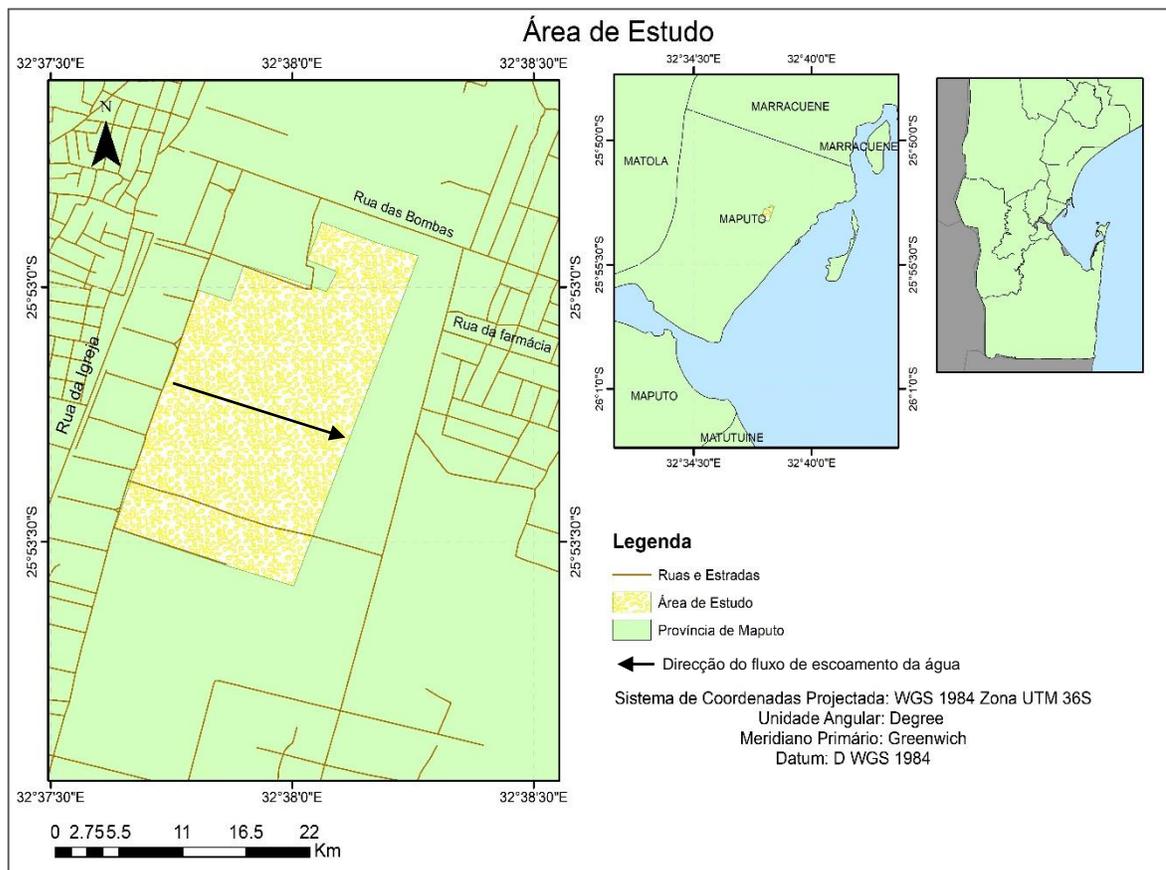


Figura 2: Mapa da área de estudo (Campo da APJC).

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Segundo Pimentel (2013), o Vale das Mahotas está inserido numa área de terras baixas, composta por solos orgânicos hidromórficos, vulgarmente conhecidos por *machongos*. De acordo com Pais (2011), estes solos apresentam coloração que varia entre cinzento-escura e negra, elevada concentração de matéria orgânica, e textura média, variando de franco-arenosa a franco-argilosa, são caracterizados por elevada saturação hídrica, o que dificulta a decomposição da matéria orgânica.

O vale integra uma extensa faixa de hortas, que se estende paralelamente à baía e ao rio Incomáti, embora sem uma fonte hidrológica directa (Pimentel, 2013).

O clima local é do tipo tropical de savana (Aw), segundo a classificação de Köppen, com estação seca no inverno e chuvosa no verão. A precipitação média anual é de 840 mm, atingindo o pico em Janeiro (141 mm) e o mínimo em Agosto (20 mm). A temperatura média anual é de 23,1 °C, com uma insolação média de 8,3 horas por dia (Climate Data, 2022; Fernando, 2018).

A humidade relativa média é de 78,5%, com menor variação ao longo do ano. Fevereiro (81%) e Março (80,5%) são os meses mais húmidos, enquanto Junho (75%) e Julho (76%) apresentam os menores valores (INAM, 2008).

As chuvas de sementeira iniciam geralmente em Outubro e prolongam-se até Fevereiro, com maior intensidade entre Dezembro e Janeiro. Este período coincide com níveis elevados de insolação e temperatura, podendo comprometer o desenvolvimento das culturas devido a irregularidades nas precipitações e ao stress térmico (Sitoe, 2008).

A localização da associação, numa zona de acumulação natural de águas condiciona o escoamento eficiente das águas superficiais e subterrâneas, justificando a escolha desta área como objecto de estudo da problemática da drenagem.

3.2. Métodos de colecta de dados

A elaboração do presente estudo baseou-se inicialmente numa pesquisa sistemática da bibliografia internacional sobre drenagem agrícola. Seguiu-se a esta fase um trabalho de campo, a realização de ensaios laboratoriais e, posteriormente, a análise dos dados obtidos.

Tendo em conta a natureza dos objectivos definidos, optou-se por uma abordagem metodológica mista, integrando métodos qualitativos e quantitativos:

3.2.1. Método qualitativo

Este método esteve associado à realização de entrevistas (ver Apêndice A) dirigidas à direcção da associação. O objectivo foi compreender a dinâmica existente entre os produtores e a direcção, bem como os procedimentos técnico-administrativos adoptados para a manutenção do sistema de drenagem.

3.2.2. Método quantitativo

O método quantitativo foi aplicado no trabalho de campo, com vista à caracterização do sistema de drenagem e à avaliação da sua operacionalidade.

Foram efectuadas: observações directas sobre o estado das valas de drenagem (drenos laterais, principais e secundários), com registo fotográfico; medições da profundidade, largura e comprimento dos drenos existentes; identificação e mapeamento da rede de drenagem utilizando coordenadas geográficas obtidas com recurso ao GPS (Sistema de Posicionamento Global).

3.3. Técnicas de análise dos dados

A análise dos dados recolhidos foi conduzida com base numa abordagem mista, combinando técnicas qualitativas e quantitativas, permitindo uma compreensão integrada do funcionamento do sistema de drenagem da APJC.

3.3.1. Análise qualitativa

Os dados obtidos nas entrevistas à direcção da associação foram tratados por meio de análise de conteúdo, com foco na identificação de: percepções sobre a drenagem; estratégias técnico-administrativas adoptadas; constrangimentos enfrentados na gestão do sistema.

As respostas foram organizadas em categorias temáticas, alinhadas com os objectivos específicos da investigação.

3.3.2. Análise quantitativa

A análise quantitativa foi estruturada em três domínios principais: caracterização físico-hidráulica do solo; monitoria hidrológica (nível freático); e avaliação da qualidade da água.

As metodologias utilizadas, os equipamentos aplicados e os dados obtidos em cada domínio são detalhados nas secções seguintes deste capítulo.

3.4. Análises físico-hidrológicas: do solo e lençol freático

As análises físico-hidrológicas centraram-se em dois elementos fundamentais para a compreensão da problemática da drenagem na área de estudo: a textura do solo e a profundidade do lençol freático. A caracterização detalhada destes parâmetros permite avaliar as limitações naturais ao escoamento da água e identificar zonas mais susceptíveis à saturação ou encharcamento.

3.4.1. Classificação textural do solo

Segundo Quispe (2024), os atributos físicos do solo influenciam directamente os processos hidrológicos, tais como a velocidade de infiltração, o escoamento superficial, a drenagem e a erosão. Entre os atributos analisados, a textura foi seleccionada por exercer forte influência sobre o comportamento hidráulico do perfil edáfico.

Durante as observações de campo, com apoio da direcção da APJC, verificou-se que os solos superficiais apresentam distribuição não uniforme. Para garantir maior representatividade espacial, a área foi dividida em três zonas (Zona 1, Zona 2 e Zona 3 - ver Apêndice B), segundo a orientação dos próprios produtores.

A recolha das amostras foi feita segundo o método do transecto em forma de “W”, utilizando amostragem composta. Por zona, foram recolhidas 15 sub-amostras de solo não perturbado com recurso ao trado manual. Estas sub-amostras foram combinadas em três amostras médias, cada uma correspondente a uma das zonas.

As amostras foram extraídas a três profundidades distintas: 0–20 cm, 20–40 cm e 40–60 cm, de acordo com a profundidade média de enraizamento das culturas hortícolas praticadas na área. No total, foram constituídas nove amostras compostas, devidamente identificadas, conservadas e enviadas ao Laboratório de Solos da FAEF para análise textural pelo método da pipeta, que determina as proporções relativas de areia, silte e argila com base na velocidade de sedimentação das partículas (ver Anexo 1).

3.4.2. Profundidade do lençol freático

A determinação da profundidade do lençol freático decorreu entre os dias 1 e 7 de Julho de 2024, com o objectivo de obter uma leitura pontual da situação hidrogeológica da área de estudo.

Para tal, foram escavados seis poços de observação por meio do trado manual, nos quais foram instalados piezómetros construídos com tubos de PVC de 50 mm de diâmetro, perfurados

lateralmente para permitir a entrada de água. Cada tubo tinha aproximadamente dois metros de comprimento, dos quais cerca de 1,60 metros ficaram abaixo da superfície do solo (ver Figura 3B).

A leitura dos níveis freáticos foi realizada por uma sonda eléctrica, que emite um sinal sonoro ao entrar em contacto com a superfície da água (ver Figura 3A). Os piezómetros foram distribuídos em pares pelas três zonas previamente definidas (ver Apêndice B), tendo-se respeitado um período de estabilização de 24 horas após a instalação, para garantir a fiabilidade das leituras.

Cada ponto de monitorização foi devidamente identificado, com registo da localização geográfica, identificação do piezómetro e da altura visível acima do solo. Foram efectuadas sete medições diárias consecutivas, permitindo a análise de tendências locais de saturação e a identificação de zonas com maior risco de encharcamento ou deficiente escoamento.

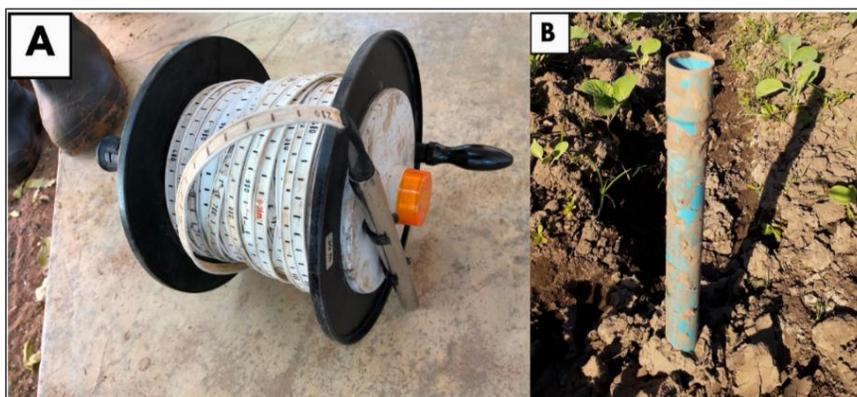


Figura 3: A) Sonda eléctrica. B) Poço de observação.

