



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO SEM BOMBAGEM: CASO DO
REGADIO 7 DE ABRIL-1, DISTRITO DE VANDUZI.**

Márcio Xavier Basílio Adamo

Maputo, Junho de 2022



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
ASPERSÃO SEM BOMBAGEM: CASO DO REGADIO 7 DE ABRIL-1, DISTRITO DE
VANDUZI.**

Márcio Xavier Basílio Adamo

Dissertação a ser submetida ao Departamento de Pós-graduação da Faculdade de Engenharia, em cumprimento de requisito parcial para obtenção do grau acadêmico de mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, especialidade de Gestão de Água e Obras Hidráulicas.

Supervisor: Prof. Doutor Sebastião Famba

Maputo, Junho de 2022

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida;

Ao meu supervisor, Prof. Doutor Sebastião Famba pelos ensinamentos, disponibilidade, paciência e alto nível de exigência na orientação deste trabalho;

Ao Prof. Doutor Mário Chilundo pelos questionamentos, alto nível de exigência e sugestões de melhoria do trabalho na qualidade de arguente;

À Equipa de Gestão de Projecto ZAMADZI (Agência de Desenvolvimento do Vale do Zambeze e TUDLF), pela bolsa de estudo e acompanhamento prestado ao longo do processo de ensino e aprendizagem;

Aos docentes e colegas da 3ª Edição do Curso de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade Eduardo Mondlane;

À Direcção do Instituto Superior Politécnico de Manica, pelo tempo dispensado;

Aos membros da Associação 7 de Abril-1 pela autorização e acompanhamento prestado durante a recolha de dados para a materialização desta pesquisa.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro que esta dissertação nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu labor individual. Esta dissertação é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, da Universidade Eduardo Mondlane.

Maputo, Junho de 2022

(Márcio Xavier Basílio Adamo)

APROVAÇÃO DO JURI

Esta dissertação foi julgada adequada como satisfazendo os requisitos parciais para a obtenção do grau de Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos, aprovada na sua forma final pelos membros do júri da Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, com classificação de _____Valores.

(Presidente)

(Arguente)

(Supervisor)

RESUMO

A análise do desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão tem vindo a assumir interesse crescente devido às implicações económicas e ambientais que lhe estão associadas. Um sistema eficiente de rega por aspersão apresenta uma elevada uniformidade de distribuição e boa eficiência de aplicação. Nesta perspectiva, o presente estudo teve como objectivo avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão sem bombagem, no regadio 7 de Abril-1, Distrito de Vanduzi sita na Província de Manica.

Foram realizados ensaios para a determinação da uniformidade de distribuição da água, em três parcelas representativas, diferentes e equidistantes uma da outra, seleccionadas aleatoriamente e correspondendo a 10% das explorações, onde foram determinados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e coeficiente de uniformidade estatístico (CUE). Igualmente, foi feita a caracterização do perfil hidráulico do sistema (vazão, pressão e cargas hidráulicas nas linhas de adução e distribuição) e foram determinadas as eficiências de aplicação de água do projecto de rega.

A pesquisa foi realizada entre os meses de Fevereiro à Maio de 2021 e a principal metodologia de análise de dados foi a comparação com os padrões estabelecidos.

O coeficiente de uniformidade de distribuição da água na parcela 1 foi baixo, com valores entre 48,2% a 64,2%, na parcela 2 foi razoável, apresentando valores entre 55,1% a 76,4% e na parcela 3 foi satisfatório, apresentando valores entre 66,5% a 84,2%. Em geral, a uniformidade de distribuição de água nas parcelas analisadas foi classificada como boa.

A eficiência geral do projecto de rega foi cerca de 40%, valor abaixo do recomendado para os sistemas de irrigação por aspersão. Este valor foi basicamente influenciado pela baixa eficiência de aplicação de água em resultado de perdas por arraste do vento, sendo que, se recomenda o uso de quebra-ventos ou barreiras densas de árvores altas de modo a minimizar o impacto do vento forte no processo de rega.

Palavras-Chave: Rega por Aspersão, Coeficientes de Uniformidade, Eficiência de Rega.

ABSTRACT

.The analysis of irrigation systems through an analysis coming from a growing interest due to the economic and environmental performance implications associated with them is. An efficient sprinkler irrigation system has uniform distribution and good application efficiency. In this perspective, the present study aimed to evaluate the performance of a sprinkler irrigation system without pumping, in irrigated land 7 de Abril-1, Vanduzi District located in Manica Province.

Tests were carried out to determine the uniformity of water distribution, in three plots, and equidistant from each other, randomly selected and corresponding to 10% of the farms, where the Christiansen uniformity coefficients (CUC), distribution uniformity coefficient (CUD) and coefficient of statistical uniformity (CUE). Likewise, a characterization of the hydraulic profile of the system was made (flow, and hydraulic loads in the distribution and distribution lines) and the water application efficiencies of the irrigation project were determined.

The survey was carried out between the months of February to May 2021 and the main data analysis analysis comparison with the established standards.

The coefficient of uniformity of water distribution in plot 1 was, with values between 48.2% to 64.2%, in plot 2 it was reasonable, presenting values between 55.1% to 76.4% and in plot 3 it was announcing , presenting values between 66.5% and 84.2%. In general, the uniformity of water distribution in the plots was considered good.

The overall efficiency of the irrigation project was around 40%, which is below the recommended value for sprinkler irrigation systems. This value was mainly influenced by the low efficiency of water application as a result of wind drag losses, and the use of tall tree barriers is recommended in order to minimize the use of tall tree barriers in order to minimize the impact of strong wind in the watering reduction process.

Keywords: Sprinkler Irrigation, Uniformity Coefficients, Irrigation Efficiency.

LISTA DE ABREVIATURAS

AD	Água Disponível
AFD	Água Facilmente Disponível
AGRA	Alliance for a Green Revolution in Africa
AUT	Área da Unidade Terciária
CC	Capacidade de Campo
CU	Coeficiente de Uniformidade
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
CUD	Coeficiente de Uniformidade de Distribuição
CUE	Coeficiente de Uniformidade Estatístico
DPAP	Direcção Provincial de Agricultura e Pescas
Ea	Eficiência de Aplicação da Água
Ec	Eficiência de Condução da Água
Ep	Eficiência do Projecto de Rega
ETc	Evapotranspiração da Cultura
ETo	Evapotranspiração de Referência
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
In	Necessidades Líquidas de Água de Rega
IAM	Instituto de Investigação Agrária de Moçambique
ITC	Iniciativa para Terras Comunitárias
Kc	Constante de Cultura
Lapl	Lâmina aplicada
L_{LL}	Linha Lateral
mca	Metros de Coluna de Água
M&A	Monitoria e Avaliação
NAC	Necessidades de Água da Cultura
Ps	Pressão de Serviço
PVC	Policloreto de Vinila
PROIRRI	Projecto de Desenvolvimento de Irrigação Sustentável
SCS/USA	Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos
SDAE	Serviço Distrital de Actividades Económicas

UD Uniformidade de Distribuição

ÍNDICE DO TEXTO

AGRADECIMENTOS	i
DECLARAÇÃO DE HONRA	ii
APROVAÇÃO DO JURI	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
LISTA DE ABREVIATURAS	vi
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Problema e Justificativa.....	2
1.2. Objectivos do Estudo	3
1.2.1. Objectivo Geral	3
1.2.2. Objectivos Específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Sistema de Irrigação por Aspersão.....	4
2.2. Irrigação Sem Bombagem na Agricultura de Regadio	6
2.3. Programação da Rega.....	8
2.4. Modelo CROPWAT 8.0.....	11
2.5. Considerações Hidráulicas para o Estudo de Adutoras	12
2.5.1. Adutoras por Gravidade em Conduto sob Pressão	12
2.5.2. Perdas de Carga Contínuas (ΔH_c).....	13
2.5.3. Perdas de Carga Localizadas.....	16
2.6. Características Hidráulicas dos Aspersores	17
2.7. Uniformidade de Distribuição da Água.....	20
2.8. Eficiência de Irrigação.....	22
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1. Localização da Área de Estudo e suas Características	27
3.1.1. Clima	28
3.1.2. Solos	28
3.1.3. Relevo e Vegetação	28
3.1.4. Descrição do Regadio 7 de Abri-1	28
3.2. Levantamento de Estruturas Hidráulicas e Dados de Campo	30
3.3. Determinação do Princípio Hidráulico de Operação do Sistema de Adução e Distribuição	31
3.4. Determinação da Uniformidade de Distribuição da Água.....	33
3.5. Eficiência de Aplicação e Eficiência do Projecto de Rega	36

3.6.	Limitações do Estudo.....	36
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
4.1.	Programação da Rega das Culturas em Campo	38
4.2.	Operação do Sistema Adutor e de Distribuição	43
4.3.	Uniformidade de Distribuição de Água e Eficiência de Rega	47
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	51
5.1.	Conclusões.....	51
5.2.	Recomendações	51
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
7.	ANEXOS	55
	ANEXOS 1: Simulação do Balanço de Água no Solo pelo CropWat para a Prática actual e Recomendada para as culturas na área de estudo	55
	Tabela 7.1: Balanço de água no solo para o feijão-verde na prática actual do produtor.....	55
	Tabela 7.2: Balanço de água no solo para a cultura de milho na prática actual do produtor	56
	Tabela 7.3: Balanço de água no solo para a cultura de piri-piri na prática actual do produtor	56
	Tabela 7.4 : Balanço de água no solo recomendado para a cultura de feijão-verde	57
	Tabela 7.5: Balanço de água no solo recomendado para a cultura de milho.....	58
	Tabela 7.6: Balanço de água no solo recomendado para a cultura de piri-piri.....	59
	ANEXOS 2: Determinação dos Coeficientes de Uniformidade nas Parcelas 1, 2 e 3 na Área de Estudo.	61
	Tabela 7.7: CUE nas parcelas 1, 2 e 3	61
	Tabela 7.8: CUC nas parcelas-1, 2 e 3.....	63
	Tabela 7.9: CUD nas parcelas 1, 2 e 3.....	67
	ANEXOS 3: Vista Parcial do Regadio: Represa, Hidrantes e Aspersores Utilizados.	68
	Figura 7.1. Represa do regadio (a esquerda) e a queda de água da nascente (a direita).	68
	Figura 7.2: Hidrante e um dos aspersores no sistema de distribuição	68
	Figura 7.3: Linha lateral de uma das parcelas	69
	Figura 7.4: Fontes escritas da associação 7 de Abril-1.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Condições, requisitos e constrangimentos dos esquemas de irrigação sem bombagem.....	7
Tabela 2: Fórmulas para o cálculo de perdas de cargas unitárias.....	14
Tabela 3: Variação da viscosidade cinemática da água em relação a temperatura.....	15
Tabela 4: Valores de coeficiente de rugosidade de Hazen Williams (C), coeficiente de rugosidade de Gauckler – Manning – Strickler (Ks) e rugosidade absoluta (K).....	16
Tabela 5: Classificação dos valores do desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão.....	22
Tabela 6: Eficiências de aplicação ótimas para boa gestão dos sistemas de irrigação por aspersão	25
Tabela 7: Características hidráulicas da linha de adução.....	30
Tabela 8: Horas de realização do ensaio.....	34
Tabela 9: Informação sobre culturas e programação da rega na prática actual do agricultor	38
Tabela 10: Resultados da simulação da programação da rega na prática actual do agricultor.....	39
Tabela 11: Dotação, intervalo e tempo de rega na prática actual dos agricultores e valores recomendados para as culturas estudadas.	41
Tabela 12: Vazão e pressão de serviço dos aspersores.....	43
Tabela 13: Perdas de carga permissível corrigida na linha lateral e intensidade de precipitação	44
Tabela 14: Perdas de carga lineares na linha lateral	44
Tabela 15: Velocidade do escoamento, perdas de carga e número de Reynold para os trechos da linha de adução.....	46
Tabela 16: Precipitação dos aspersores (mm)	47
Tabela 17: Classificação dos coeficientes de uniformidade para os ensaios realizados.	47
Tabela 18: Correlação entre a velocidade do vento e a classificação dos coeficientes de uniformidade ..	48
Tabela 19: Valores de eficiência de aplicação da água nas parcelas 1, 2 e 3	49
Tabela 20: Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação para os ensaios realizados, de acordo com Mantovani (2001).	49