Fonte: A autora, 2024.

Embora, segundo Niero (2011), o acompanhamento eficaz do lençol freático requiera observações prolongadas ao longo de diferentes estações (seca e chuvosa), no presente estudo optou-se por uma leitura pontual e representativa da situação na APJC, adequada aos objectivos traçados.

3.5. Propriedades hidráulicas do solo

O estudo das propriedades hidráulicas do solo foi fundamental para a identificação de limitações ao escoamento da água e para a compreensão dos processos associados à drenagem na área da APJC. Foram analisados dois parâmetros principais: a permeabilidade do solo e a capacidade de infiltração da água, ambos avaliados directamente em campo, em condições reais.

3.5.1. Permeabilidade do solo

A permeabilidade foi determinada utilizando o método do furo de trado (*auger hole*), aplicado na presença do lençol freático (ver Anexo 2). Para este ensaio, foi utilizado um flutuador com fita métrica, conforme ilustrado na Figura 4.



Figura 4: Determinação da permeabilidade em campo (até quase 2 metros de profundidade) utilizando o método *auger hole*.

Fonte: A autora, 2024.

O procedimento consistiu em perfurar verticalmente o solo com trado manual até ultrapassar o nível freático. Após algum tempo, o orifício encheu-se de água, equilibrando-se com o nível do lençol. Em seguida, procedeu-se ao esvaziamento parcial do furo com bomba manual, registando-se o tempo necessário para que a coluna de água recuperasse 25% da sua altura inicial ($\Delta y > \frac{1}{4} y_0$).

Com base na variação do nível da água em função do tempo, foi possível estimar a condutividade hidráulica saturada (K_0) através da equação 1.

$$K = C \times \frac{\Delta y}{\Delta t} \quad (1)$$

Sendo que C é dado por:

$$C = \frac{4000}{\left(\frac{H}{r} + 20\right) \times \left(2 - \frac{y}{H}\right)} \frac{r}{y} \quad (2)$$

Onde:

K: condutividade hidráulica do solo saturado (m/dia);

C: factor geométrico = f (y, H, r, S); dado por nomogramas ou equações empíricas;

H: profundidade do poço, abaixo do nível freático (cm);

y: distância entre o nível freático e o ponto médio dos níveis de água no intervalo de tempo (cm);

r: raio do poço (cm);

Δy : intervalo de altura no tempo (cm);

Δt : intervalo de tempo entre duas leituras (s).

Este método assume que a distância entre o fundo do furo e a camada impermeável é superior à metade da distância entre o nível freático e o fundo do orifício, condição que assegura a validade do modelo hidrodinâmico (Libardi, 2005; Van Beers, 1983). Os dados obtidos estão organizados no Apêndice C.

3.5.2. Infiltração da água no solo

A capacidade de infiltração foi avaliada com recurso ao infiltrômetro de duplo anel, constituído por dois anéis metálicos: anel externo: 50 cm de diâmetro e 25 cm de altura; e anel interno: 25 cm de diâmetro e 25 cm de altura.

Ambos foram cuidadosamente cravados e nivelados na superfície do solo (Figura 5). O ensaio foi realizado com o solo em condição seca, enchendo simultaneamente ambos os anéis com água. Registou-se a descida do nível de água no anel interno ao longo do tempo, com auxílio de fita métrica, mantendo-se o nível constante de 6 cm, mediante reposições sempre que necessário.

Considerou-se que o regime de infiltração se estabilizou quando três medições consecutivas apresentaram variação inferior a 10%.



Figura 5: Determinação da infiltração da água no solo utilizando o infiltrômetro de duplo anel.

Fonte: A autora, 2024.

Os dados foram organizados em folha de cálculo Excel (ver Apêndice D), permitindo calcular: a infiltração cumulativa (I_{cum}); a infiltração instantânea (I_{ins}); e a velocidade de infiltração básica (I_{bas}).

A análise baseou-se na equação empírica de Kostiakov apresentada na equação 3 (Armazia, 2014), sendo que os seus parâmetros da equação K e n foram determinados de maneira gráfica.

$$I_{cum} = K \cdot T^n \quad (3)$$

Onde: I_{cum} = Infiltração acumulada [cm];

K = Constante que depende do tipo do solo e da humidade inicial;

T = O tempo [min]

n = declividade da recta, varia de 0 a 1.

A infiltração cumulativa foi derivada para obtenção da infiltração instantânea (I_{ins}) dada por [cm/min], na relação 4:

$$I_{ins} = K \cdot n \cdot T^{(n-1)} \quad (4)$$

A estabilização da infiltração foi assumida quando a variação de I_{ins} ao longo de uma hora foi inferior a 10%, critério comum em estudos hidrológicos.

A estimativa da velocidade de infiltração básica (I_{bas}) foi realizada com base na equação 5:

$$I_{bas} = K \cdot n \cdot [600 \cdot (1 - n)]^{(n-1)} \quad (5)$$

Onde a taxa ou velocidade de infiltração básica (I_{bas}) é dada em cm/h ou mm/h, e os restantes parâmetros seguem a descrição das relações acima apresentadas.

3.6. Atributos químicos da água

A qualidade da água utilizada para irrigação constitui um factor determinante para a produtividade agrícola e a sustentabilidade do solo. Neste contexto, procedeu-se à avaliação de dois parâmetros químicos essenciais: o pH e a condutividade eléctrica da água (CEa).

Foram colectadas 27 amostras de água no mês de Junho de 2024, junto aos drenos laterais e secundários da APJC, que constituem fontes hídricas com potencial de uso agrícola (ver Apêndice E).

As medições foram efectuadas directamente em campo, com recurso ao equipamento Combi 5000, dotado de eléctrodos próprios para a medição dos dois parâmetros. O procedimento consistiu na imersão dos eléctrodos em frascos plásticos previamente higienizados, lavados e enxaguados três vezes com água da mesma fonte antes da recolha final da amostra, para garantir a representatividade e fiabilidade dos resultados.

Os valores obtidos foram organizados em tabelas comparativas por ponto de amostragem e analisados à luz dos padrões recomendados para a irrigação de diferentes culturas, tendo em vista: os riscos de salinização do solo; a corrosão de equipamentos de irrigação; e os possíveis impactos na absorção de nutrientes pelas plantas.

A metodologia adoptada neste estudo combinou abordagens qualitativas e quantitativas, permitindo uma análise abrangente da problemática da drenagem nos campos da APJC. A caracterização detalhada da área de estudo, a recolha sistemática de dados de campo, bem como a aplicação de técnicas laboratoriais e de observação directa, possibilitaram compreender os factores edafo-climáticos que influenciam a eficiência do sistema de drenagem existente. As ferramentas e procedimentos descritos asseguram a fiabilidade dos dados obtidos e a sua adequação aos objectivos definidos, fornecendo uma base sólida para a análise subsequente.

Sustentado nos procedimentos metodológicos adoptados, o capítulo seguinte apresenta e discute os resultados da investigação, articulando-os com referências teóricas e com as condições particulares observadas no terreno.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização do sistema de drenagem nos campos da APJC

Este capítulo apresenta uma descrição detalhada do sistema de drenagem nos campos da APJC, com destaque para os principais desafios enfrentados, as responsabilidades atribuídas e as práticas adoptadas pelos produtores no seu processo de gestão.

4.1.1. Componentes do sistema de drenagem

O sistema de drenagem instalado nos campos da APJC é constituído por valas abertas, cuja função principal é a captação e o escoamento da água superficial. A Figura 6 ilustra a direcção do fluxo de escoamento da água e os principais componentes e infraestruturas que integram o sistema, nomeadamente: valas secundárias, que auxiliam na condução da água para canais principais; e valas de campo ou laterais, responsáveis pela drenagem directa das áreas de cultivo.

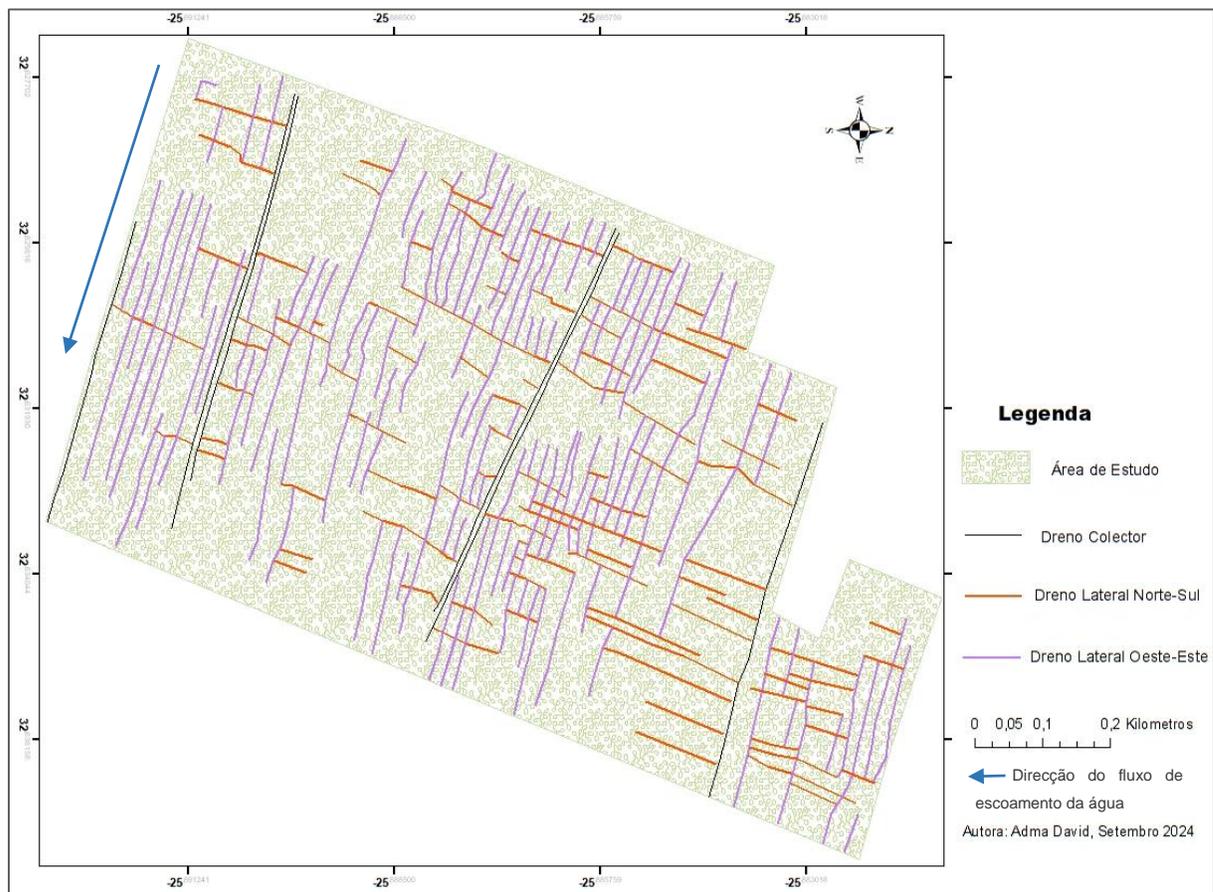


Figura 6: Componentes do sistema de drenagem da APJC, no ano de 2024.

Com base nas observações realizadas, constatou-se que a vala principal não está conectada aos drenos de campo, o que compromete a eficiência do sistema ao impedir a adequada remoção do excesso de água nas zonas cultivadas. Esta configuração contraria a descrição proposta pela FAO (1996), que recomenda que um sistema de drenagem agrícola eficiente seja composto por um dreno principal, drenos laterais (ou de campo) e drenos colectores (ou secundários), devidamente interligados.

4.1.2. Responsabilidades e gestão

A direcção da APJC não assume responsabilidade directa pela manutenção das infraestruturas de drenagem, não existindo, até à data, normativas locais específicas que regulem formalmente a gestão do sistema de drenagem agrícola na área.

Em momentos anteriores, foram promovidas campanhas de sensibilização dirigidas aos produtores, com o objectivo de reforçar a importância da manutenção regular das valas de drenagem. Contudo, a fraca adesão dos beneficiários constituiu um entrave à eficácia dessas acções educativas.

Presentemente, apenas as valas secundárias são alvo de alguma fiscalização, a cargo do denominado “chefe das valas”, cuja função principal consiste no controlo das infraestruturas, prevenindo alterações significativas na sua configuração.

As observações realizadas em campo revelaram que os drenos apresentam profundidades e extensões variáveis, bem como uma forte presença de infestantes, o que dificulta o escoamento contínuo da água. Segundo a direcção da APJC, estas deficiências devem-se, em grande medida, às limitações financeiras enfrentadas, nomeadamente o elevado custo da mão-de-obra necessária para a limpeza e aprofundamento das valas. Refira-se que as actividades de manutenção e melhoria do sistema de drenagem são suportadas exclusivamente pelos próprios produtores, de forma individual, inexistindo qualquer sistema de contribuições colectivas ou taxas específicas destinadas a esse fim.

Tal constatação evidencia-se na Figura 7 e Figura 8, onde é possível, observar as variações de manutenção em termos de limpeza das valas, uma vez que, na Figura 7 ponto A e Figura 8 nos pontos C e D, constata-se uma forte presença de infestantes, por outro lado, na Figura 7 B verifica-se que a vala secundária fora recentemente limpa, sendo este um exemplo visível da individualidade de manutenção do sistema de drenagem.

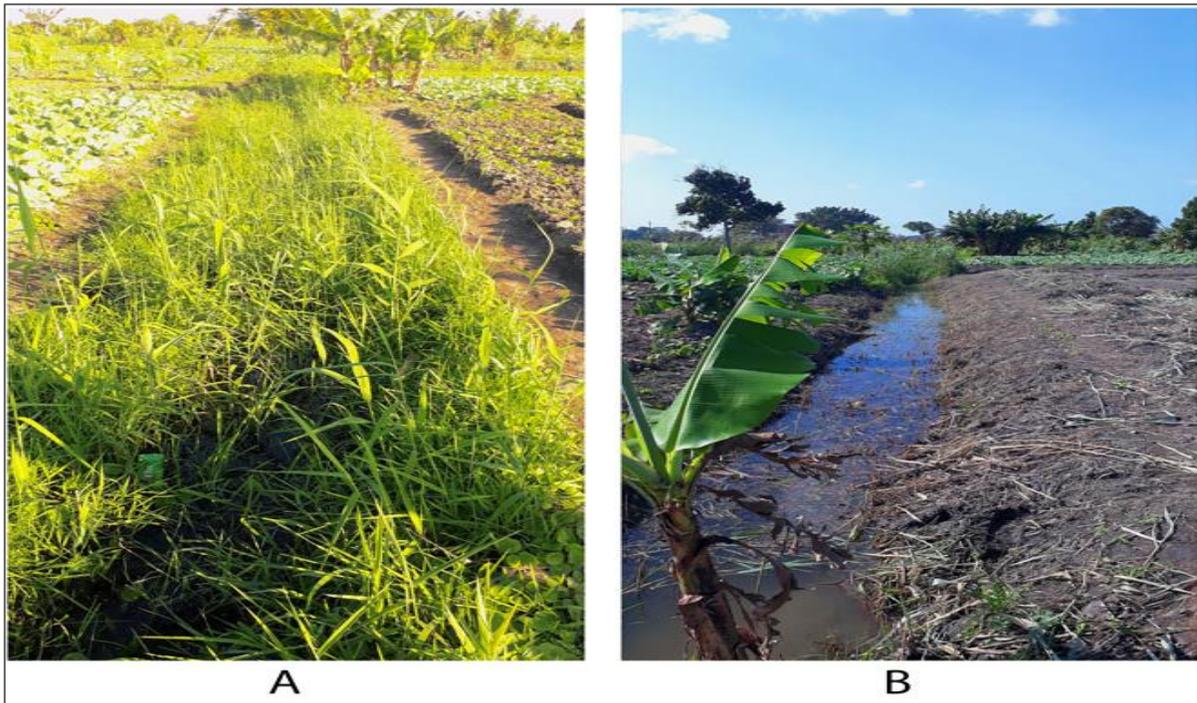


Figura 7: Condição dos drenos secundários nos campos da APJC, 2024.

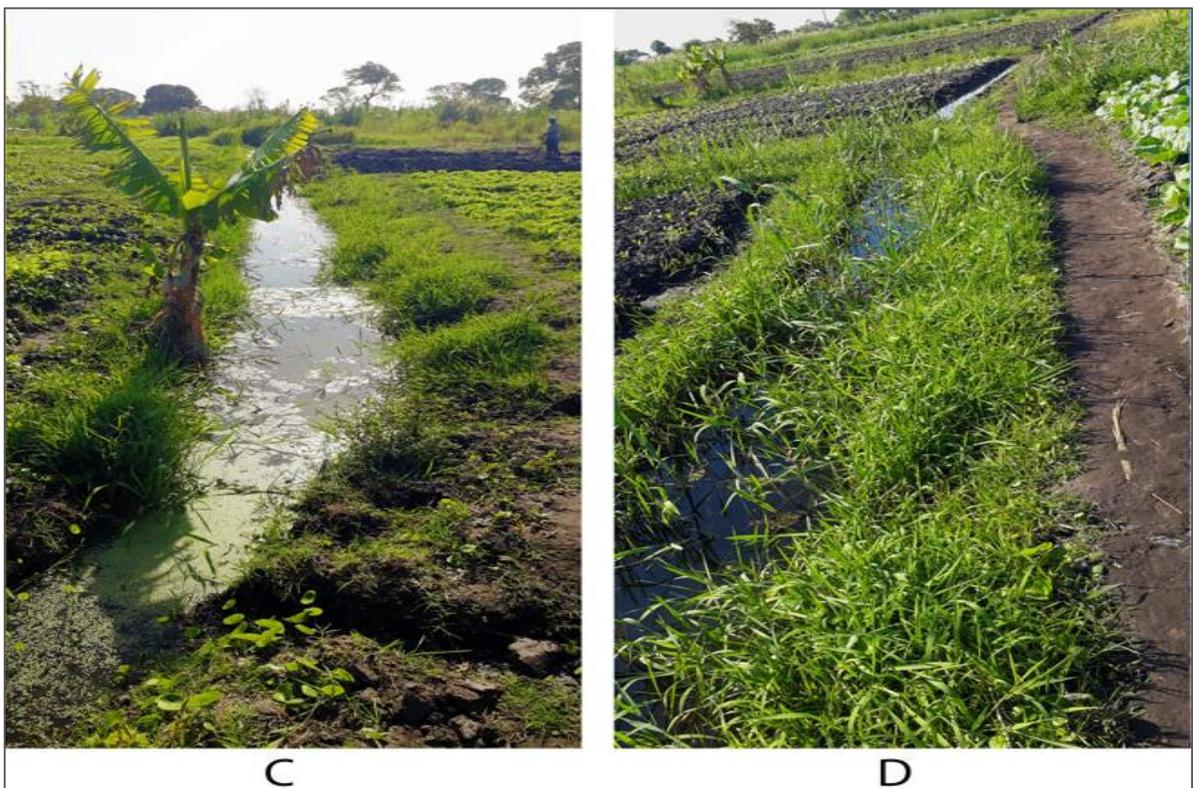


Figura 8: Condição dos drenos laterais nos campos da APJC, 2024.

Fonte: A autora, 2024.

4.1.3. Gestão de riscos de alagamento

Durante o levantamento dos componentes do sistema de drenagem, foi observado que a água captada pelas valas secundárias não possui um encaminhamento eficaz para fora da área cultivada. Esta limitação contraria o princípio defendido pela ICID (1982), segundo o qual, para evitar o alagamento de zonas baixas, o escoamento superficial deve ser conduzido através dos drenos laterais e colectores até ao exterior da área de drenagem, por meio de um dreno principal devidamente dimensionado e funcional.

A inexistência de um sistema adequado de escoamento torna-se especialmente evidente durante os períodos de chuva intensa, sendo que a APJC não intervém directamente nas zonas mais vulneráveis ao alagamento. Nestas circunstâncias, os produtores recorrem a medidas paliativas, como o aprofundamento manual das valas de drenagem para facilitar o escoamento da água, a elevação do nível do solo através da adição de matéria orgânica ou terra proveniente de outras áreas, bem como a limpeza pontual das valas nas imediações dos seus campos.

Estas são, até ao momento, as únicas práticas adoptadas para mitigar os riscos de alagamento. Não existem planos de contingência estruturados, nem medidas preventivas formalizadas para lidar com este tipo de ocorrência. Do mesmo modo, não foram identificadas iniciativas colectivas orientadas para a ampliação, reabilitação ou modernização das infraestruturas de drenagem existentes.

4.2. Análises do solo

4.2.1. Classificação textural e homogeneidade do solo

A textura do solo é um dos factores determinantes na capacidade de retenção e escoamento da água, influenciando directamente o desenvolvimento das culturas. De acordo com Senjobi e Ogunkunle (2011), tanto a textura como a profundidade de enraizamento das plantas afectam a quantidade de água armazenada na zona radicular, sendo a textura do solo um dos principais reguladores da dinâmica da água no perfil.

A Tabela 4 apresenta os resultados da classificação textural do solo em três zonas distintas da APJC, avaliadas a três profundidades (0–20 cm, 20–40 cm e 40–60 cm). Os dados revelam diferenças notáveis entre as zonas:

Tabela 4: Classificação textural do solo nos campos da APJC.

Local	Profundidade (cm)	Areia (%)	Argila (%)	Limo (%)	Classe textural
Zona 1	0-20	88,2	8,4	3,4	Areia franca
	20-40	91,2	7,3	1,5	Areia
	40-60	87,8	7,3	4,9	Areia Franca
Zona 2	0-20	81,1	13,9	5,0	Franco arenoso
	20-40	78,4	12,8	8,8	Franco arenoso
	40-60	81,1	10,2	8,7	Franco arenoso
Zona 3	0-20	59,2	17,4	23,4	Franco arenoso
	20-40	52,2	21,4	26,4	Franco argilo arenoso
	40-60	72,1	18,4	9,5	Franco arenoso

- A Zona 1 caracteriza-se por um solo de textura arenosa em todas as profundidades, com percentagens superiores a 87% de areia. Os solos arenosos apresentam uma fertilidade natural baixa, uma elevada permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água, o que pode comprometer a disponibilidade hídrica para as culturas durante períodos de défice de precipitação e tendências a lixiviação de nutrientes (Kitamura, 2004).
- A Zona 2 apresenta um solo de textura média, com menor teor de areia (entre 78% e 81%) e ligeiro aumento de limo e argila. Esta configuração, segundo Kitamura (2004) oferece um melhor equilíbrio entre infiltração e retenção de água, representando uma zona de maior aptidão para culturas agrícolas diversificadas (devido a sua fertilidade natural que varia de média a alta), desde que aliada a uma boa gestão de irrigação e drenagem.
- A Zona 3 também é caracterizada por uma textura média, porém, observa-se uma maior variabilidade vertical na textura, com destaque para a camada intermédia (20–40 cm), classificada como franco argilo arenoso, devido à elevação significativa de limo (26,4%) e argila (21,4%). Esta camada pode actuar como uma barreira à infiltração, favorecendo o encharcamento do solo e dificultando o enraizamento profundo, sendo um potencial indicador de problemas de drenagem, como referido por Mello (2009).