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de irrigação por aspersão. Fonte: Adaptado de Biscaro (2009).	4
Figura 2: Sistema de irrigação por aspersão portátil. Fonte: Adaptado de Biscaro (2009).....	5
Figura 3: Sistema convencional permanente. Fonte: Adaptado de Biscaro (2009)	6
Figura 4: Coeficiente de Cultivo (kc)	9
Figura 5: Exemplo de dotação fixa e intervalo de rega fixo. Fonte: adaptado de FAO (2002).....	10
Figura 6: Interface do modelo CropWat 8,0. Fonte: adaptado de FAO (2022).....	11
Figura 7: Isoetas da precipitação de um aspersor em funcionamento adequado.....	18
Figura 8: Perfil transversal da precipitação de um aspersor em funcionamento adequado (Gomes, 2013)	19
Figura 9: Perfil transversal da precipitação de um aspersor em funcionamento com pressão inferior a adequada (Gomes, 2013)	19
Figura 10: Perfil transversal da precipitação de um aspersor em funcionamento com pressão elevada (Gomes, 2013).....	19
Figura 11: Localização geográfica do Distrito de Vanduzi	27
Figura 12: Levantamento de dados da linha adutora	31
Figura 13: Medição da vazão e pressão dos aspersores	32

Figura 14: Parcela 1 com malha de coletores e aspersores em funcionamento	34
Figura 15: Layout das parcelas utilizadas para o ensaio, adaptado de PROIRRI (2013)	35
Figura 16: Programação de rega para a cultura de feijão-verde na prática dos agricultores, dotação aplicada de 7mm e intervalo de rega de 3 dias.....	40
Figura 17: Programação de rega para a cultura de milho na prática dos agricultores, dotação aplicada de 10mm e intervalo de rega de 6 dias	40
Figura 18: Programação de rega para a cultura de piri-piri na prática dos agricultores, dotação de 8mm e intervalo de rega de 6 dias	40
Figura 19: Programação de rega recomendado para cultura de feijão-verde, dotação aplicada de 6mm e intervalo de rega 2 dias	42
Figura 20: Programação de rega recomendado para cultura de milho, dotação aplicada de 10mm e intervalo de rega 4 dias	42
Figura 21: Programação de rega recomendado para cultura de piri-piri, dotação aplicada de 6mm e intervalo de rega 3 dias	42

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de irrigação são utilizados em todo o mundo para a produção de alimentos, garantindo a produtividade em épocas de escassez das chuvas e elevando a qualidade dos produtos agrícolas. (Faria, Gomes, Alberto, & Nunes, 2017). De acordo com (Toromo et al., 2011), a expansão dos sistemas de irrigação em muitos países deve ser acompanhada por uma pesquisa que aborde diferentes maneiras e meios de conseguir uma utilização eficiente da água na irrigação.

A irrigação por aspersão é um método pelo qual a água é distribuída ao solo sob forma de chuva, por meio de aparelhos chamados aspersores (Raposo, 1994). Este modelo constitui um dos métodos de maior expansão nestes últimos tempos, isto devido a uniformidade de aplicação de água, a boa eficiência do sistema, o fácil controlo do volume de água a ser aplicado em cada irrigação, a possibilidade de aplicação de fertilizantes diluídos na água, a facilidade de automatização, a possibilidade de eliminação dos perigos de erosão e a potencialidade de seu emprego nas mais diversas topografias e tipos de solo (Pinto, 1987).

Segundo Pereira (2001), é importante ter presente que qualquer sistema de rega deve ser projectado e gerido correctamente, de maneira a que a aplicação da água no solo seja eficiente, uniforme e em quantidade adequada para permitir que as plantas fiquem em perfeito conforto hídrico, o qual depende da especificidade de cada cultura, para além de assegurar a protecção e conservação do meio ambiente.

Na irrigação por aspersão o sistema precisa ser avaliado após a implantação do projecto, visando verificar se o seu desempenho está de acordo com o que foi preestabelecido possibilitando, se necessário, a realização de ajustes necessários e, periodicamente, com o objectivo de avaliar a qualidade da manutenção e do manejo do sistema (Rocha et al., 1999).

Até agora a disponibilidade de dados sobre as eficiências nos regadios em caso particular da Província de Manica é exígua, razão pela qual se propôs o presente estudo, onde se avalia o desempenho do sistema de irrigação por aspersão do regadio 7 de Abril-1, no Distrito de Vanduzi. Os parâmetros a serem avaliados se referem basicamente à uniformidade de distribuição da água, a eficiência de aplicação, além daqueles parâmetros que caracterizam as cargas hidráulicas desde a captação, adução e distribuição da água.

Esta informação é de capital importância para o planeamento, operação e projecção de sistemas de rega pois, o estudo traz uma radiografia sobre o actual funcionamento do sistema, permitindo

identificar as deficiências de concepção e de operação, e posteriormente recomendar aos interessados “stakeholders” internos e externos sobre as alternativas conducentes à correcção e melhoria das condições do seu funcionamento, caso se verifiquem falhas.

Quanto a natureza, esta é uma pesquisa empírica onde é realizada através da obtenção de dados directos e observáveis. Do ponto de vista do tipo de dados a colher, a pesquisa é mista. Segundo (Creswell, 2003), abordagem mista é quando dados qualitativos e quantitativos são colectados e analisados para estudar um fenómeno num único trabalho. Quanto aos procedimentos técnicos utilizados para o alcance dos objectivos propostos, trata-se de um estudo de caso, cujo objecto é uma unidade que se analisa profundamente.

1.1.Problema e Justificativa

A utilização de água para fins de irrigação no regadio 7 de Abril-1 é partilhada com a associação 7 de abril anexa, localizada à montante e a disponibilidade dessa água não é uniforme durante o ano, sendo que, se verifica maior disponibilidade deste recurso durante a época de verão (Novembro a Março) e menor disponibilidade durante a época do inverno (Maio a Outubro). Segundo um dos membro entrevistado (pessoa de contacto no regadio), em períodos de escassez é decorrente o surgimento de conflitos de uso de água e o número de usuários do regadio tem vindo a crescer, so para se ter uma ideia, em 2015 o número de membros da associação era de 40 e em 2021 este número aumentou para 48.

Como a gestão do regadio é feita pelos próprios membros da associação, em caso de reposição de um material ou acessório hidráulico (aspersores, tripé, tubagem e uniões), recorrem a um material diferente do que anteriormente foi concebido, ademais, após a reabilitação e ampliação do regadio em 2014, apenas um grupo de produtores foi capacitado em matéria de uso do sistema de rega, na qual os mesmos seriam responsáveis pela réplica dos conhecimentos adquiridos. Há um enorme desafio em trabalhar com os produtores do regadio, sendo que, na sua maioria são pessoas com um domínio limitado sobre o desempenho do sistema e maneiio de irrigação.

Alguns pressupostos apresentados vem contribuindo substancialmente para alteração das características iniciais do pré-dimensionamento e na obtenção de baixos rendimentos da produção agrícola no regadio.

O regadio 7 de Abril-1 funciona por meio de um sistema de irrigação por aspersão sem aparelho de elevação de água, e, pouco ou quase nenhum estudo sobre o seu desempenho foi realizado e

publicado. Pode-se admitir que em Moçambique existe um conhecimento limitado acerca da dinâmica da agricultura de regadio e a sua influência na produção agrícola quando bem feita.

Segundo (Ascough, 2005), problemas ligados ao dimensionamento e manejo dos sistemas de irrigação por aspersão têm contribuído significativamente para o uso ineficiente da água, sendo que a avaliação do desempenho dos sistemas deve ser vista como uma prática contínua, principalmente para aferir o estado do funcionamento do sistema. Por outro lado, a análise do desempenho dos sistemas de rega, relativos quer à parcela, quer às redes de condução e distribuição de água, tem vindo a receber atenção continuada com especial objectivo de se irrigar mais área com a mesma quantidade de água.

Segundo (Pereira, 2001), os indicadores de desempenho foram inicialmente usados como indicadores da qualidade de um projecto ou da qualidade da gestão de um sistema. Posteriormente, no caso de sistemas colectivos de rega, foram considerados também como indicadores da qualidade de serviço ou do funcionamento. Mais tarde, foram tomados ainda como indicadores ambientais, embora de forma pouco precisa. Ainda segundo este autor, actualmente, dada a capacidade oferecida pelos modelos computacionais para simular o funcionamento dos sistemas de rega, os indicadores podem ser utilizados em projecto, para estabelecer critérios a que os sistemas devem ser capazes de responder.

1.2. Objectivos do Estudo

1.2.1. Objectivo Geral

- Avaliar o Desempenho do Sistema de Irrigação por Aspersão do Regadio 7 de Abril-1.

1.2.2. Objectivos Específicos

- Estabelecer a Programação da Rega das Culturas em Campo;
- Descrever o Princípio Hidráulico da Operação da Linha Adutora e de Distribuição;
- Determinar a Uniformidade de Distribuição da Água;
- Determinar a Eficiência do Projecto de Rega.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Sistema de Irrigação por Aspersão

A rega por aspersão é um método pelo qual a água é distribuída ao solo sob forma de chuva, por meio de aparelhos chamados aspersores (Raposo, 1994). A passagem de água sob pressão através de orifícios de pequena dimensão é o que causa o fracionamento do jacto. Com o auxílio, via de regra, de um sistema de bombeamento, a água percorre um conjunto de tubulações chegando com a pressão necessária para acionar os aspersores.

A irrigação por aspersão é um método que visa suprir a demanda hídrica da cultura pelo fracionamento de um jacto de água em gotas lançadas sobre a superfície do terreno, simulando uma chuva intensa e uniforme (Silva, 2012), conforme demonstra a Figura 1.



Figura 1: Sistema de irrigação por aspersão. Fonte: Adaptado de Biscaro (2009).

Segundo (Raposo, 1994), entre as principais vantagens apresentadas por esse método de irrigação destacam-se as facilidades de adaptação em diferentes tipos de terreno, seja em nível, aclive ou declive, a disponibilidade de maior área cultivável (ao contrário da irrigação por superfície, não há perda de área), o fato de não possuir restrição quanto ao horário de aplicação e não causar problemas de erosão do solo. Segundo o mesmo autor, os inconvenientes e limitações mais frequentemente apontados ao método de rega por aspersão tem haver com o custo das instalações e despesas de funcionamento elevados, distribuição irregular da água por efeito do vento, favorecer o desenvolvimento de algumas doenças das plantas e impossibilidade de utilizar águas com elevado teores salinos

Os sistemas de irrigação por aspersão subdividem-se em dois principais grupos, nomeadamente: sistemas mecanizados e sistemas convencionais. Segundo (Biscaro, 2009), um sistema de aspersão

mecanizado tem o principal objectivo realizar a irrigação em grandes áreas (nas quais se tornaria inviável técnica e economicamente a utilização de sistemas convencionais) e diminuir os custos com mão-de-obra. Para que ocorra a movimentação, o aspersor (ou o conjunto de aspersores) é montado sobre um sistema mecânico dotado de rodas. Ainda segundo este autor, os sistemas de irrigação mecanizados podem ser divididos em linha lateral móvel ou barra irrigadora móvel, pivô central e autopropelido.

Os sistemas de aspersão convencional podem ser fixos ou móvel, estes também designados por portáteis.

a) Sistema Convencional Portátil

Um sistema portátil de aspersão (Figura 2) é caracterizado pela possibilidade de movimentar o equipamento de um local para o outro, conforme a necessidade de irrigação, quando não há tubulações, acessórios e aspersores em quantidade e extensão suficientes para abranger toda a área irrigada.

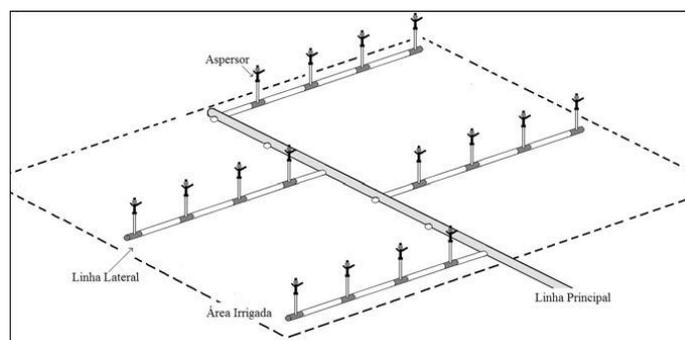


Figura 2: Sistema de irrigação por aspersão portátil. Fonte: Adaptado de Biscaro (2009)

Pode ser classificado em totalmente portátil e em semi-portátil. No primeiro, o sistema é totalmente movido de um local para o outro. No segundo, pode-se dispor de uma linha principal enterrada com hidrantes dispostos na superfície em cada ponto de mudança da linha lateral.

b) Sistema Convencional Permanente

Conforme a Figura 3, nestas instalações, a tubagem ocupa a totalidade do terreno, não havendo, portanto, necessidade de efectuar qualquer deslocação de ramais móveis, após terminar o funcionamento dos aspersores em cada posição. São instalações muito funcionais, necessitando apenas limitadas quantidades de mão-de-obra (Raposo, 1994) e segundo este autor, estes sistemas podem dividir-se em totalmente permanente, no qual as canalizações são enterradas e cobrem toda

área, e parcialmente permanente, no qual as canalizações são portáteis e cobrem toda a área irrigada.

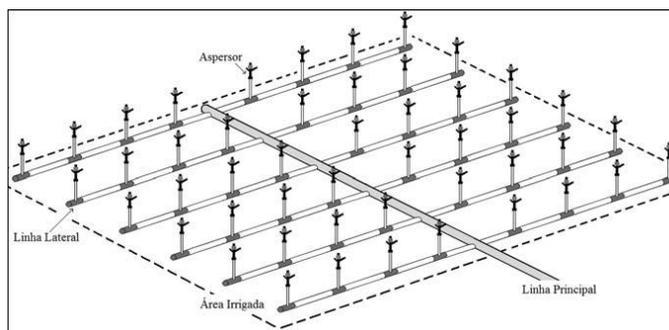


Figura 3: Sistema convencional permanente. Fonte: Adaptado de Biscaro (2009)

Como não há movimentação de tubulações de um local para outro, teoricamente seria mais fácil irrigar toda a área de uma só vez. Porém, isso acarretaria na demanda de uma grande quantidade de água em um determinado momento, o que pode não ser viável. Outro problema seria a necessidade de tubulações de diâmetro muito elevado e bombas de maior capacidade, aumentando o custo do sistema. Pode-se dividir então a área em parcelas, que serão irrigadas sequencialmente de maneira a cobrir toda a área ao final do ciclo, para reduzir os diâmetros das tubulações (Biscaro, 2009).

2.2. Irrigação Sem Bombagem na Agricultura de Regadio

A rega nem sempre exige aparelhos de elevar a água. A irrigação sem bombagem pode ter origem nas nascentes, minas ou na captação da água de superfície, estando estes pontos situados numa cota mais elevada, por vezes a longas distâncias dos campos de produção. É sem dúvida uma das formas mais antigas de regadio (Fernandes, 2013).

O processo mais simples limita-se em aproveitar nascentes naturais, utilizando drenos constituídos por tubos que permitem conduzir a água por gravidade. Às vezes a irrigação de desnível pode fazer-se aproveitando mananciais grandes ou mesmo rios. Para isso é frequente construir-se açudes ou diques, que represam a água e obrigam a subir o seu nível de maneira a poder ser utilizada sem aparelhos especiais. Segundo a FAO (2014), os modelos de irrigação com captação e adução por gravidade são denominados de sistemas de irrigação comunitários e de pequena escala.

A Província de Manica é potencialmente agrícola, onde a produção agrária é gerada essencialmente por pequenos produtores, sendo que estes produtores caracterizam-se

maioritariamente por possuir baixa renda e um baixo avanço tecnológico, sobretudo no que tange à componente de irrigação. Segundo (Dries, 2008), o método de irrigação por gravidade apresenta a vantagem de não necessitar de custos de energia para o bombeamento da água e é mais fácil gerir porque tem custos monetários mínimos e consequentemente melhor adaptado ao nível da organização dos produtores e de sua maneira habitual de mobilização de recursos. Por outro lado, segundo (Calheiros et al., 2004), a captação de água a partir de nascentes é ideal, pois, potencialmente fornece água de boa qualidade, abundante e contínua, localizada próxima do local de uso e de cota topográfica elevada, possibilitando sua distribuição por gravidade, sem gasto de energia. Ainda segundo (Calheiros et al. 2004), as nascentes, cursos de água e represas, embora distintos entre si por várias particularidades, quanto às estratégias de preservação, apresentam como pontos básicos comuns o controlo da erosão do solo por meio de estruturas físicas e barreiras vegetais de contenção, minimização de contaminação química e biológica e acções mitigadoras de perdas de água por evaporação e consumo pelas plantas.

Para (FAO, 2014), os resultados da implementação dos sistemas de irrigação comunitários e de pequena escala nem sempre foram positivos devido a falta de apropriação e do envolvimento adequado da comunidade na planificação. O seu funcionamento e manutenção colocam importantes desafios e os custos de manutenção de equipamentos e/ou acessórios são por vezes muito avultados e fora do alcance dos agricultores de pequena escala.

O sistema de irrigação de irrigação por gravidade são doptados do seu desenho específico e características de funcionamento que são resumidas na Tabela 1.

Tabela 1: Condições, requisitos e constrangimentos dos esquemas de irrigação sem bombagem

Condições técnicas	Principais requisitos	Constrangimentos
<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento de água durante toda época do ano; • Distância razoável da Captação (<2km); • Existência de uma associação de produtores ou utilizadores de água; 	<ul style="list-style-type: none"> • Paisagem hidráulica montanhosa; • Existência de infraestrutura hidráulica (açude); • Necessidade da configuração da rede de rega na parcela 	<ul style="list-style-type: none"> • Investimento inicial para construção do sistema médio a alto; • Motivação dos membros da associação para pagarem os custos de O & M; • Adjudicação das obras de construção;

Fonte: Adaptado de (FAO, 2014) e (Dries, 2008)

2.3. Programação da Rega

A determinação da quantidade de água necessária para irrigação é um dos principais parâmetros para o correcto planeamento, dimensionamento, e maneiio dos sistemas de irrigação, bem como para avaliação dos recursos hídricos.

Necessidades de água da cultura são definidas como a quantidade de água necessária para satisfazer as perdas por evapotranspiração duma cultura (ETc) e atingindo a produção potencial máxima nas dadas condições ambientais (Bernardo et al., 2009). Nestas condições, segundo (FAO, 2002), 3 factores determinam as necessidades de água da cultura:

- Factor climático que vai determinar o nível da evapotranspiração de referência;
- Características da planta quanto à transpiração;
- Condições ambientais que afectam o abastecimento de água a planta, bem como a capacidade de retenção de água do solo.

A relação ETc/ETo é chamada constante de cultura (kc). Sendo conhecido o valor de kc então pode ser calculada a ETc como:

$$ETc = kc * ETo \quad \text{Equação (2.1)}$$

A evapotranspiração de referência da cultura (ETo) é estimada pela evapotranspiração duma cultura de referência nas condições padrão ou de referência. ETo é definida como a taxa de evaporação duma superfície extensa de relva verde de altura uniforme 8 – 15 cm, crescendo ativamente, cobrindo completamente a superfície do solo, crescendo sem deficiência de água. (Bernardo et al., 2006)

Conforme ilustra a Figura 4, para uma dada cultura o valor de kc não é constante, depende principalmente do estágio de crescimento da cultura. Segundo a FAO (2002), para todas as culturas anuais o período de crescimento pode ser dividido em 4 estágios:

- 1- Fase inicial ou de estabelecimento - desde a germinação ao estabelecimento. Caracterizada por um fraco aumento da cobertura vegetal (menor que 10%).
- 2 - Fase de desenvolvimento - desde o final da fase inicial até à cobertura total do terreno. Rápido aumento da cobertura vegetal.
- 3 - Fase de cobertura máxima - caracterizada por uma cobertura aproximadamente constante, até ao início da maturação.

4 - Fase de maturação - desde o início da maturação até a colheita, folhas velhas transpirando menos.

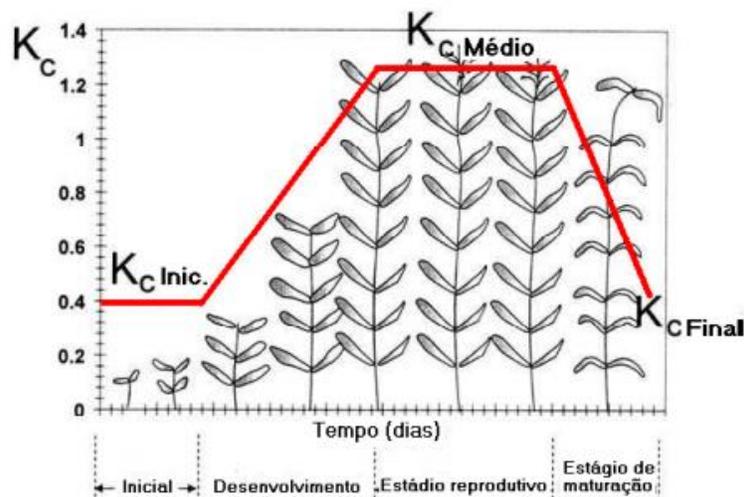


Figura 4: Coeficiente de Cultivo (kc)
 Fonte: Adaptado de FAO (2002)

Programação da rega diz respeito à aplicação da quantidade apropriada da água na altura certa. Segundo a FAO (2002), os seguintes conceitos devem ser conhecidos para uma boa programação da rega:

Dotação - A quantidade de água requerida para rega pode ser calculada se conhecermos o clima (E_{To}), a quantidade máxima de água disponível no solo (AD) e as características da cultura (Z = profundidade radicular; k_c ; p = fracção da água disponível).

A rega deverá no máximo repor a humidade do solo até AD sendo que o excesso será perdido por percolação profunda. A quantidade máxima de rega que poderá ser armazenada na zona radicular será $Z*AD$, com Z = profundidade radicular; então a quantidade máxima de água a ser absorvida por uma determinada cultura sem que esta sofra de falta de água é dada pela expressão 2.2:

$$AFD = p*Z*AD. \quad \text{Equação (2.2)}$$

p = fracção de água disponível

AFD = água facilmente disponível.