Apesar destas diferenças entre zonas, a Tabela 5, que apresenta a análise de variância (ANOVA) e a comparação de médias pelo teste de Tukey, mostra que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as profundidades do perfil para os teores de areia, argila e limo, ao nível de significância de 5% ($p > 0,05$).

Tabela 5: Análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey para os teores areia, argila e limo em diferentes profundidades.

Profundidade (cm)	Areia (%)	Argila (%)	Limo (%)
0-20	76,16 ^a	13,23a	10,6 ^a
20-40	73,93 ^a	13,83a	12,23 ^a
40-60	80,33 ^a	11,96a	7,7 ^a
F	0,14	0,08	0,16
p-value	0,875	0,925	0,854

As médias apresentaram letras iguais (a), confirmando esta homogeneidade vertical da composição textural do solo nas diferentes profundidades, sugerindo assim, que não há variações significativas nos teores de areia, argila e limo ao longo do perfil analisado (0–60 cm). Esta uniformidade pode ter implicações relevantes para a gestão agrícola e a eficiência do sistema de drenagem nos campos da APJC.

Em termos de retenção de água, a textura relativamente constante ao longo do perfil do solo permite uma previsão mais fiável da capacidade de armazenamento hídrico e da dinâmica de infiltração. Em solos com maior proporção de areia (como observado nas Zonas 1 e 2), a infiltração tende a ser rápida, mas com baixa capacidade de retenção, o que pode resultar em maior necessidade de irrigação em períodos secos e menor resistência ao alagamento em períodos chuvosos, caso a drenagem seja deficiente (Maroeulli & Silva, 2011).

Por outro lado, a uniformidade textural também implica que intervenções de melhoria da drenagem, como a escavação de valas mais profundas ou a adição de materiais orgânicos, terão efeitos semelhantes em diferentes profundidades, facilitando o planeamento e a execução dessas práticas pelos produtores.

No entanto, apesar desta homogeneidade, a presença localizada de teores mais elevados de limo e argila (como observado na Zona 3, especialmente entre os 20 e os 40 cm de profundidade) pode contribuir para a formação de camadas menos permeáveis, dificultando a percolação vertical da água e promovendo a saturação superficial conforme descrito por Buri *et. al* (2012). Isto reforça a necessidade de monitoria contínua e de estratégias localizadas de drenagem, mesmo em áreas aparentemente uniformes.

Além disso, é importante destacar que a homogeneidade vertical não elimina a necessidade de gestão diferenciada entre zonas, uma vez que as diferenças horizontais (entre as zonas) são marcantes. Por outro lado, a presença pontual de camadas mais compactas e ricas em argila, como observado na Zona 3, pode gerar restrições locais à drenagem, à infiltração e ao desenvolvimento radicular, devendo ser alvo de atenção em estratégias de melhoramento do uso do solo.

4.3. Profundidade do lençol freático: Análise integrada com a textura do solo e topografia local

A Figura 9 ilustra a flutuação do lençol freático nos poços de observação num período de sete dias na área de estudo, com profundidades variando entre 12 cm e 75 cm. Esta amplitude indica uma alta variabilidade espacial do lençol, fortemente condicionada pela topografia, textura do solo e características locais de drenagem.

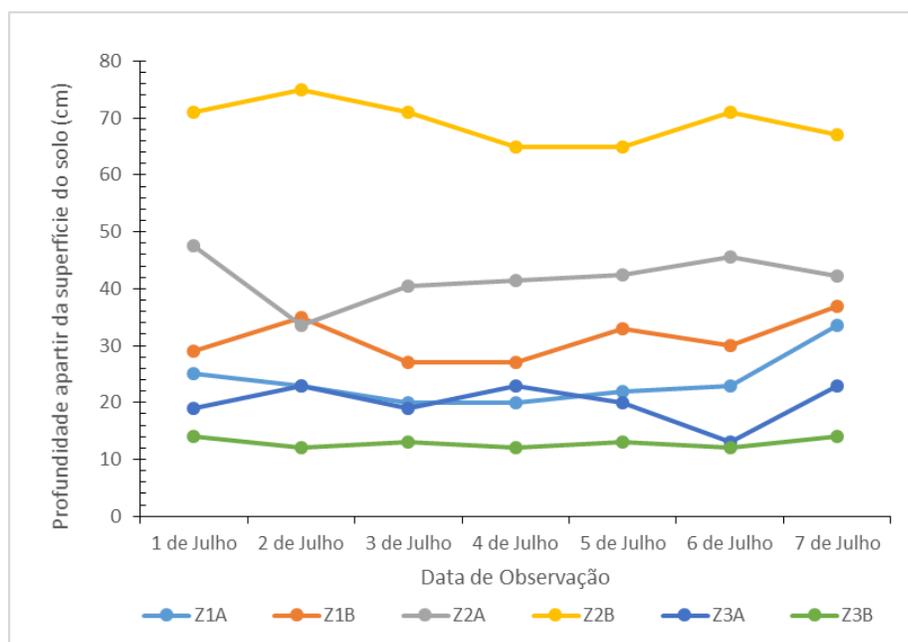


Figura 9: Flutuação do lençol freático em 7 dias, no campo da APJC.

- **Zona 1 – Lençol pouco profundo em área de maior elevação (Z1A e Z1B)**

Embora a Zona 1 se encontre numa área topograficamente elevada, o lençol apresenta-se relativamente superficial. Este paradoxo é explicado pela proximidade a zonas ainda mais altas (bairro das Mahotas), que funcionam como áreas de contribuição de escoamento superficial e subterrâneo. Assim, mesmo em cotas superiores, a acumulação de água no subsolo ocorre devido à entrada lateral de fluxos freáticos.

Adicionalmente, o solo da Zona 1 é altamente arenoso, o que favorece uma rápida infiltração da água, mas, por outro lado, a capacidade de retenção é muito baixa, permitindo que o lençol se mantenha superficial e oscilante. Esta combinação torna a zona altamente vulnerável ao encharcamento e à lixiviação de nutrientes, especialmente após eventos de precipitação intensa, o que torna área pouco favorável a culturas sensíveis a variações hídricas bruscas (Maroeulli & Silva, 2011).

- **Zona 2 – Lençol mais profundo em área com declive natural (Z2A e Z2B)**

A Zona 2 apresenta os níveis freáticos mais profundos (até 75 cm). Mesmo sem as cotas do terreno a topografia com declive acentuado é facilmente observável, esta contribui para o escoamento eficaz da água e, por consequência, para uma menor acumulação freática. Aliado a isso, o solo classifica-se como franco arenoso, oferecendo um bom equilíbrio entre drenagem e retenção hídrica como mencionado por Kitamura (2004).

Segundo Niero (2011), essas condições são favoráveis à implantação de culturas com sistema radicular mais profundo, uma vez que o lençol freático não interfere com o desenvolvimento radicular nem promove encharcamento. Esta zona, portanto, revela-se como a área de maior aptidão agrícola geral, desde que mantida a estabilidade do nível do lençol em períodos chuvosos.

- **Zona 3 – Lençol extremamente superficial em área baixa e com solo mais pesado (Z3A e Z3B)**

A Zona 3 apresenta o lençol mais superficial, com níveis próximos a 12 cm, situando-se numa área topograficamente baixa, o que impede o escoamento por gravidade. Além disso, o perfil textural indica um solo mais pesado (franco argilo arenoso entre 20–40 cm), o que segundo Buri *et. al* (2012) diminui a taxa de infiltração, aumenta a tendência ao acúmulo de água na zona radicular e é um indicativo de uma má drenagem.

Este cenário é particularmente desfavorável para culturas susceptíveis ao encharcamento, sobretudo durante períodos de precipitação intensa, podendo comprometer severamente o rendimento agrícola, como alerta Niero (2011). A ausência de um sistema de drenagem funcional agrava este risco. A Tabela 6 apresenta a interpretação agronómica integral dos resultados obtidos.

Tabela 6: Interpretação agronómica integrada dos resultados da textura e permeabilidade dos campos da APJC.

Local	Textura Predominante	Lençol Freático	Risco Agronómico	Aptidão Agrícola Potencial
Zona 1	Areia / Areia franca	Superficial, 20–40 cm	Lixiviação, baixa retenção hídrica	Limitada a culturas tolerantes à seca e variação
Zona 2	Franco arenoso	Mais profundo, até 75 cm	Baixo risco	Elevada – adequada a culturas de raízes profundas
Zona 3	Franco argilo arenoso (20–40)	Muito superficial, 12 cm	Encharcamento, compactação	Baixa – requer drenagem melhorada e seleção cuidadosa de culturas

A variação da profundidade do lençol freático reforça a necessidade de gestão diferenciada por zona, ainda que a textura do solo apresente relativa homogeneidade vertical (conforme Tabela 5). Alguns autores como Silveira (2016), Cooper *et. al* (2016) e Famba (2005) mencionam que as diferenças horizontais entre zonas e o comportamento do lençol freático influenciam de forma decisiva: a selecção de culturas; a definição de práticas de irrigação e drenagem; e o risco de perda de produtividade agrícola por encharcamento ou défice hídrico.

Estas informações devem servir de base para recomendações técnicas localizadas, incluindo a necessidade de instalação de drenos profundos em zonas baixas, melhoramento físico do solo na Zona 3 e aproveitamento estratégico da Zona 2 como área prioritária de produção.

4.3.1. Propriedades hidráulicas do solo: Implicações para a gestão hídrica e produtiva

A análise das propriedades hidráulicas do solo nas diferentes zonas da APJC, nomeadamente a condutividade hidráulica saturada (K_0) e a velocidade de infiltração básica (VIB), permite uma

leitura aprofundada do comportamento da água no solo e fornece subsídios importantes para a tomada de decisões agronómicas e de planeamento da produção.

4.3.2. Permeabilidade do solo

Por meio dos valores médios de K_0 para cada zona, observou-se maiores valores médios de K_0 nos solos da zona 3, seguido pela zona 1 e por fim a zona 2, podendo se concluir que os solos da zona 3, são os com maior capacidade de transporte de água e os da zona 2 com menor capacidade. A comparação dos valores médios de K_0 para cada zona, com a classificação da SCS (1994) citado por Quispe (2024), e aliado a percepção das características do solo de acordo com Kitamura (2004), revelou que:

- A Zona 3 apresenta o maior valor de K_0 (2,94 m/dia), sendo classificada como moderadamente elevada. Este valor indica uma grande capacidade de transporte da água no solo, possivelmente associada ao elevado teor de areia nas camadas superficiais e à proximidade do lençol freático (12–23 cm), que mantém o solo constantemente húmido e favorece a continuidade do fluxo de água.
- A Zona 1, com um valor de 1,32 m/dia, possui uma permeabilidade do tipo moderada, coerente com a sua textura arenosa e posição topográfica elevada. Embora tenha boa capacidade de infiltração, a baixa capacidade de retenção de água implica em risco de percolação excessiva e lixiviação de nutrientes.
- A Zona 2, com o menor valor de K_0 (0,66 m/dia), apresenta também uma permeabilidade classificada como moderada. Esta condição, combinada com a sua textura franco arenosa, profundidade maior do lençol freático e declive natural, representa a zona mais equilibrada hidraulicamente, com potencial agronómico elevado, especialmente para culturas com raízes mais profundas.