A rega deverá repor a quantidade de água absorvida:

$$dn = p* Z* AD \quad \text{Equação (2.3)}$$

dn = dotação líquida.

Intervalo de rega - o tempo entre duas aplicações sucessivas de água é chamado intervalo de rega e é medido entre o começo duma rega e o término da outra rega. É normalmente expresso em dias. Para um abastecimento optimal de água, a humidade do solo não deverá baixar para além da AFD. Para In a média das necessidades líquidas sobre um determinado intervalo de tempo (dias), o intervalo de rega é dada pela expressão 2.4:

$$i = \frac{p \cdot D \cdot AD}{In} = \frac{AFD}{In} \quad \text{Equação 2.4}$$

Com In em mm/dia e i em dias.

Se a programação da rega se basear no balanço da água no solo, chegar-se-á a dotações variáveis e intervalos de rega variáveis ao longo do ciclo vegetativo da cultura porque Z e In não são constantes. Na prática esta situação criará um problema sendo que exigirá uma grande habilidade dos agricultores para regar com picos de consumo de água nalguns momentos (FAO, 2002).

Um dos métodos bastante utilizados, é o método de intervalos fixos e quantidades fixas. Nalguns momentos a quantidade de rega a aplicar poderá não corresponder a condições optimal de humidade no solo, isto é, poderá exceder ou faltar ligeiramente. Porém, para evitar a redução no rendimento, a quantidade de água deverá ser suficientemente grande para prevenir a falta de água nos estágios críticos de desenvolvimento da cultura. A Figura 5 mostra o exemplo de dotação fixa e intervalo de rega fixo.

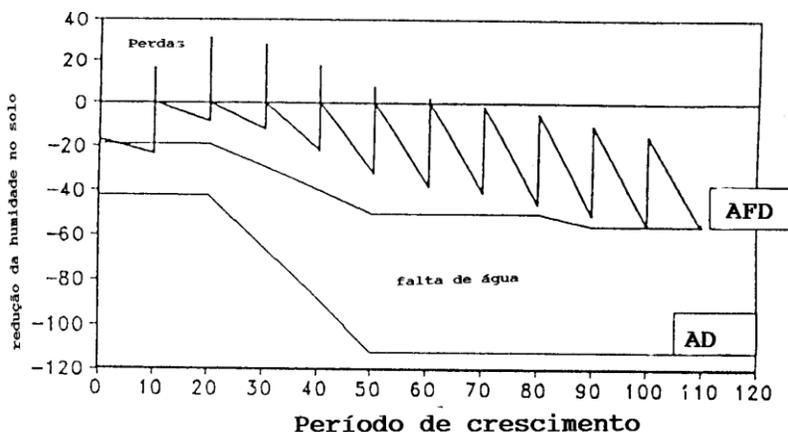


Figura 5: Exemplo de dotação fixa e intervalo de rega fixo. Fonte: adaptado de FAO (2002)

A Figura 5 indicam-nos os momentos e as quantidades que se deve regar. O eixo dos Y representa o teor de água no solo em mm e o eixo dos X, os dias após a plantação. A linha de horizontal a partir do ponto 0 representa a capacidade de campo, a linha intermediária representa a depleção

máxima de água permitida e a baixo o coeficiente de emurchecimento. As barras (na vertical) representam a evolução do teor de água no solo, teor este que deve ser sempre mantido entre CC e a AFD. Sempre que o teor de água no solo atinge o limite da AFD, desencadeia-se uma rega na quantidade de água necessária para repor o armazenamento na CC. Deste modo, a Figura 5 também nos indica em que dias e com que intervalos se deveria regar. (Bettencourt, 2018).

2.4. Modelo CROPWAT 8.0

CropWat é uma ferramenta de apoio à decisão desenvolvida pela Divisão de Desenvolvimento de Terras e Água da FAO. O modelo CropWat 8,0 para Windows é um programa computacional para o cálculo das necessidades de água da cultura e de irrigação com base em dados de solo, clima e cultura (Figura 6). Além disso, o programa permite o desenvolvimento de cronogramas de irrigação para diferentes condições de manejo e o cálculo do abastecimento de água do esquema para diversos padrões de cultivo. O CropWat 8,0 também pode ser usado para avaliar as práticas de irrigação dos agricultores e para estimar o desempenho da cultura em condições de sequeiro e irrigado (FAO, 2021).

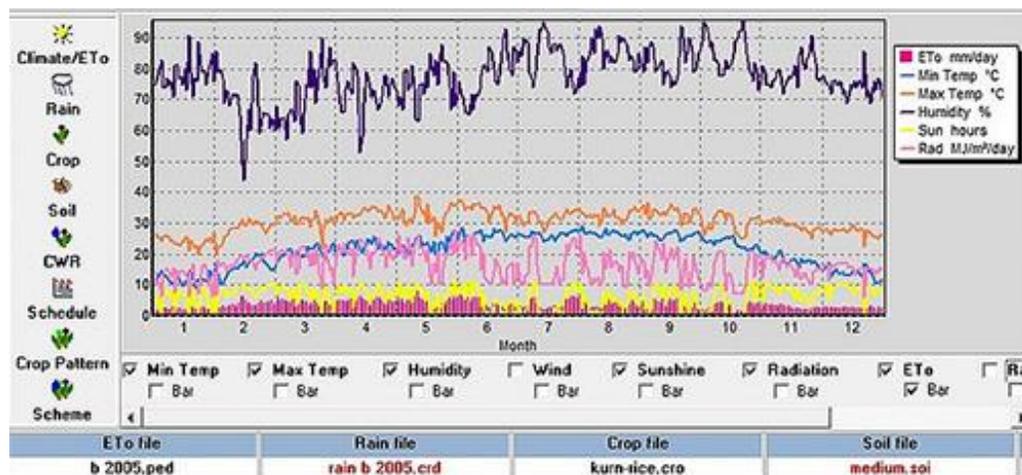


Figura 6: Interface do modelo CropWat 8,0. Fonte: adaptado de FAO (2022)

Como ponto de partida, e apenas para ser usado quando os dados locais não estiverem disponíveis, CropWat 8,0 inclui dados da cultura e solo padrão. Quando os dados locais estão disponíveis, esses arquivos de dados podem ser facilmente modificados ou novos podem ser criados. Da mesma forma, se os dados climáticos locais não estiverem disponíveis, eles podem ser obtidos para mais de 5000 estações em todo o mundo no ClimWat 2,0, o banco de dados climático associado (fonte?). O desenvolvimento de cronogramas de irrigação no CropWat 8,0 é baseado em um balanço diário

da água do solo usando várias opções definidas pelo usuário para o abastecimento de água e as condições de gestão da irrigação (FAO, 2021).

Além de uma interface do usuário, o CropWat 8,0 para windows inclui uma série de recursos, incluindo:

- Entrada mensal, década e diária de dados climáticos para cálculo da evapotranspiração de referência (ET_o);
- Possibilidade de estimar dados climáticos na ausência de valores medidos;
- Cálculo diário e de década das necessidades de água da cultura com base em algoritmos de cálculo actualizados, incluindo o ajuste dos valores do coeficiente da cultura
- Programações de irrigação ajustáveis pelo usuário interativo;
- Tabelas diárias de balanço hídrico do solo;
- Apresentações gráficas de dados de entrada, necessidades de água da cultura e cronogramas de irrigação;
- Importação/exportação fácil de dados e gráficos por meio da área de transferência ou arquivos de texto ASCII;
- Rotinas de impressão extensas, com suporte a todas as impressoras baseadas em Windows

2.5.Considerações Hidráulicas para o Estudo de Adutoras

2.5.1. Adutoras por Gravidade em Conduto sob Pressão

No dimensionamento das adutoras por gravidade, em conduto forçado formalmente, o cálculo é idêntico ao das adutoras em conduto forçado livre. Neste caso, porém, a forma de secção geralmente adoptada é circular e a equação de resistência geralmente empregada é a de Hazen-Williams. E a grandeza *i*, declive do conduto livre é substituída pela grandeza *j*, perda de cargas unitária no conduto forçado (Equação 2.5).

$$V = 0.355 * C * D^{0,63} * J^{0,54} \quad \text{Equação (2.5)}$$

Onde:

v = velocidade média (m/s)

D = diâmetro (m)

J = perda de carga unitária (m/m)

C = coeficiente de rugosidade dependente da natureza das perdas da canalização (-).

O estudo de adutoras é feito considerando, na generalidade, escoamento em regime permanente uniforme, e as equações gerais do escoamento são baseadas na equação de energia ou de Bernoulli e equação da continuidade, decorrente da lei de conservação de massa (Marques & Sousa, 2009).

Neste sentido, considerando duas secções do escoamento, a equação de energia e da continuidade podem ser escritas pela equação 2.6 (Lencastre, 1996):

- Equação de energia:

$$H_1 = H_2 + \Delta H \Rightarrow Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{U_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{U_2^2}{2g} + \Delta H \quad \text{Equação (2.6)}$$

Onde:

Z – carga ou energia potencial de posição (m);

p/γ – carga ou energia potencial de pressão (m);

$U^2/2g$ – carga ou energia cinética por unidade de peso (m);

ΔH = Perdas de carga total (m)

- Equação de continuidade:

$$Q = U_1 * A_1 = U_2 * A_2 = U * A = \text{Constante}; A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad \text{Equação (2.7)}$$

Onde:

Q = caudal escoado (m^3/s);

U = velocidade média do escoamento (m/s);

A = área da secção de escoamento (m^2);

D = diâmetro da tubagem (m).

As perdas de carga totais são compostas por perdas de carga contínuas e perdas de carga localizadas, cujas expressões se apresentam a seguir:

2.5.2. Perdas de Carga Contínuas (ΔH_c)

Estas são resultantes do atrito entre a veia líquida e as paredes internas da conduta, bem como em fenómenos de origem viscosa e turbulenta. O seu cálculo é feito através do produto entre a perda de carga unitária (J) e o comprimento da tubagem (L), conforme a equação 2.8:

$$\Delta H_c = J * L \quad \text{Equação (2.8)}$$

Para o cálculo da perda de carga unitária, diversas são as fórmulas propostas, no entanto, pode destacar-se a fórmula universal (ou de Darcy-Waisbach); e as fórmulas empíricas de Hazen-Williams e de Gauckler – Manning – Strickler, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 2: Fórmulas para o cálculo de perdas de cargas unitárias

Designação da fórmula	Fórmula
Universal ou de Darcy- Weisbach	$J = \frac{f * U^2}{D * 2g} = \frac{8f}{g * \pi^2 * D^5} * Q^2$
Hazen-Williams	$J = 10,643 * \frac{Q^{1.85}}{C^{1.85} * D^{4.87}}$
Gauckler-Manning-Strickler	$J = \left(\frac{Q}{K_s * A * R^{2/3}} \right)^2$

Fonte: Marques & Sousa (2009)

Onde:

J = perda de carga unitária (m/m);

f = factor de resistência ou de Darcy-Weisbach (-);

U = velocidade média do escoamento (m/s);

D = diâmetro da tubagem (m);

g = aceleração de gravidade ($\approx 9,8$ m/s);

Q = caudal escoado (m³/s);

C = coeficiente de rugosidade de Hazen Williams, e

Ks = coeficiente de rugosidade de Gauckler – Manning – Strickler ($m^{1/3} s^{-1}$)

O valor de “f” varia em função do número de Reynolds (Re) e/ou da rugosidade relativa.

Rugosidade Absoluta – (K ou também ϵ , dada em mm) é dada pela medida das asperezas da parede do tubo.

Rugosidade Relativa é o quociente da rugosidade absoluta pelo diâmetro da conduta (K / D).

A natureza de um escoamento, isto é, se laminar ou turbulento e sua posição relativa numa escala de turbulência é indicada pelo número de Reynolds (Re). O número de Reynolds é a relação entre as forças de inércia (F_i) e as forças viscosas (F_μ)

Para condutos de diâmetro D, o número de Reynolds é dado pela expressão 2.9:

$$Re = \frac{U * D * \rho}{\mu} = \frac{U * D}{\nu} \quad \text{Equação (2.9)}$$

Onde:

Re = número de Reynolds;

U = velocidade média do escoamento (m/s);

D – Diâmetro da tubagem (m);

ρ – densidade do fluído (kg/m³);

μ – viscosidade dinâmica do fluido (N.s/m),

ν – viscosidade cinemática do fluido (m²/s).

A viscosidade cinemática da água decresce com o aumento da temperatura, e os seus valores são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Variação da viscosidade cinemática da água em relação a temperatura

Temperatura (°C)	Viscosidade Cinemática (x 10 ⁻⁶ m ² /s)	Temperatura (°C)	Viscosidade cinemática (x 10 ⁻⁶ m ² /s)
0	1,78	40	0,66
4	1,57	50	0,56
10	1,31	60	0,47
20	1,01	80	0,37
30	0,82	100	0,29

Fonte: Lencastre (1996)

Para escoamento em regime laminar o número de Reynold é menor que 2000 (Re < 2000). Importa referenciar que nos escoamentos laminares as trajectórias são regulares, aproximadamente rectilíneas e não interferem umas com as outras, enquanto que nos escoamentos turbulentos as trajectórias são irregulares e interferem fortemente umas com as outras, aumentando a homogeneidade do escoamento através da troca de quantidades de movimento entre partículas. Segundo (Mantovani et al., 2009), o escoamento turbulento apresenta também as seguintes características:

- Irregularidade;
- Difusividade;
- Altos números de Reynolds;
- Flutuações tridimensionais;
- Dissipação de energia.

Segundo Netto *et. al.* (2002), o valor de “f” pode ser determinado pela expressão de Hagen-Poiseuille (equação 2.10):

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Equação (2.10)}$$

Tabela 4: Valores de coeficiente de rugosidade de Hazen Williams (C), coeficiente de rugosidade de Gauckler – Manning – Strickler (Ks) e rugosidade absoluta (K).

Material	K (mm)	C	Ks ($m^{\frac{1}{3}} s^{-1}$)
Fibrocimento	0,03 – 0,10	120 – 140	90
Ferro fundido sem revestimento	0,05 – 0,20	120 - 135	60
Ferro fundido com revestimento	0,06 – 0,10		70
Aço sem revestimento	0,10 – 0,35	110	65
Aço revestido	0,05 – 0,15	120	90
Betão liso	0,30 – 2,00	130	75
PVC	0,01 – 0,06	125 - 140	110
PEAD	0,003	125 - 140	125

Fonte: (Marques & Sousa, 2009)

2.5.3. Perdas de Carga Localizadas

As perdas de carga localizadas são ocasionadas pela existência de acessórios (singularidades) na tubagem (por exemplo: válvulas, curvas, derivações, medidores de caudal ou conexões, bombas, turbinas, entre outros), que introduzem turbulência ao escoamento, gerando deste modo a dissipação de energia ou perda de carga. O seu cálculo é feito através da expressão 2.11:

$$\Delta HL = KL * \frac{U^2}{2g} \quad \text{Equação (2.11)}$$

Onde:

ΔHL – perda de carga localizada (m);

KL – coeficiente de perda de carga localizada, adimensional (depende do tipo de singularidade, das características geométricas, da rugosidade e do número de Reynolds);

U – velocidade média do escoamento (m/s);

g – aceleração de gravidade ($\approx 9,8$ m/s).

Sá Marques e Sousa (2009) referem que as perdas de carga introduzidas por acessórios em condutas relativamente longas, são geralmente desprezadas em face das perdas de carga contínuas. Na prática, as perdas de carga localizadas podem ser desprezadas em tubagens de comprimento superior a 4000 vezes o seu diâmetro (Sá Marques e Sousa, 2009). Por outro lado, é prática comum considerar as perdas de carga localizadas como sendo 10% das perdas de carga contínuas (Kay, 2008).

2.6. Características Hidráulicas dos Aspersores

A água que é lançada sob pressão de um aspersor tem o mesmo comportamento hidráulico que a saída de água através de um orifício ou bocal. A energia de pressão (h), que a água dispõe no interior da tubulação, se transforma em energia cinética ($v^2/2g$) na saída do aspersor, com uma eficiência dada pelo coeficiente de descarga (C_d). A equação da continuidade, aplicada no bocal de saída do aspersor, dá origem à equação 2.12 (Raposo, 1994):

$$q = a * v = C_d \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2gh} \quad \text{Equação (2.12)}$$

Onde:

q = vazão do aspersor (m^3/s)

a = área do bocal (m^2)

v = velocidade de saída da água = $\sqrt{2gh}$ (m/s)

C_d = coeficiente de descarga do bocal do aspersor (adimensional)

d = diâmetro do bocal (m)

h = pressão de funcionamento do aspersor (mca)

O coeficiente de descarga (C_d) é função da perda de carga e da contração do jato no bocal e, para uma mesma pressão de funcionamento, quanto maior for seu valor, maior será a vazão do aspersor. Portanto, o valor do coeficiente de descarga reflete a qualidade do aspersor e, para a maioria dos aspersores disponíveis no mercado, seu valor varia de 0,65 a 0,95 (Gomes, 2013).

Pela expressão (2.11), observa-se que a vazão do aspersor é diretamente proporcional ao quadrado do diâmetro do bocal ou bocais e à raiz quadrada da pressão de funcionamento.

Existe uma fórmula empírica que é praticamente aceita para a determinação do raio de alcance de aspersores rotativos (equação 2.11), onde R e h se expressam em metros e o diâmetro do bocal (d) em milímetros (Raposo, 1994).

$$R = 1,35\sqrt{d h} \quad \text{Equação (2.13)}$$

Onde:

R = raio do aspersor (m)

d = diâmetro do bocal (m)

h = pressão de funcionamento do aspersor (mca)

Segundo (Gomes, 2013) a distribuição da precipitação lançada por um aspersor depende de sua pressão de funcionamento e das condições locais do vento. Para um aspersor que funciona com a pressão adequada e sem a influência significativa de ventos, a distribuição da precipitação possui uma forma bem definida. As alturas de precipitação medidas sobre o solo apresentam isoetas circunscritas ao eixo do aspersor, com valores decrescentes em direção à periferia do círculo molhado, conforme a Figura 7. A Figura 8 representa o perfil transversal das isoetas da Figura 7. Esse perfil transversal tem uma forma simétrica, aproximadamente triangular, representando a distribuição da precipitação de um aspersor que funciona com a pressão adequada e sem a presença considerável de ventos. Quando um aspersor trabalha com pressão insuficiente, o perfil transversal apresenta o aspecto mostrado na Figura 9. Nele se observa uma concentração da precipitação próxima ao eixo do aspersor e sobre uma coroa intermediária do círculo molhado. Quando a pressão de funcionamento de um aspersor é alta, com relação a seu valor adequado, o perfil transversal da precipitação apresenta a forma ilustrada na Figura 10. Observa-se, nessa figura, uma concentração da chuva próxima ao eixo do aspersor, decorrente de uma pulverização excessiva do jacto em gotas finas. O alcance correspondente é menor e as gotas são mais propícias a serem arrastadas pelo vento, proporcionando, assim, uma precipitação pouco uniforme.

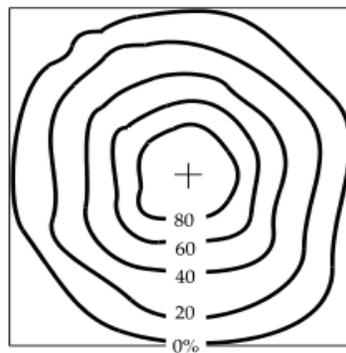


Figura 7: Isoetas da precipitação de um aspersor em funcionamento adequado

(Gomes, 2013)

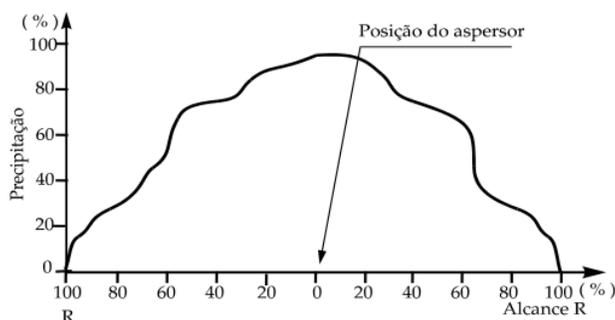


Figura 8: Perfil transversal da precipitação de um aspersor em funcionamento adequado (Gomes, 2013)

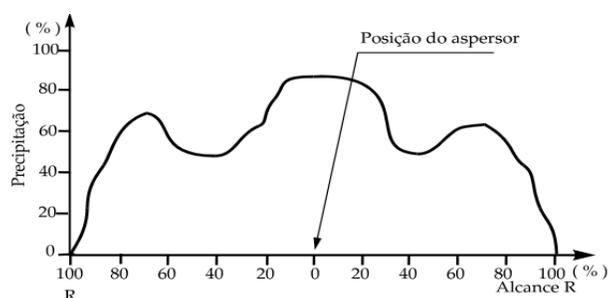


Figura 9: Perfil transversal da precipitação de um aspersor em funcionamento com pressão inferior a adequada (Gomes, 2013)

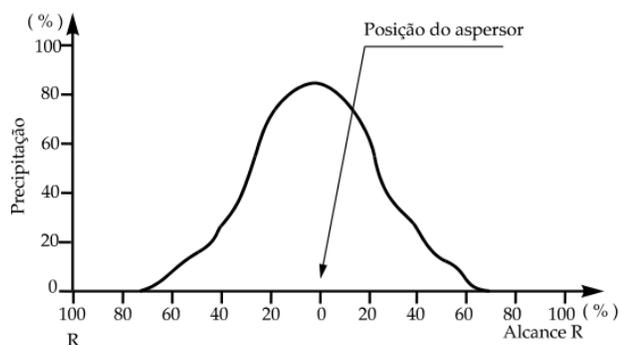


Figura 10: Perfil transversal da precipitação de um aspersor em funcionamento com pressão elevada (Gomes, 2013)

Outra característica significativa da precipitação na irrigação por aspersão é sua intensidade média (I), que representa a lâmina de água aplicada ao terreno em um determinado intervalo de tempo. Expressa-se, geralmente, em mm/h e pode ser obtida mediante a relação entre a vazão do aspersor (q) e a área molhada (S) correspondente, onde S é igual a πR^2 , sendo R o raio de alcance do aspersor (Equação 2.14).

$$I = \frac{q}{s} \quad \text{Equação (2.14)}$$

Segundo Raposo (1994), a intensidade de precipitação média, ou seja, a média de chuva a distribuir ao solo na unidade de tempo, não deve logicamente, exceder um certo limite, em função das características do solo. De outro modo, provocar-se-ia o excessivo encharcamento do terreno e correr-se-ia o risco de originar a erosão, a intensidade de precipitação média não deve exceder 5 a 6 mm/h nos solos argilosos e 8 a 12 mm/h nos solos francos. Nos solos arenosos são, em princípio, perfeitamente aceitáveis precipitações superiores a 15 mm/h ou 30 mm/h, devido a sua elevada permeabilidade. Portanto, se deve ter o maior cuidado a este respeito, particularmente nos solos argilosos, em virtude da sua fraca permeabilidade natural. Algumas instalações de rega por aspersão falham em solos mais compactos, precisamente por não se atender a este facto.