4.3.3. Infiltração da água no solo

A variação da infiltração acumulada ao longo do tempo (Figura 10) e os valores de VIB revelam resultados particularmente relevantes:

- A Zona 1 apresentou a maior VIB (14,92 mm/h), podendo ser classificado como um solo com velocidade de infiltração média, tendo uma infiltração acumulada constante e alcançando após cerca de 90 minutos a sua estabilidade. Este desempenho confirma a elevada porosidade superficial, típica de solos arenosos soltos, mas implica também baixa

retenção hídrica, o que favorece a drenagem (Kitamura, 2004), exigindo sistemas de irrigação mais frequentes e controlados.

- A Zona 2, com VIB de 4,13 mm/h, é classificada com uma velocidade de infiltração baixa, mas suficiente para culturas com exigências hídricas moderadas, desde que acompanhada por uma gestão adequada de irrigação e drenagem. A sua infiltração progressiva e constante denota um perfil mais compacto, mas ainda funcional, que segundo Portela *et al.* (2011) ocorre por condições físicas externas ao solo.
- A Zona 3 apresentou a menor VIB (0,76 mm/h), classificando-se com uma velocidade de infiltração baixa, mesmo sendo a que possui o maior valor de K_0 . Esta aparente contradição pode ser explicada pela elevada humidade inicial do solo, induzida pela proximidade extrema do lençol freático. Segundo Fuzer (2013), este comportamento é típico de solos que atingiram a sua capacidade de saturação, onde a infiltração à superfície é limitada pela ausência de gradiente de sucção entre as camadas. Além disso, a presença mais acentuada de limo e argila no horizonte 20–40 cm pode estar a restringir o escoamento vertical, o que segundo Buri *et al.* (2012) condiz com as características de solos franco argilo-arenoso devido a sua alta capacidade de retenção de água o que não favorece a drenagem.

Este padrão de baixa VIB é crítico, uma vez que, segundo Silva *et al.* (2011), solos com baixa infiltração tornam-se problemáticos para culturas sensíveis, pois a água de irrigação ou chuva intensa não penetra suficientemente rápido, aumentando o risco de encharcamento superficial.

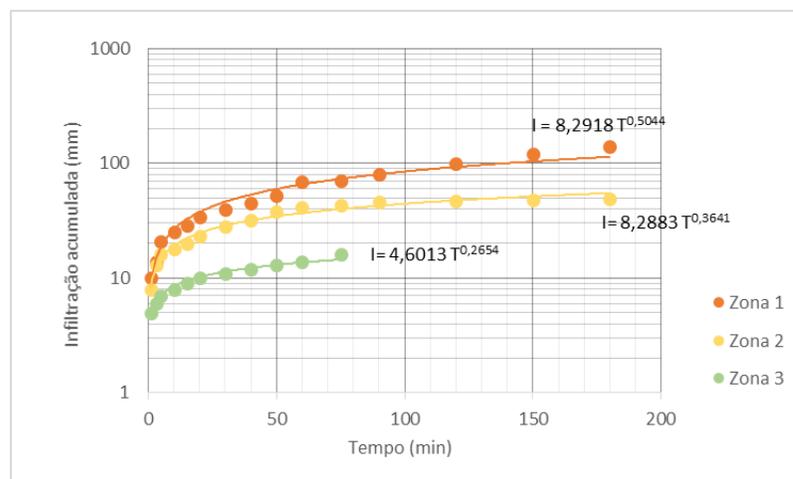


Figura 10: Variação temporal da taxa de infiltração acumulada nas 3 zonas.

4.3.4. Integração dos resultados: Análise comparativa e estratégica por zona

Com base na integração da textura, profundidade do lençol freático, condutividade hidráulica e infiltração (Tabela 7), é possível estabelecer o seguinte perfil comparativo:

Tabela 7: Análise comparativa e estratégica por zona.

Parâmetro / zona	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Textura	Areia / Areia franca	Franco arenoso	Franco argilo arenoso (20 – 40cm)
K_o (m/dia)	1,32 (moderada)	0,66 (moderada)	2,94 (moderadamente elevada)
VIB (mm/h)	14,92 (média)	4,13 (baixa)	0,76 (baixa)
Lençol freático	20– 37 cm (flutuante)	47– 75 cm (profundo)	12– 23 cm (muito superficial)
Topografia	Alta, com entrada lateral	Declive, favorece escoamento	Baixa, retém água
Risco de encharcamento	Baixo a médio	Baixo	Elevado
Aptidão agrícola	Baixa-média (cobertura leve)	Alta (culturas diversas)	Baixa (exige drenagem intensa)

Algumas considerações estratégicas podem ser resumidas nos seguintes termos:

- A Zona 2 deve ser priorizada como área de produção estratégica, dada a sua boa capacidade de retenção, permeabilidade funcional e profundidade do lençol freático adequada ao desenvolvimento radicular. Estas condições asseguram maior estabilidade hídrica e menor risco de encharcamento ou lixiviação.
- A Zona 1 exige gestão cuidadosa da irrigação e nutrientes, podendo ser utilizada para culturas de ciclo curto, tolerantes a secas e com baixo consumo hídrico, dado o seu carácter arenoso e baixa capacidade de retenção.
- A Zona 3 apresenta limitações sérias, com solo frequentemente saturado, baixa infiltração e presença de camadas compactas. Para ser aproveitada de forma produtiva, necessita

de intervenções estruturais em drenagem e escolha criteriosa de culturas tolerantes à humidade excessiva.

4.4. Atributos químicos da água de rega

Na APJC, a irrigação é realizada a partir de águas subterrâneas, geralmente aplicadas diariamente pelos produtores. Segundo Almeida (2010), toda água de irrigação contém sais solúveis em maior ou menor grau, cuja acumulação nos solos depende, fundamentalmente, das suas características físicas e da existência de um sistema de drenagem eficiente que permita a lixiviação desses sais.

A condutividade eléctrica da água (CEa), um dos principais indicadores de salinidade, apresentou valores entre 602 e 1304 $\mu\text{S}/\text{cm}$ nas amostras colectadas (Figura 11). De acordo com a classificação de Richards (1954), citada por Alencar (2007), estes valores situam-se na classe 3 (salinidade elevada), o que representa risco elevado de salinização, especialmente em solos mal drenados ou sujeitos à saturação hídrica – como é o caso da Zona 3, já identificada como problemática no capítulo anterior.

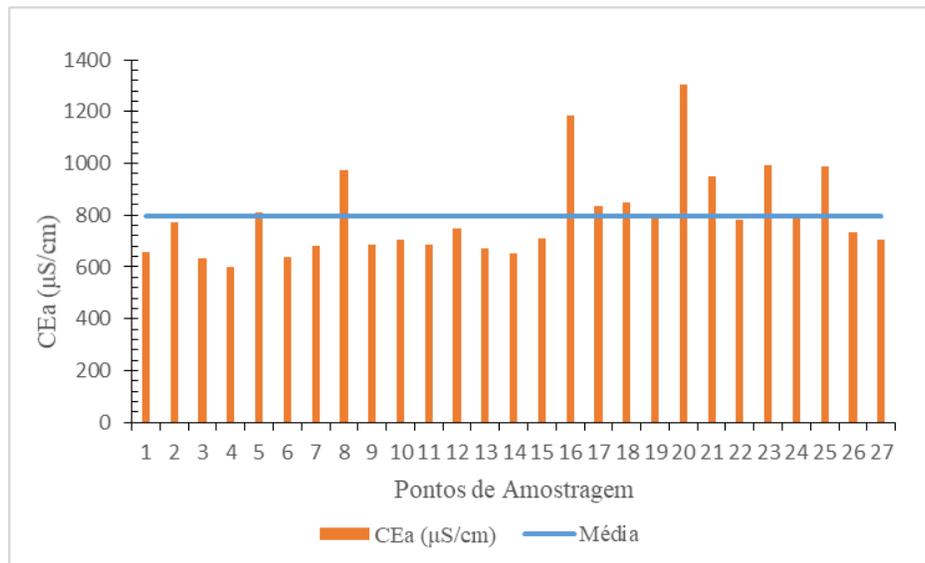


Figura 11: Valores obtidos de CEa.

Este perfil de CEa é comparável aos resultados obtidos por Vasconcelos *et al.* (2019), que observaram variações pouco significativas na CEa de águas subterrâneas, atribuídas a baixos fluxos e acúmulo de água estagnada no subsolo, condições estas, que também podem ter se verificado em algumas zonas da APJC, sobretudo nas áreas de lençol freático mais superficial.

Do ponto de vista agronómico, a tolerância das culturas à salinidade varia significativamente. Santos e Brito (2016) referem que algumas culturas apresentam tolerância a água com um nível de salinidade que varia de média a alta, como é o exemplo, da beterraba que tolera até 2700 $\mu\text{S}/\text{cm}$, do espinafre até 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$, e da alface até 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Assim, a utilização desta água pode ser aceitável para culturas moderadamente tolerantes à salinidade (como é o caso da alface), desde que associada a práticas de gestão racional da irrigação e a solos com boa capacidade de drenagem (Medeiros, Silva, Sarmiento, & Barros, 2007).

No que diz respeito ao pH da água de irrigação, os valores registados nas amostras (Figura 12) indicam uma acidez ligeiramente abaixo da faixa ideal (6,5 a 8,4), definida por Ayers e Westcot (1985). Embora Nakayama (1982) refira que não há restrições para uso de água com pH inferior a 7, Almeida (2010), por outro lado, afirma que valores persistentemente baixos (<4) podem ser indicativos de presença de iões tóxicos, afectando a actividade microbiana do solo.

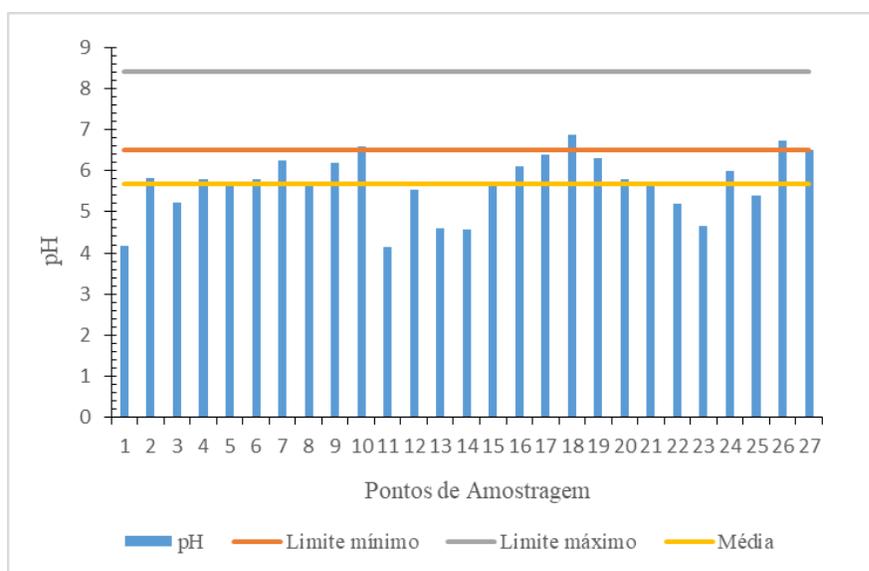


Figura 12: Valores obtidos de pH.

Segundo Fageira *et al.* (2011) e Célico (2015), o uso contínuo de água com pH muito ácido ($\text{pH}<4$) pode promover a acidificação do solo, reduzir a decomposição da matéria orgânica e comprometer a fixação biológica do azoto, afectando a disponibilidade e toxicidade de diversos nutrientes e compostos químicos. Ainda que Maia *et al.* (1998) ressaltem que as alterações provocadas no solo por variações de pH são lentas, e que a correcção deve incidir preferencialmente sobre o solo, a

monitorização constante da qualidade da água torna-se fundamental, sobretudo num sistema onde o solo já apresenta limitações físicas importantes, como observado nas zonas 1 e 3.