2.7. Uniformidade de Distribuição da Água

A alta demanda hídrica pela irrigação, embora esteja relacionada ao alto consumo das plantas, muitas vezes também se deve à baixa de uniformidade de aplicação da água pelos sistemas de irrigação, em decorrência do emprego incorreto dos métodos ou a falta de técnicas de manejo da irrigação (Almeida, 2010). Para Mateos (1998), um dos diversos factores que afectam a uniformidade da aplicação de água na superfície do solo é: características do aspersor; distribuição do sistema, factores climáticos, e factores do manejo. Segundo (Heinemann et al., 1998), os factores que interferem na uniformidade de distribuição da água podem ser classificados em climáticos e não climáticos. Segundo este autor, os factores climáticos são: evaporação, temperatura do ar, humidade relativa e condições locais do vento. Os factores não climáticos são: pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento, e altura do emissor.

A uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação é um dos principais parâmetros para o diagnóstico da situação de funcionamento do sistema (Mantovani et al., 2009). Outro parâmetro, como a eficiência de aplicação de água pelo sistema de irrigação, também pode colaborar para o uso racional dos recursos hídricos na agricultura. A falta de uniformidade de distribuição de água pelos sistemas de irrigação ocasiona aplicações irregulares das lâminas de água, provocando excesso de água em parte da área irrigada e déficit em outra. Com isso, o irrigante aumenta o tempo de irrigação a fim de suprir a área em déficit, porém, ocasionando excesso de água em outra parte da área. O excesso de aplicação de água poderá provocar lixiviação

e ocasionar erosão do solo. Consequentemente, o irrigante desconsidera o correcto maneiio da irrigação, onde o importante é determinar quando e quanto de água aplicar (Tagliaferre, 2006).

Através de uma análise completa do sistema, pode-se observar, se a irrigação está sendo realizada de maneira eficaz, com o auxílio de uma vasta lista de coeficientes de uniformidade de distribuição de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição do sistema de irrigação. Para avaliar a o sistema de irrigação, diversos parâmetros são determinados em campo, como a vazão, tempo de irrigação e uniformidade de distribuição de água, constituindo os critérios básicos para tomada de decisões em relação ao diagnóstico do sistema (Antunes, 2018).

Para realizar a avaliação da uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão, foram desenvolvidos coeficientes para expressar a variabilidade de distribuição de água na superfície do solo, sendo que, os mais utilizados, são: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), aceitando valores superiores a 80% para boa e excelente uniformidade de aplicação (Pinto, 1987). Adicionalmente, segundo (Antunes, 2018), em 1947 foi proposto por Wilcox e Swailes o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE), com valor mínimo aceitável de 80%. Cridlle em 1956 propôs outra medida de uniformidade, o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), sendo valores considerados bons acima de 68%

- Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, proposto por Christiansen 1942:

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum |X_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right] \quad \text{Equação (2.15)}$$

Onde:

X_i = precipitação em cada colector;

\bar{x} = média das precipitações;

n = número de pluviómetro ou colectores

- Coeficiente de Uniformidade Estatístico , proposto por Wilcox e Swailes em 1947:

$$CUE = 100 \left[1,0 - \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{x})^2}{(n-1) * \bar{x}^2}} \right] \quad \text{Equação (2.16)}$$

Onde:

\bar{x} = média das precipitações;

X_i = precipitação observada em cada pluviómetro

➤ Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, proposto por Criddle em 1956:

$$CUD = \frac{lq}{Lm} * 100 \quad \text{Equação (2.17)}$$

Onde:

CUD = Coeficiente de uniformidade de distribuição;

lq = Média de 25% do total de pluviómetro com as menores precipitações;

Lm = Lâmina média de todas as observações (mm).

Tabela 5: Classificação dos valores do desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão

Classificação	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	>90	>84	90-100
Bom	80-90	68-84	80-90
Razoável	70-80	52-68	70-80
Péssimo	60-70	36-52	60-70
Inaceitável	<60	<36	<60

Fonte: (Mantovani, 2001)

2.8. Eficiência de Irrigação

No processo de aplicação da água de irrigação às plantas, ocorrem perdas de água, essas perdas devem ser levadas em consideração ao calcular as necessidades brutas de água no processo da rega. Isso pode ser feito com o uso de um factor de eficiência, que deve ser estimado na fase de planeamento.

Diferentes tipos de sistemas de irrigação têm diferentes níveis de eficiência. Quanto maior a eficiência da irrigação, maior é a área que pode ser irrigada de uma dada fonte de água, e menor é a lixiviação de nutrientes e danos para o solo. A água economizada pode ser usada para outros fins produtivos (FAO, 2002).

A eficiência de rega é um indicador que permite fazer uma avaliação do “desempenho dos sistemas de rega”. O principal objectivo na avaliação de sistemas de rega é de identificar os problemas e discutir as diferentes alternativas que sejam ambas efectivas e práticas na melhoria do desempenho dos respectivos sistemas. Podem-se obter elevados índices de eficiência empregando-se um dimensionamento correcto do projecto, equipamentos adequados e um maneo racional da água

(Pítoro, 1998). Segundo (FAO, 2002), a eficiência de rega ocorre a diferentes níveis, nomeadamente:

➤ **Eficiência do Canal do Campo (Eb)**

Eficiência do canal de campo é a eficiência de transporte de água dentro do sector, bloco ou sub-unidade, ou seja:

$$E_b = \frac{\text{água recebida no campo (tomada de água do campo)}}{\text{água recebida no bloco (tomada de água do bloco)}}$$

➤ **Eficiência de Transporte (Ec)**

Eficiência de transporte é a eficiência no transporte da água no canal principal que leva a água desde a fonte aos vários sectores ou blocos. A eficiência de transporte é considerada 100% ou 1 quando a conduta for fechada e não apresentar fugas ao longo da linha (Faria et al., 2017).

Segundo a FAO (2002), a eficiência de transporte é dada pela expressão 2.18:

$$E_c = \frac{W_d}{W_c} * 100 \quad \text{Equação (2.18)}$$

Onde:

W_c = Volume de água recebida no campo em m^3

W_d = Volume de água retirada na fonte m^3

Este indicador é influenciado principalmente pelo controlo da distribuição e pelo tamanho da unidade terciária.

➤ **Eficiência de Aplicação**

A precipitação lançada pelos aspersores ao terreno não é totalmente aproveitada pelas raízes das plantas. Uma parte se perde devido à evaporação e ao arraste das gotas pelo vento, e outra parte se perde por percolação profunda, devido a não uniformidade de distribuição a precipitação sobre o terreno. As perdas produzidas pela evaporação e pelo vento dependem de muitos factores, que podem variar constantemente durante o ciclo vegetativo da cultura. Para (Gomes, 2013) esses factores são: temperatura, humidade do ar, radiação solar, velocidade do vento, cobertura vegetal e tamanho das gotas assim sendo, quando uma determinada lâmina de irrigação é aplicada ao terreno, e parte da área irrigada recebe mais água do que a quantidade necessária, o excesso correspondente se perde por percolação ou escoamento, em detrimento de outras partes da superfície irrigada que não recebem a dose de irrigação suficiente. Além do mais, no cômputo

geral, também devem ser consideradas as perdas de água que ocorrem ao se molhar as partes vizinhas adjacentes à área da parcela cultivada. A relação entre a quantidade de água retida no solo, à disposição das raízes das plantas, e a quantidade de água aplicada é definida como eficiência de aplicação. Expressa-se em percentagem e indica o grau de efetividade com que se utiliza o sistema de irrigação (Gomes, 2013).

A eficiência da aplicação em campo (E_a) é a razão entre água diretamente disponível para a cultura e aquela recebida em a entrada de campo (FAO, 2002), ou seja:

$$E_a = \frac{\text{água armazenada na zona radicular}}{\text{água recebida no campo}} \quad \text{Equação (2.19)}$$

Segundo (Raposo, 1994), após a determinação da quantidade de água recebida no campo, a água armazenada na zona radicular é estimada através do balanço hidrológico do solo, obtendo-se através da conjugação entre os respectivos valores da precipitação e da evapotranspiração, tendo em conta a capacidade de armazenamento do solo. Ainda segundo este autor, os método que parece mais correcto para a realização do balanço hídrico do solo é o Thornthwaite-Mather e o método da FAO.

Em geral, a eficiência de aplicação (E_a) na rega por aspersão varia, durante o dia, entre 60%, em zonas semi-áridas, a 75%, em zonas de clima moderado. No entanto, ao se irrigar durante a noite, a eficiência pode chegar a alcançar valores próximos a 90%. A Tabela 6 demonstra os valores indicativos da eficiência de aplicação dos sistemas de irrigação por aspersão em diferentes condições do clima.

Tabela 6: ¹Eficiências de aplicação óptimas para boa gestão dos sistemas de irrigação por aspersão

Sistemas e condições do clima	Eficiência de aplicação (Ea)
Sistemas móveis e fixos com excelente uniformidade em climas frios ou húmidos e ventos fracos	0,85
Eficiência típica para sistemas móveis na maioria dos climas e ventos; e definir sistemas com médio para altas taxas de aplicação e boa uniformidade na maioria dos climas e ventos fracos	0,80
Eficiência típica usada para sistemas de conjunto médio na maioria dos climas e ventos e para sistemas móveis em climas desérticos e ventos fortes	0,75
Definir sistemas com alta taxa de aplicação em climas desérticos com ventos fortes ou baixas taxas de aplicação em outros climas com ventos fortes	0,70
Definir sistemas com taxas de aplicação moderadamente baixas em climas desérticos e ventos fortes ou baixas taxas de aplicação em climas desérticos elevados e ventos fortes	0,65
Definir sistemas com baixas taxas de aplicação com pequenas quedas operando em climas desérticos baixos e médios a ventos fortes	0,60

Fonte: (Keller & Bliesner, 1990)

➤ **Eficiência de Distribuição (Ed)**

Eficiência de distribuição é a eficiência do transporte de água e distribuição entre a fonte e a tomada de água no campo, dada pela expressão 2.20:

$$Ed = Ec * Eb \quad \text{Equação (2.20)}$$

➤ **Eficiência do Projecto de Rega**

A eficiência total de um projecto ou sistema de rega é tida como expressão quantitativa da água armazenada na zona radicular e usada pela planta em percentagem da água retirada ou captada. Por forma a se dividir o problema e tendo as especificidades de cada sector a eficiência total é dada pelo produto das suas eficiências parciais, nomeadamente, eficiência de condução, de distribuição e de aplicação no campo (Pitoro, 1998).

¹ Chave para definição dos sistemas:
 Baixa taxa de aplicação: 2,5- 5,0 mm/h
 Taxas de aplicação média: 5,0- 10mm/h
 Altas taxas de aplicação: > 10mm/h

Segundo (FAO, 2002), a eficiência geral, também conhecida como eficiência do projecto de rega (E_p), compreende a eficiência de transporte (E_c), eficiência do canal de campo (E_b) e eficiência de aplicação em campo (E_a):

$$E_p = E_a * E_d * E_c \quad \text{Equação (2.21)}$$

Onde:

E_p : Eficiência do projecto (%)

E_d : Eficiência de distribuição (%)

E_c : Eficiência de transporte (%)

Segundo Rudnick (2015), a eficiência geral de irrigação (E_p) representa a eficiência de todo o sistema que fornece água de uma fonte para o campo e pode ser obtida através da expressão 2.22:

$$E_p = (E_a * E_c) * 100\% \quad \text{Equação (2.22)}$$

Onde:

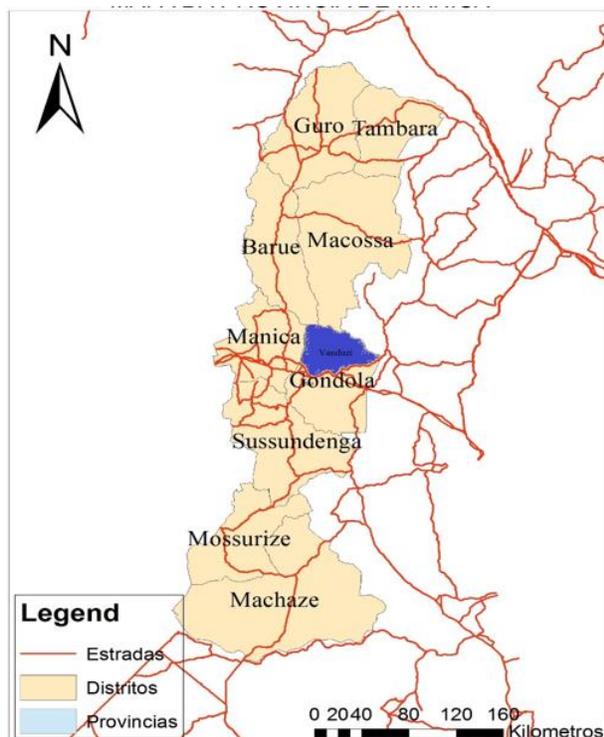
E_p = Eficiência do projecto (%)

E_a = Eficiência de aplicação (%)

E_c = Eficiência de transporte (%)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização da Área de Estudo e suas Características



A área de estudo compreende o regadio de 7 de Abril-1, localizado no povoado de Belas-1, à 8 km da Vila Sede do Distrito de Vanduzi. O Acesso a partir da Cidade de Chimoio é de cerca de 40 km. Segundo a Figura 11, o Distrito de Vanduzi localiza-se na região centro de Moçambique e da Província de Manica, entre as coordenadas 33°45' e 19°26' de Latitude Sul e a 33°45' e 33°07' de Longitude Este (Caliche, 2004). Foi criado com a elevação do Posto Administrativo de Vanduzi (até então parte do Distrito de Manica) à Distrito em 2013.

O Distrito está dividido nos Postos Administrativos de Matsinho e Vanduzi, composto pelas seguintes Localidades:

Figura 11: Localização geográfica do Distrito de Vanduzi

Posto Administrativo de Matsinho:

- Chiremera
- Matsinho

Posto Administrativo de Vanduzi:

- Chigodore

Limites

Norte: Distrito de Bárue, e Macossa, através do rio Púngue;

Sul: Distrito de Sussundenga e Macate, através do rio Revúe e Tembú;

Este: Distritos de Chimoio e Gondola, através do rio Mudzingaze;

Oeste: Distrito de Manica, através do rio Nhacadung.

3.1.1. Clima

O Distrito de Vanduzi está inserido na região agro-ecológica R4, segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é do tipo tropical húmido quente. A temperatura média anual é de 21,8 °C e a precipitação média anual é de 1215 mm, com duas estações, sendo uma chuvosa que decorre entre Novembro a Março e outra seca que vai de Abril a Outubro. A evapotranspiração média anual é cerca de 1220 mm a 1290 mm sendo relativamente superior ao valor da precipitação média anual (IIAM, 2006).

3.1.2. Solos

Geologicamente, Vanduzi localiza-se na região de formação gnesiana a sul do rio Púngué, composta por rochas de origem metamórficas. Os solos são de formação gness acastanhados, que vão de escuro moderado na superfície, arenosos e argilo-vermelhos profundos de boa permeabilidade e fertilidade. Os solos mostram uma estreita relação com a geologia e o clima da região e são localmente modificados pela topografia e o regime hídrico, sendo que, ao longo dos rios os solos são aluvionares (Caliche, 2004).

Sendo basicamente solos argilosos vermelhos óxicos ou castanhos avermelhados, profundos, bem drenados; nos declives superiores, cumes das montanhas e nos afloramentos rochosos os solos são líticos, com textura franco arenosa, pouco profundos e drenagem excessiva.

3.1.3. Relevo e Vegetação

Vanduzi ocupa a região planáltica caracterizada por uma topografia suavemente ondulada. As altitudes variam entre 600 m a 800 m em relação ao nível médio das águas do mar. A vegetação está em constante modificação devido a prática da agricultura na região, mas predomina a vegetação de floresta aberta de miombo (Caliche, 2004).

Vanduzi é atravessado por diversos rios, alguns dos quais, Dikwe, Chihururu, Bue Maronga, Vanduzi, Nharuhwerere, Bane e Nhamadembe, localizados na parte sul. .

3.1.4. Descrição do Regadio 7 de Abri-1

O regadio 7 de Abril-1, sita na região de Belas entre as coordenadas 18°93' de Latitude sul e 33°18' de Longitude Este, com altitudes em torno de 690 m. O regadio situa-se a Este da cidade de Chimoio e da sede do Distrito de Vanduzi. O acesso a partir da cidade de Chimoio (capital da província de Manica) é feito através de 20 km de estrada-N6, contornando à direita no cruzamento

de Tete, numa distância de 11,6 km até a sede do Distrito, eventualmente contornando à esquerda da sede do Distrito, percorrendo mais 8 km de estrada terraplanada (PROIRRI, 2013).

O regadio é gerido pela Associação 7 de Abril, fundada em 15 de Outubro de 2003, constituído actualmente por 48 membros dos quais 26 homens e 22 mulheres. O principal objectivo da associação é a produção e comercialização de hortícolas e cereais, com destaque para feijão verde, repolho, feijão vulgar, piripiri, milho miúdo (babycorn) e feijão vulgar. A associação têm como principais parceiros o SDAE-Vanduzi, DPAP-Manica, IIAM-Centro Zonal Centro, AGRA, IRRIGA, Companhia de Vanduzi e ITC, conforme demonstrado nas Figuras 7.4 do anexo 3.

O regadio beneficiou de reabilitação e ampliação em 2014 através do projecto PROIRRI, com financiamento do Banco Mundial e actualmente possui uma área total de 38,8 ha, dos quais, a área irrigada é de 30 ha. O sistema foi projectado para uma área de 0,5 ha por produtor com respectivos equipamento (tubagem e 4 aspersores) o que oferece confiança em termos de responsabilidade.

O regadio 7 de Abril-1 têm um sistema de irrigação ligado na fonte de captação por gravidade. A fonte de captação de água é a nascente do monte Nhaúmbwe (ver anexo 3), localizado a 800 m de altitude, onde a água escorre até uma mini-represa de betão armado, dispendo de uma comporta metálica movida por um volante de inércia que permite o fluxo do caudal ecológico (rio Nhaúmbwe) e uma descarga de fundo composta por tubagem que permite a captação da água ao sistema de adução do regadio (Autor, 2021).

Segundo (PROIRRI, 2013) a água na captação corre durante todo o ano e o fluxo disponível no período seco (Outubro de 2011 e Setembro de 2012) foi estimado entre 30 e 40 l/s.

O tubo de adução da água está ligado ao fundo da represa na captação. Trata-se de uma conduta amarrada na extremidade de montante, com variação de diâmetro e tipo de material ao longo do seu trajecto (Tabela 7), enterrada após o trecho A-B, sendo que a tubagem nas parcelas de rega é 63 mm. O sistema apresenta 2 (duas) ventosas ao longo da conduta, das quais, uma no trecho A-B e outra no trecho C-D. A distância da linha adutora é cerca de 1,3 km. A Tabela 7 indica os trechos da linha adutora do regadio.

Tabela 7: Características hidráulicas da linha de adução

Trecho	Q (l/s)	Ø (mm)	L (m)	Material
A-B	26,60	200	48	Ferro Galvanizado
B-C	25,33	160	96	PVC
C-D	24,06	160	99	PVC
D-E	22,79	140	96	PVC
E-F	21,52	140	54	PVC
F-G	21,52	140	138	PVC
G-H	21,52	140	45	PVC
H-I	19,62	140	96	PVC
I-J	17,72	140	99	PVC
J-K	15,18	140	96	PVC
K-L	12,64	110	99	PVC
L-M	10,10	110	96	PVC
M-N	7,56	90	99	PVC
N-P	5,2	75	96	PVC

Fonte: (PROIRRI, 2013)

A aplicação de água nas parcelas é realizado através de um sistema por aspersão semi-portátil na qual os aspersores são movidos por pressão resultante da diferença de altura entre a fonte e o campo. O sistema de aspersão apresenta espaçamento de 12*18 m, com altura (h) do tripé de 1,2 m. As linhas laterais são compostas por tubagem de diâmetro (Di) 2", de ferro fundido, com redução de 2" para 1" e 1" para 3/4" para o suporte do tripé. As linhas secundárias (Di=63 mm) são constituídas por hidrantes de recalque rotativos metálicos. Os aspersores são de ligação macho de 3/4", de ferro galvanizado, modelo VYR 35 de fabrico espanhol. Seu eixo e molas são de aço inoxidável, de rotação contínua, com um bico.

A vista parcial do regadio: represa, hidrantes e aspersores usados estão apresentados nos anexos 3

3.2. Levantamento de Estruturas Hidráulicas e Dados de Campo

As características hidráulicas de um sistema de irrigação constituem parte fundamental em seu dimensionamento, desta forma, procurou-se descrever o princípio hidráulico da operação da linha adutora, linhas secundárias e laterais, definindo-se os parâmetros mais importantes a serem determinados. O reconhecimento do local de estudo compreendeu a realização de primeiros contactos com os responsáveis do regadio, onde, com auxílio de bloco de notas e câmara fotográfica, foi feito o levantamento preliminar dos equipamentos e principais características das estruturas hidráulicas do sistema. Por meio de GPS se fez o levantamento das cotas e coordenadas.

Esta fase consistiu basicamente no levantamento dos seguintes dados:

- Características do sistema de irrigação;
- Tipo de material que compõem a linha de adução (Figura 12) e distribuição da água;
- Distâncias desde a origem e respectivas cotas;
- Levantamento de áreas das parcelas, culturas irrigadas e intervalos de rega através de entrevista semi-estruturadas;



Figura 12: Levantamento de dados da linha adutora

A metodologia de análise de dados para a caracterização hidráulica do sistema foi o balanço de cargas hidráulicas.

3.3. Determinação do Princípio Hidráulico de Operação do Sistema de Adução e Distribuição

A colecta de dados para a avaliação do sistema consistiu igualmente na verificação da pressão de serviço dos aspersores e na medição da vazão dos aspersores. Para a medição da vazão dos aspersores foi aplicado o método directo volumétrico, que se baseia no tempo gasto que um determinado fluxo de água leva para ocupar um recipiente de volume conhecido (Santos & Lautert, 2001), ou seja, foi medido o volume médio da precipitação dos aspersores acoplando uma mangueira de $\frac{3}{4}$ " e 2,5 m na boca do aspersor, cronometrando o enchimento de um recipiente de 20 litros (Figura 13), em três repetições.

A medição da pressão de serviço dos aspersores foi realizada por meio de um manômetro analógico da marca Netafim, fabrico israelense, inserindo no bocal do aspersor durante o seu funcionamento, com leituras feitas em três repetições.