A interpretação da qualidade da água adquire especial relevância quando cruzada com os resultados anteriores:

- Na Zona 3, onde o lençol freático é muito superficial e a infiltração é extremamente baixa, o uso contínuo de água com salinidade elevada poderá acelerar o processo de salinização do solo, uma vez que o excesso de sais não consegue ser removido adequadamente. A baixa taxa de infiltração e a ausência de um sistema de drenagem funcional agravam o problema.
- A Zona 1, embora bem drenada e com boa infiltração, possui solos muito arenosos, com baixa capacidade de retenção. Nestas condições, a água salina pode não causar salinização, mas aumentará os riscos de lixiviação de nutrientes, comprometendo a fertilidade do solo a médio prazo.
- A Zona 2, por ter infiltração controlada, permeabilidade moderada e drenagem natural por declive, mostra-se como a área mais adequada para o uso desta água, desde que se mantenha o controlo da irrigação e o acompanhamento periódico da salinidade no solo.

De uma maneira geral, o pH apesar de encontrar-se fora do padrão pré-estabelecido (6,5 a 8,4), não apresenta um factor de grande risco para as culturas, pois seu valor médio ($\text{pH}_{\text{médio}}=5,5$) garante uma boa solubilidade dos compostos e conseqüentemente maior facilidade na absorção de nutrientes, permitindo um bom desenvolvimento para as hortícolas, embora, possam ser corrosivos aos materiais de irrigação (Silva, Fontes, Tavella, Oliveira, & Oliveira, 2011).

4.5. Proposta de medidas técnico-administrativas para o melhoramento do sistema de drenagem da APJC

Com base nas análises realizadas neste estudo, que evidenciaram deficiências graves na estrutura física do sistema de drenagem, baixa eficiência hidráulica em zonas específicas (nomeadamente na zona 3), variações significativas na textura e infiltração do solo, bem como o risco de salinização provocado pela irrigação com água subterrânea, propõem-se, na Tabela 8, medidas técnico-administrativas sustentáveis e de baixo custo. Estas medidas visam garantir a manutenção e funcionalidade do sistema de drenagem, com o envolvimento activo dos produtores, autoridades locais e parceiros institucionais.

A implementação das medidas propostas exige não apenas esforço técnico, mas também coordenação administrativa, envolvimento comunitário e apoio institucional. O sucesso dependerá da capacidade da APJC em mobilizar os produtores, integrar a gestão da drenagem nas suas estratégias organizativas e articular parcerias com actores externos.

Estas acções, quando alinhadas com o diagnóstico técnico realizado, permitirão melhorar a eficiência do sistema de drenagem, mitigar os riscos de encharcamento e salinização, e promover um ambiente agrícola mais produtivo e resiliente.

Tabela 8: Propostas técnico-administrativas para o melhoramento do sistema de drenagem da APJC.

Problemas Identificados	Causas Prováveis	Medidas Propostas
Falta de financiamento para manutenção	Ausência de modelo de gestão colectiva; custo elevado de mão-de-obra; responsabilidade individualizada.	<ul style="list-style-type: none"> - Criação de grupos de manutenção entre produtores (mutualismo); - Estabelecimento de um fundo comum com contribuições mensais; - Parcerias com ONG e projectos agrícolas para financiamento pontual.
Gestão ineficiente do sistema	Fiscalização limitada ao “chefe das valas”; ausência de normas internas.	<ul style="list-style-type: none"> - Elaboração participativa de um regulamento interno simples, com regras de manutenção e penalizações; - Incorporação da gestão do sistema de drenagem no plano estratégico da APJC; - Propostas de regulação submetidas às autoridades locais.
Baixa adesão dos produtores a campanhas de limpeza	Falta de sensibilização, orientação técnica e responsabilização clara.	<ul style="list-style-type: none"> - Realização periódica de sessões educativas sobre os prejuízos do alagamento e a importância da drenagem; - Formação prática em técnicas sustentáveis de conservação da água e do solo.

Problemas Identificados	Causas Prováveis	Medidas Propostas
Ausência de medidas preventivas a alagamentos (zona 3)	Valas rasas e entupidas; falta de planos de contingência.	<ul style="list-style-type: none"> - Realização periódica da desobstrução manual das valas; - Elaboração de um plano de contingência para a época chuvosa, incluindo mapeamento das áreas de risco; - Promoção de culturas adaptadas a solos húmidos (ex: arroz, agrião) em zonas críticas.
Problemas hidráulicos e variações no solo	Compactação natural, práticas desiguais e desníveis topográficos.	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicação de matéria orgânica e cobertura morta para melhoria da estrutura do solo; - Aprofundamento das valas em áreas de solo saturado; - Reestruturação e ligação da vala principal aos drenos de campo.
Risco de salinização do solo (zonas 1 e 3)	Uso contínuo de água com CEa elevada e solos mal drenados.	<ul style="list-style-type: none"> - Monitorização regular da condutividade eléctrica do solo e da água; - Reforço da drenagem superficial e subsuperficial em áreas de maior risco; - Rotação de culturas com espécies tolerantes à salinidade.

V. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este capítulo apresenta as principais conclusões e recomendações resultantes da análise do sistema de drenagem instalado nos campos da APJC, com base nos dados obtidos sobre as características físicas, hidráulicas e químicas do solo e da água, bem como nas observações de campo sobre o funcionamento do sistema. As conclusões sintetizam os elementos mais relevantes identificados ao longo do estudo, permitindo compreender as limitações actuais do sistema e orientar propostas de intervenção. Com base nesse diagnóstico, são também apresentadas recomendações voltadas para futuras investigações, acções de gestão e possíveis apoios institucionais, no sentido de promover a melhoria da eficiência e sustentabilidade do sistema de drenagem na APJC.

5.1. Conclusões

- a) Constatou-se que o sistema de drenagem da APJC apresenta os componentes básicos descritos na literatura técnica. No entanto, a sua gestão é deficitária, devido à escassa manutenção das infraestruturas, à ausência de limpeza regular das valas, causada por limitações financeiras, e à fraca participação dos produtores em actividades colectivas.
- b) Verificou-se que o sistema instalado é parcialmente ineficiente, uma vez que não assegura o escoamento completo da água para fora da área agrícola. A análise textural indicou solos variando entre areia franca e franco arenoso, o que justifica, em parte, os valores de permeabilidade registados. Contudo, os parâmetros de condutividade hidráulica (K_0) e velocidade de infiltração básica (VIB) não apresentaram uma relação directa, provavelmente devido a factores extrínsecos do solo em campo. Conclui-se, por isso, que não se deve estimar um parâmetro em detrimento do outro.
- c) A água subterrânea utilizada na irrigação não representa risco imediato para o solo ou culturas, mas o seu uso contínuo exige uma gestão criteriosa da água e do solo, associada a práticas de lixiviação de sais, especialmente em zonas mal drenadas.
- d) Com base nos resultados, foram elaboradas propostas técnico-administrativas com vista a otimizar o funcionamento e a gestão do sistema, destacando-se: a limpeza colectiva periódica das valas, o aprofundamento das mesmas, a reabilitação da vala principal e a definição de normas internas de gestão participativa.

5.2. Recomendações

Para futuras pesquisas:

- a) Realizar estudos semelhantes em diferentes épocas do ano e em outras áreas da Baixa das Mahotas, com duplicação das repetições dos ensaios e inclusão de análises mais detalhadas da textura e estrutura do solo;
- b) Desenvolver estudos para o redimensionamento do sistema de drenagem, ajustado às especificidades topográficas e hidráulicas locais;
- c) Aplicar técnicas de sensoriamento remoto para mapear a intensidade e extensão dos alagamentos;
- d) Alargar o monitoramento do lençol freático, com mais pontos de amostragem e comparação entre diferentes associações ao longo do tempo.

Para a Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal:

- Considerar a implementação de uma taxa reduzida para análises laboratoriais do solo, destinada aos estudantes que pretendam realizar pesquisas independentes em campo, como forma de incentivo à produção científica aplicada.

5.3. Limitações metodológicas

Embora os resultados tenham contribuído para uma melhor compreensão do sistema de drenagem da APJC, o estudo enfrentou as seguintes limitações:

- a) Período curto de observação do lençol freático e área limitada para a realização dos ensaios de permeabilidade e infiltração;
- b) Ausência de dados históricos sobre a manutenção da infraestrutura de drenagem;
- c) Restrições financeiras, que limitaram a abrangência e continuidade do trabalho de campo.

VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, R. D. (2007). Monitoramento da qualidade da água de poços no calcário jandaíra e restrições na agricultura irrigada. Dissertação de mestrado, p.21. Mossoró: UFERSA.
- Almeida, O. A. (2010). Qualidade da água de irrigação. Cruz das Almas-BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura, pp. 72-73.
- Armazia, H. d. (2014). Desempenho da rega por sulcos na estação agrária do Umbeluzi-Distrito de Boane (Dissertação de mestrado) . Engenharia Rural . Maputo: UEM, pp.20-49.
- Atkins, P., & Jones, L. (2012). Princípios de Química: Questionando a vida moderna e o meio ambiente. Porto-Alegre: Bookman, pp. 431-433.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). Water Quality for Agriculture. Rome: FAO Irrigation and Drainage Paper 29, pp. 8-33.
- Brandão, S. L., & Lima, S. d. (2002). pH e Condutividade Eléctrica em solução do Solo, em áreas de Pinus e Cerrado na Chapada, em Uberlândia (MG). UFU. Brasil: Caminhos de geografia, pp. 47 .
- Buri, M., Issaka, R., Senayah, J., Fujii, H., & Wakatsuki, T. (2012). Lowland Soils for Rice Cultivation in Ghana. Ghana: Researchgate.net. DOI: 10.5772/27811.
- Carvalho, D. F., & Da Silva, L. D. (2006). Hidrologia- Capítulo 5 Infiltração. Brasil-Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pp. 60-70.
- Cecílio, R. A., Silva, D. D., Pruski, F. F., & Martinez, M. A. (2003). Modelagem da infiltração de água no solo sob condições de estratificação utilizando-se a equação de Green-Ampt. Em UFCG (Ed.). Campina Grande, PB: Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental, pp.415-422.
- Célico, A. S. (2015). Influência da adubação orgânica na qualidade da água destinada a irrigação de hortaliças- Dissertação de mestrado. Jaboticabal: UNESP, pp.12-13.
- Censo. (2007). Recenseamento geral da população e habitação 2007- Indicadores sócio-demográficos. Maputo.

- Climate Data. (Maio de 2022). Clima Maputo: Temperatura, tempo e dados climatológicos. Obtido de <https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/maputo/marracuene-47426>
- Cooper, M., Mazza, J., Silva, L. d., & Oliveira, T. (2016). Arquitetura e Propriedades Físicas do Solo, LSO 310-Física do solo. USP, pp. 1-11.
- Costa, R. N. (2004). Condutividade hidráulica do solo saturado-notas da aula 02. Universidade Federal do Ceará, Engenharia agrícola. Brasil: UFC, pp. 1.
- Costa, R. N. (2008). Drenagem Agrícola. Universidade Federal do Ceará, Engenharia Agrícola. Fortaleza-CE: UFC, pp. 6-32.
- Easton, Z. M. (2016). Factors When Considering an Agricultural Drainage System. College of Agriculture and Life Sciences. Petersburg: Virginia Cooperative Extension, pp. 1-5.
- Fageira, N. K., Baligar, V. C., & Jones, C. A. (2011). Growth and Mineral Nutritions of Field Crops (3 ed.). New York-London: CRC Press, pp. 71-72.
- Famba, S. (2005). Rega e Drenagem- Notas para aulas teóricas. (Departamento de Engenharia Rural, Ed.) Maputo: UEM-Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal, pp. 103-108.
- FAO. (1996). Drainage of Irrigation Lands: Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Fernando, D. M. (2018). Irradicação solar global para cidade de Maputo- Moçambique: Evolução temporal das medidas, estudo da cobertura do céu e modelagem estatística-Dissertação de mestrado. Botucatu: unesp, pp. 25.
- Ferreira, P. A. (2001). Drenagem. In: Curso de engenharia de irrigação. Módulo XI. Brasília: Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior.
- Fiorin, T. T. (2008). Estimativa da infiltração de água no solo a partir de pedofunções.-Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. Brasil-Santa Maria, RS: UFSM, pp. 4.
- Fuzer, H. (2013). Estudo da velocidade de infiltração básica (VIB) no solo da bacia do rio Mourão-Dissertação. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Construção civil. Campo Mourão: UFTPR, pp. 12-32.

- Gomes, F. (1986). As possibilidades para a Agricultura para uma Parte de Baixa Costeira (Distrito de Maputo). Parte B: Aspectos agrohidrológicos. Possibilidades de drenagem.-Nota técnica n°50B. Maputo: Instituto Nacional de Investigação Agronómica (INIA), pp. 5-19.
- Gomes, T. A., & Costa, K. S. (2016). Estudo do coeficiente de permeabilidade em ensaios de poço pelo padrão ABGE: Complexo alcalino carbonatítico do barreiro (CACB), Araxá-MG. XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (pp. 1-2). Brasil-MG: Revista Águas Subterrâneas.
- Gurovich, L., & Oyarce, P. (2015). New Approaches to Agricultural Land Drainage: A Review. Chile: Irrigation & Drainage Systems Engineering, pp. 1-5.
- ICID. (1982). ICID Standard 109, Construction of Surface Drains. ICID Committee on Irrigation and Drainage Construction Techniques, ICID Bulletin 31.
- INAM. (2008). (Instituto Nacional de Meteorologia), Climate Change and Development-Adapting by Reducing vulnerability. Atlas de precipitação em Moçambique (1951-2008). Maputo.
- Iritani, M. A., & Ezaki, S. (2008). As águas subterrâneas do estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente, pp. 16-23.
- Kitamura, A. E. (2004). Inter-relações da variabilidade espacial da granulometria do solo e a produtividade do feijoeiro sob plantio direto-Dissertação de Mestrado em Agronomia. São Paulo-Brasil: UNESP, pp.109.
- Leal, I. F. (2011). Classificação e Mapeamento Físico-Hídricos de Solos do Assentamento Agrícola Sebastiao Lan II-Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Silva Jardim – RJ: UFRJ, pp. 122.
- Libardi, P. L. (2005). Dinâmica da água no solo. (Vol. 61). São Paulo: EDUSP.
- Lyra, M. R., Rolim, M. M., & Silva, J. A. (2003). Topossequência de solos fertigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol freático. vol. 7, pp. 525-532.
- Macedo, L. d., De Souza, M. R., & Morril, W. B. (2007). Drenagem para controle da salinidade (2 ed., Vol. 1). João Pessoa: Tecnologia e ciência agropecuária, pp. 69-70.

- Maia, Celsemy Eleutério; Morais, Elís Regina Costa de; Oliveira, Maurício De. (1998). Qualidade da Água para Irrigação em Amostras Analíticas do Banco de Dados do Departamento de Solos e Geologia da Escola Superior de Agricultura de Mossoró. Mossoró-Rn: Revista Caatinga, pp.75-83.
- Maroeulli, W. A., & Silva, W. L. (2011). Seleccção de sistemas de irrigação para hortaliças. (pp. 2-8). Brasília: Embrapa Hortaliças.
- Maziero, T. A., Carneiro, P. H., & Wendland, E. C. (2004). Determinação da condutividade hidráulica de aquífero freático em área urbana do município de São Carlos, SP. XIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas (pp. 6-14). Brasil-SP: Revista Águas Subterrâneas .
- Medeiros, J. F., Silva, M. C., Sarmiento, D. H., & Barros, A. D. (2007). Crescimento do meloeiro cultivado sob diferentes níveis de salinidade, com e sem cobertura do solo. UFCG. Campina Grande-PB: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, pp. 248-255.
- Mello, J. L. (2009). Drenagem agrícola. Instituto de Tecnologia, Departamennto de Engenharia. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pp. 1-6.
- Miranda, P. D. (2018). O solo e sua permeabilização-Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira: UFTFPR, pp. 14-19.
- Muanamoha, R. C., & Raimundo, I. M. (2018). Cartografia da migração interna em Moçambique entre 1997 e 2007 (54 ed., Vol. 26). Brasília: REMHU, pp. 31-59.
- Nakayama, F. S. (1982). Water analysis and treatment techniques to control emitter plugging. Proc. Irrigation Association Conference. Portland,Oregan.
- Niero, R. Z. (2011). Acompanhamento do nível freático e determinação da condutividade hídrica do solo na fazenda experimental da Ressacada CCA- Dissertação. Florianópolis: UFSC, pp. 12-34.
- Pais, A. d. (2011). Estudo da ocorrência e estado de conservação da *Raphia australis* Oberm. Strey na Reserva Botânica de Bobole.-Dissertação. Departamento de Engenharia Florestal. Maputo: UEM-FAEF, pp.11-12.

- Peixoto, V. C. (2011). Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana.-Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos: USP, pp. 44-47.
- Pimentel, J. d. (2013). Os espaços abertos públicos da cidade de Maputo. BR: Resolução da Comissão Permanente da Assembleia Popular (CP AP) n° 5/80, pp. 116.
- Portela, J. C., Cogo, N. P., Amaral, A. J., Gilles, L., Bagatini, T., Chagas, J. P., & Portz, G. (2011). Hidrogramas e sedimentogramas associados à erosão hídrica em solo cultivado com diferentes sequências culturais, com diferentes condições físicas na superfície. Revista Brasileira de ciência do solo, vol. 35, pp. 227-228.
- Quispe, M. C. (2024). Desempenho de um sistema de drenagem subterrânea e análise econômico-social da produção de coco em solo recuperado da degradação por sais- Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Ceará, Engenharia Agrícola. Fortaleza: UFC. pp. 29-54.
- Reinert, D. J., & Reichert, J. M. (2006). Propriedades físicas do solo. Santa Maria: Universidade de Santa Maria: Departamento de Solos, centro de ciências rurais, pp. 2-3.
- Ritzema, H. P. (2006). Drainage Principles and Applications. The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), pp. 23-29.
- Rodrigues, M. (2024). Causas das Inundações Cíclicas em Maputo: mudanças climáticas ou deficientes políticas públicas de ordenamento territorial. Crimes Ambientais, pp. 1-10. Obtido em Fevereiro de 2025, de www.cipmoz.org
- Salazar, C. R. (1988). Drenagem Agrícola: Relações na produção e procedimentos de diagnóstico. Petrolina: EMBRAPA.
- Santos, M. R., & Brito, C. F. (2016). Irrigação com água salina, opção agrícola consciente (1 ed., Vol. 7). Ipameri: Revista Agrotecnologia, pp. 33-41.
- Schultz, B., Zimmer, D., & Vlotman, W. F. (2007). Drainage Under Increasing and changing requirements (Vol. 56). Irrigation and Drainage, S3-S22. doi:10.1002/ird.372

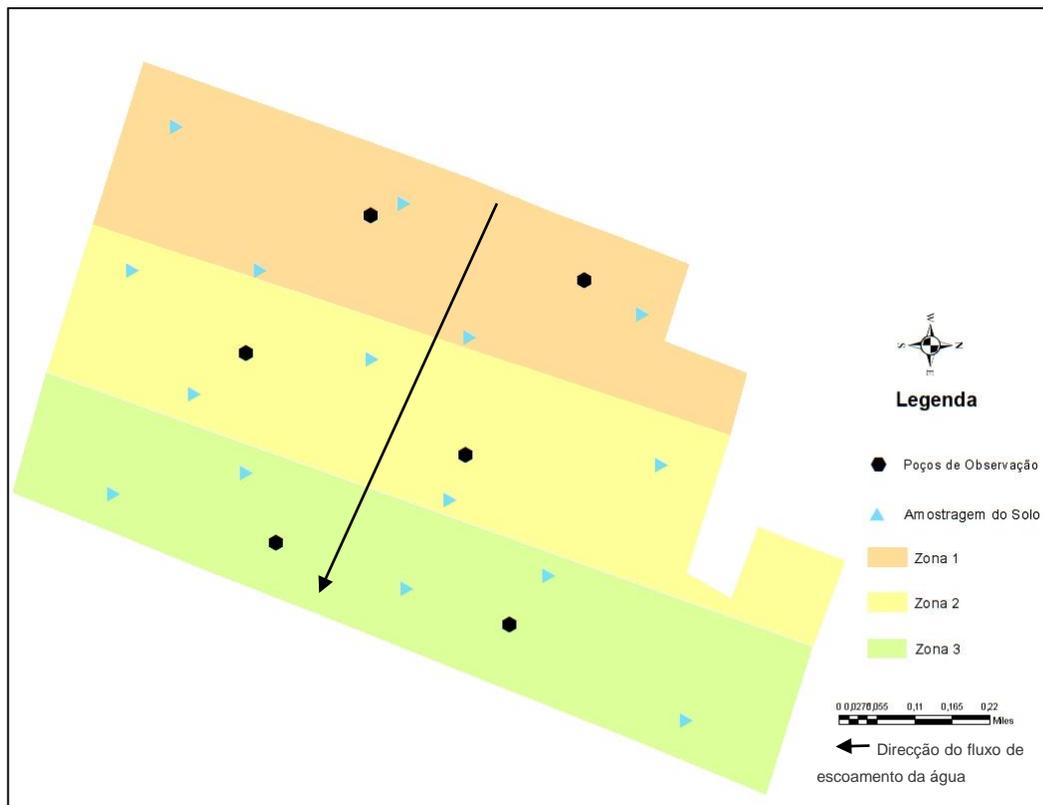
- Senjobi, B. A., & Ogunkunle, A. O. (2011). Effect of Different Landuse Types and their Implications on Land Degradation and Productivity in Ogun State. (Vol. 3). Nigeria: Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable development, pp. 7-18.
- Silva, Í. N., Fontes, L. d., Tavella, L. B., Oliveira, J. B., & Oliveira, A. C. (2011). Qualidade da água para irrigação- Revisão de Literatura. Em UFCG (Ed.). 7, pp. 01 - 15. Brasil, PB: Agropecuária Científica no Semi-árido (ACSA).
- Silveira, G. M. (2010). Análise de sensibilidade de hidrogramas de projeto aos parâmetros de sua definição indireta.- Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, pp. 78-79.
- Silveira, R. N. (2016). Curso de drenagem e controle de salinidade na irrigação. ANA. Fortaleza, CE: INOVAGRI/IFCE, p.11.
- Singh, A. (2018). Assessment of different strategies for managing the water resources problems of irrigated agriculture (Vol. 208). India: Agricultural water management, pp. 187-192.
- Sitoe, T. A. (2008). Evolução dos Sistemas Agrários no Vale do Infulene, Cidade da Matola, - Província de Maputo: Uma abordagem sistémica. Uni-FACEF. São Paulo: Centro Universitário de Franca, pp. 6-8.
- Sitoe, T. A. (2010). Diversificação produtiva e de actividades de geração de renda: uma análise da produção de hortícola no cinturão verde na cidade de Maputo-região sul de Moçambique- Dissertação de Pós-graduação. Faculdade de Ciências Económicas. Porto Alegre: UFRGS, pp. 1.
- United Nations. (2022). World Population Prospects 2022. Department of Economic and Social Affairs, Population Division, p. 3.
- Van Beers, W. F. (1983). The auger hole method. Em A field measurement of the hydraulic conductivity of soil below the water table. (pp. 4-17). The Netherlands: ILRI-International institute for land reclamation and improvement .
- Vasconcelos, M. B., Cajazeiras, C. C., & Sousa, R. R. (2019). Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região nordeste do Brasil. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos.

APÊNDICES

APÊNDICE A: QUESTIONÁRIO DA ENTREVISTA

1. Como é estruturado o sistema de drenagem nos campos da Associação Joaquim Chissano?
2. Quais são os principais componentes e infraestruturas envolvidas?
3. É promovido algum tipo de consciencialização dos produtores sobre a importância da manutenção das valas de drenagem? Se sim, quais estratégias têm sido eficazes para incentivar a sua participação activa?
4. Quais são as responsabilidades específicas da direcção da Associação Joaquim Chissano em relação à gestão e manutenção das infraestruturas de drenagem, e como estas são entre a direcção da associação e os produtores para assegurar o bom funcionamento do sistema de drenagem?
5. Existe alguma legislação local ou normativa específica que regula a gestão do sistema de drenagem agrícola? Em caso afirmativo, como elas são aplicadas na prática?
6. Como a associação lida com as áreas propensas a alagamentos nos campos durante períodos de chuva intensa?
7. Existem planos de contingência ou medidas preventivas implementadas para mitigar os riscos de alagamento?
8. Como são financiadas as actividades de manutenção e melhoramento do sistema de drenagem? Existem taxas ou contribuições dos produtores para esses fins?
9. Quais são os desafios financeiros enfrentados pelos produtores na sustentação do sistema de drenagem ao longo do ano?
10. Como é avaliada a eficácia do sistema de drenagem durante períodos de chuvas intensas e durante a estação seca?
11. Quais são os principais desafios enfrentados na manutenção e operação do sistema de drenagem ao longo do ano?
12. Que medidas específicas têm sido consideradas ou implementadas para melhorar a capacidade de drenagem nos campos da associação?

APÊNDICE B: MAPA DE REPRESENTAÇÃO DA DIVISÃO DA ÁREA DE ESTUDO



APÊNDICE C: DADOS DA PERMEABILIDADE

Tabela 9: Dados de permeabilidade para zona 1.

R = 44 cm			r = 4 cm			D' = 108 cm		
W' = 64 cm			H = D' - W' = 44 cm					
Leitura 1			Leitura 2					
t (s)	Y(n)	y _o - y _n (cm)	t (s)	Y(n)	y _o - y _n (cm)			
0	90,3	-	0	90	-			
10	88,4	1,9	10	89	1			
20	87,1	1,3	20	88,2	0,8			
30	85,8	1,3	30	87,7	0,5			
40	84,6	1,2	40	87,3	0,4			
50	83,9	0,7	50	86,9	0,4			
60	83,2	0,7	60	86,6	0,3			

Tabela 10: Dados de permeabilidade para zona 2.

R = 44 cm			r = 4 cm			D' = 158 cm		
W' = 104 cm			H = D' - W' = 54 cm					
Leitura 1			Leitura 2					
t (s)	Y(n)	y _o - y _n (cm)	t (s)	Y(n)	y _o - y _n (cm)			
0	148	-	0	147	-			
10	146,6	1,4	10	145,1	1,9			
20	145,6	1	20	144,6	0,5			
30	144,6	1	30	144,3	0,3			
40	143,6	1	40	144,2	0,1			
50	143	0,6	50	144,1	0,1			
60	142,5	0,5	60	144	0,1			

Tabela 11: Dados de permeabilidade para zona 3.

R = 44 cm			r = 4 cm			D' = 158 cm		
W' = 104 cm			H = D' - W' = 54 cm					
Leitura 1			Leitura 2					
t (s)	Y(n)	y _o - y _n (cm)	t (s)	Y(n)	y _o - y _n (cm)			
0	94	-	0	92	-			
10	91	3	10	89	3			
20	88	3	20	86,5	2,5			
30	86	2	30	84,5	2			
40	84	2	40	83,5	1			
50	83	1	50	82,5	1			
60	82	1	60	82	0,5			

**APÊNDICE D: DADOS E CÁLCULOS REALIZADOS PARA OBTENÇÃO DA
VELOCIDADE DE INFILTRAÇÃO**

Tabela 12: Determinação de infiltração acumulada na zona 1.

Hora	Intervalo (min)	Tempo Acumulado (min)	Leitura (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)
08:50	0	-	15	-	-	-
08:51	1	1	14	1	1	10
08:53	2	3	13,6	0,4	1,4	14
08:55	2	5	12,9	0,7	2,1	21
09:00	5	10	12,5	0,4	2,5	25
09:05	5	15	12,1	0,4	2,9	29
09:10	5	20	11,6	0,5	3,4	34
09:20	10	30	11	0,6	4	40
09:30	10	40	10,5	0,5	4,5	45
09:40	10	50	9,8	0,7	5,2	52
09:50	10	60	8,1	1,7	6,9	69
10:05	15	75	7,9	0,2	7,1	71
10:20	15	90	7*	0,9	8	80
10:50	30	120	12	2	10	100
11:20	30	150	10	2	12	120
11:50	30	180	8	2	14	140

*Reabastecimento do anel até 14 cm do nível de água.

Tabela 13: Determinação de infiltração acumulada na zona 2.

Hora	Tempo		Leitura (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)
	Intervalo (min)	Acumulado (mm)				
08:20	0	-	15	0	-	-
08:21	1	1	14,2	0,8	0,8	8
08:23	2	3	13,7	0,5	1,3	13
08:25	2	5	13,4	0,3	1,6	16
08:30	5	10	13,2	0,2	1,8	18
08:35	5	15	13	0,2	2	20
08:40	5	20	12,7	0,3	2,3	23
08:50	10	30	12,2	0,5	2,8	28
09:00	10	40	11,8	0,4	3,2	32
09:10	10	50	11,2	0,6	3,8	38
09:20	10	60	10,9	0,3	4,1	41
09:35	15	75	10,7	0,2	4,3	43
09:50	15	90	10,4	0,3	4,6	46
10:20	30	120	10,3	0,1	4,7	47
10:50	30	150	10,2	0,1	4,8	48
11:20	30	180	10,1	0,1	4,9	49

Tabela 14: Determinação de infiltração acumulada na zona 3.

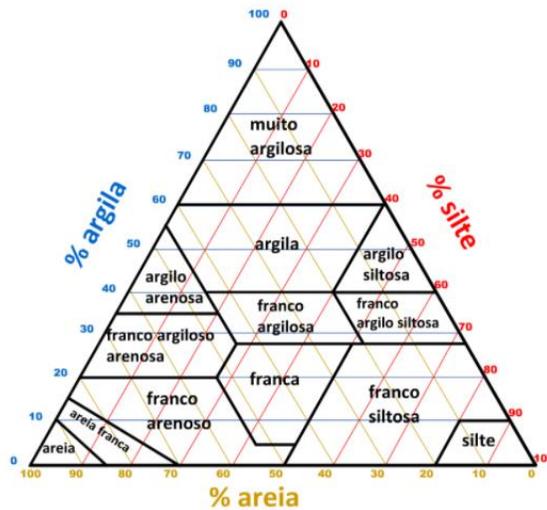
Hora	Tempo		Leitura (cm)	Infiltração (cm)	Infiltração Acumulada (cm)	Infiltração Acumulada (mm)
	Intervalo (min)	Acumulado (min)				
08:29	0	-	15	-	-	-
08:30	1	1	14,5	0,5	0,5	5
08:32	2	3	14,4	0,1	0,6	6
08:34	2	5	14,3	0,1	0,7	7
08:39	5	10	14,2	0,1	0,8	8
08:44	5	15	14,1	0,1	0,9	9
08:49	5	20	14	0,1	1	10
08:59	10	30	13,9	0,1	1,1	11
09:09	10	40	13,8	0,1	1,2	12
09:19	10	50	13,7	0,1	1,3	13
09:29	10	60	13,6	0,1	1,4	14
09:44	15	75	13,4	0,2	1,6	16

APÊNDICE E: COORDENADAS DE AMOSTRAGEM DA ÁGUA

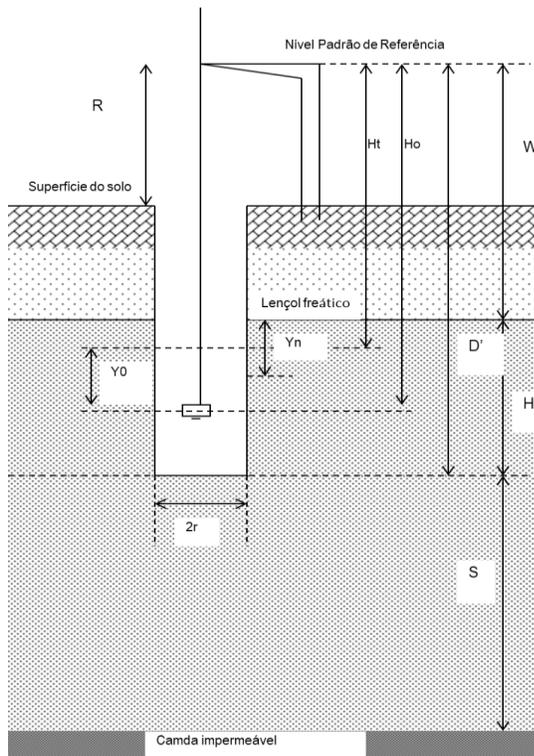
Pontos	Sul	Este	CEa ($\mu\text{S/cm}$)	pH
1	25.89003°	032.62976°	657	4,17
2	25.88965°	032.63087°	774	5,82
3	25.88839°	032.63208°	633	5,22
4	25.88686°	032.63131°	602	5,79
5	25.88535°	032.63190°	811	5,7
6	25.88333°	032.63257°	640	5,79
7	25.88381°	032.63396°	680	6,24
8	25.88283°	032.63358°	973	5,74
9	25.88331°	032.63258°	685	6,18
10	25.89133°	032.62976°	707	6,6
11	25.89005°	032.63087°	684	4,14
12	25.88898°	032.63208°	747	5,54
13	25.88732°	032.63131°	673	4,6
14	25.88508°	032.63190°	653	4,56
15	25.88424°	032.63257°	708	5,7
16	25.88402°	032.63396°	1187	6,1
17	25.88222°	032.63358°	833	6,38
18	25.88205°	032.63258°	847	6,86
19	25.89177°	032.63308°	800	6,29
20	25.88942°	032.63385°	1304	5,8
21	25.88859°	032.63304°	948	5,61
22	25.88815°	032.63441°	784	5,2
23	25.88646°	032.63532°	993	4,66
24	25.88194°	032.63624°	797	6
25	25.88315°	032.63493°	986	5,38
26	25.88553°	032.63382°	734	6,73
27	25.888546°	032.63322°	706	6,51

ANEXOS

Anexo 1: Diagrama triangular utilizado para a classificação textural do solo.



Anexo 2: Representação da instalação de um “Auger Hole”



Onde:

H = é a distância desde o lençol freático até o fundo do buraco (cm)

R = a distância desde o ponto de referência até à superfície do solo (cm)

W' = a distância desde o ponto de referência até o lençol freático (cm)

D' = a distância desde o ponto de referência até o fundo do buraco (cm)

r = é o raio do buraco (cm)

S = a distância desde o fundo do buraco até a camada impermeável (cm)

H_o = a distância entre o nível do lençol freático e a superfície de água no buraco, depois da remoção da água na altura da primeira leitura (cm)

H_t = a altura do nível de água no buraco no tempo t (cm)

y_n, y_0 = profundidade da água no tempo t_0 e t_n