Figura 13: Medição da vazão e pressão dos aspersores

O caudal na linha lateral foi calculado pela equação de Hazen-Willians:

$$QLL = 0,2788 * C * D^{2,63} * J^{0,54} \quad \text{Equação (3.1)}$$

Onde:

- Q_{LL} = vazão no início da linha lateral (m^3/s);
- J = perda de carga linear (m/m);
- D = diâmetro interno da tubulação (m);
- C = coeficiente de rugosidade (adimensional).

A pressão no início da linha lateral foi obtida pela equação 3.2:

$$P_{inLL} = P_s + 0,75 * hf + Aa \quad \text{Equação (3.2)}$$

Onde:

- P_{inLL} = pressão no início da linha lateral (mca);
- Aa = altura do aspersor (m).
- P_s = pressão de serviço do aspersor (mca)

Posteriormente, pela equação 3.3 foi achada as perdas de carga permitidas na linha lateral das parcelas, segundo (Biscaro, 2009).

$$hf = 0,20 * P_s \quad \text{Equação 3.3}$$

Onde:

hf = perda de carga permitida (mca);

P_s = pressão de serviço (mca).

Depois de ser determinada a perda de carga permitida na linha lateral, a mesma foi corrigida pelo factor de correção (equação 3.4), em função do número de aspersores na linha lateral, visto que a vazão diminui do início para o final da linha.

$$hf' = hf \div f \quad \text{Equação (3.4)}$$

Onde:

hf' = perda de carga permitida corrigida (mca);

f = factor de correção.

O fator de correção foi determinado pela expressão 3.5:

$$f = (m + 1)^{-1} + (2 * N)^{-1} + \{(\sqrt{(m - 1)}) / (6 * N^2)\}^2 \quad \text{Equação (3.5)}$$

Onde:

f = fator de correção (adimensional);

m = constante (1,85 para a equação de Hazen-Williams);

N = número de aspersores.

Tendo em conta o comprimento da linha lateral nas parcelas, as perdas de carga lineares foram obtidas pela expressão 3.6:

$$J = hf' / L_{LL} \quad \text{Equação (3.6)}$$

Onde:

J = perda de carga lineares (m/m)

hf' = perda de carga permitida corrigida (mca)

L_{LL} = comprimento na linha lateral

As velocidades médias e perdas de carga nos trechos da linha adutora foram determinadas por meio da equação de Hazen-Williams.

3.4. Determinação da Uniformidade de Distribuição da Água

O arranjo do campo para a determinação da uniformidade de aplicação da água no sistema de irrigação foi realizada de acordo com a metodologia proposta por Christiansen (1942), que consistiu em coletar a precipitação por meio de recipientes instalados em uma malha de pontos sob a área de influência de quatro aspersores sobrepostos (Figura 14), com espaçamento de 12x18 m.

A disposição dos coletores em relação aos aspersores foi configurada obedecendo a metodologia proposta por Pinto (1987) na qual, em caso de um sistema permanente e semi-permanente os recipientes devem ser dispostos na área entre 4 aspersores.



Figura 14: Parcela 1 com malha de coletores e aspersores em funcionamento

A precipitação dos aspersores na superfície do solo foram colectadas por meio de 24 colectores de alumínio, atados e fixados sobre uma estaca de 0,6 m de altura da superfície do solo numa distância de 1 m cada. Em cada parcela o sistema foi accionado por um intervalo de 120 minutos, conforme mostra a Tabela 8, obedecendo as recomendações de Pinto (1987) na qual, para a determinação da uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão junta-se um conjunto de colectores, abertas na parte superior, equidistantes em torno do aspersor a ser testado e liga-se o aspersor por um período de tempo nunca inferior a duas horas.

Findo período de 120 minutos, com auxílio de um colector graduado em mm foram medidas os volumes colectados em cada parcela e relacionados com a precipitação dos aspersores.

Tabela 8: Horas de realização do ensaio

Parcela	Período	Horas
1	Manhã	10:00h às 12:00h
2	Tarde	13:10h às 15:10h
3	Tarde	15:30 às 17:30h

A classificação dos coeficientes de uniformidade para o ensaio realizado foi procedida de acordo com o proposto por Mantovani (2001). A Figura 15 mostra o layout das parcelas utilizadas nesta pesquisa.

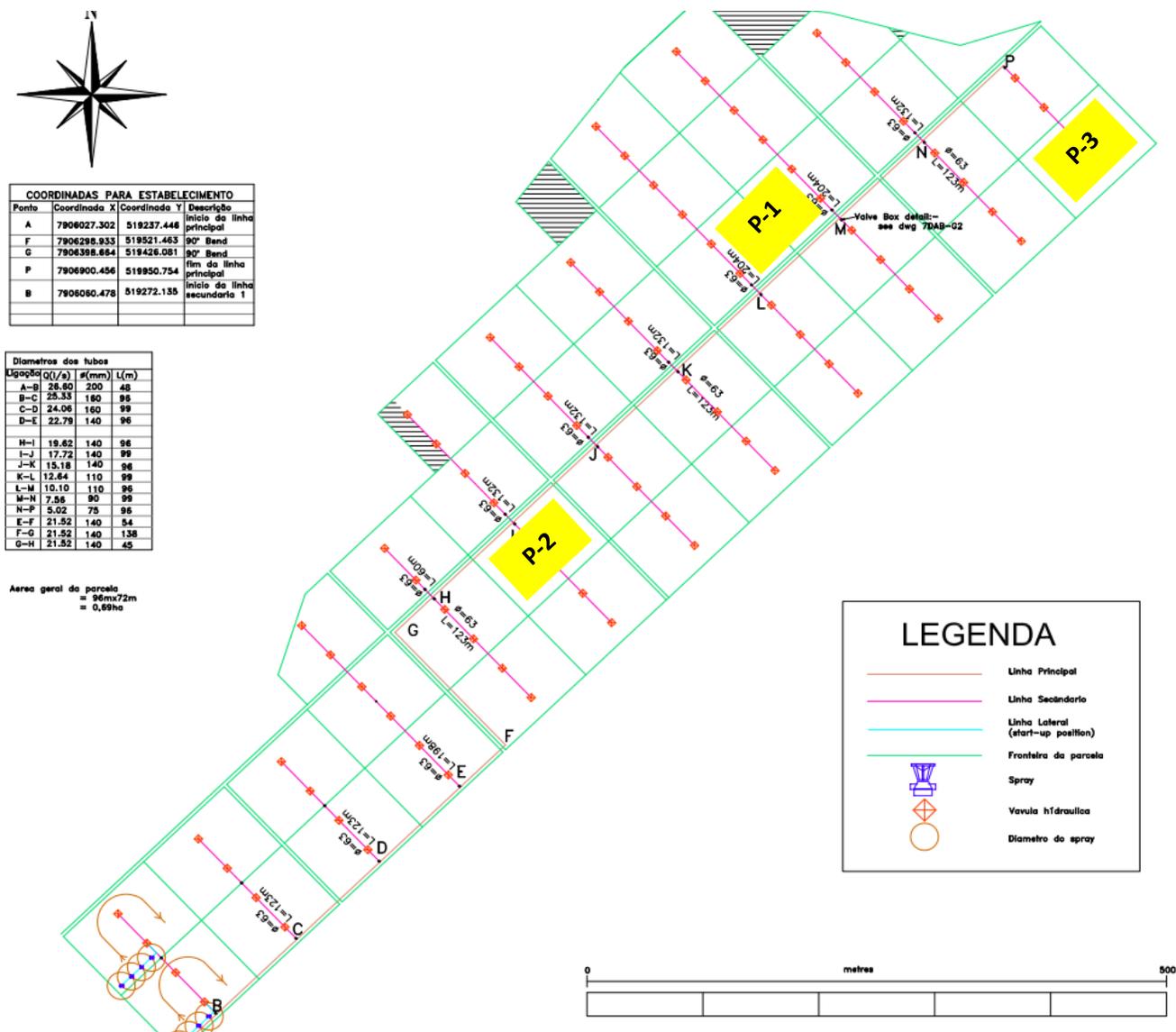


Figura 15: Layout das parcelas utilizadas para o ensaio, adaptado de PROIRRI (2013)

Os dados referentes a velocidade do vento e a temperatura, foram colhidos por meio de um anemómetro digital durante a realização dos ensaios, igualmente, foram considerados os dados médios de evapotranspiração gerados e validados a partir do modelo CropWat 8,0 associado ao ClimWat 2,0 para a determinação das necessidades hídricas das culturas e programação de rega das culturas em campo (milho, feijão-verde e piri-piri). A lâmina de água aplicada nas parcelas analisadas foram obtidas pela expressão 3.7, segundo (Pereira, et al., 2016):

$$Lapl = \frac{1000 \cdot Q \cdot T}{S1 \cdot S2} \quad \text{Equação (3.7)}$$

Onde:

L_{apl} = lâmina aplicada (mm);

Q = vazão do sistema (m^3/h);

T = tempo (h);

S_1 = espaçamento entre posições ao longo da linha lateral (m);

S_2 = espaçamento entre linhas laterais (m).

A metodologia de análise de dados para a determinação uniformidade de distribuição de água foi a comparação com os padrões estabelecidos.

3.5. Eficiência de Aplicação e Eficiência do Projecto de Rega

A eficiência de aplicação de água foi determinada através da equação 2.19, proposta pela FAO (2002), sendo que a água armazenada no sistema radicular foi estimada por meio do balanço hídrico, aplicando o método de Thornthwaite-Mather, conforme proposto por (Raposo, 1994).

A eficiência de transporte foi considerada com valor um, visto que o equipamento ou conduto é fechado e não apresentou fugas ao longo da linha adutora, conforme proposto por (Faria et al., 2017).

A eficiência total do projecto de rega foi o resultado do produto das eficiências parciais, nomeadamente, a eficiência de aplicação e a eficiência de condução da água, através da expressão 2.20, proposta por Rudnick (2015).

A classificação da eficiência de aplicação de água foi feita com base na comparação dos valores propostos por Mantovani (2001) e (FAO, 2002). A classificação da eficiência do projecto de rega foi feita na base da comparação com os valores indicados pela FAO (2002), entre 60 e 75% como aceitável.

3.6. Limitações do Estudo

O ensaio para a determinação da uniformidade de distribuição da água e a leitura da vazão e pressão dos aspersores se realizou em único momento da realidade, limitando os resultados ao momento estudado.

A velocidade do vento foi um dos factores que ditou o alcance dos baixos valores de coeficiente de uniformidade na parcela 1, tendo em conta que o ensaio nesta parcela decorreu no período de manhã, com a velocidade média do vento relativamente alta (7km/h), o que ditou maiores perdas de água por arraste do vento.

Nos trechos da linha de adução os dados estimados de vazão tiveram como referência os resultados do estudo do (PROIRRI, 2013).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Programação da Rega das Culturas em Campo

As culturas estabelecidas em campo foram nomeadamente, milho na parcela 2, feijão-verde na parcela 1 e piri-piri na parcela 3, numa área correspondente a 0,5 ha por parcela.

Na prática actual do produtor a produção de milho é feita em regadio com baixos insumos, irrigado em intervalos de 6 dias com um tempo de rega diário de 2 h, em 4 posições por parcela. No tocante a produção de feijão verde, esta é realizada em intervalos de rega de 3 dias, ou seja, duas vezes por semana, com tempo de rega diário de 1 h e finalmente a cultura de piri-piri é irrigado uma vez por semana (intervalos de 6 dias) com tempo diário de 1,5 h. A Tabela 9 apresenta a informação da programação de rega na prática actual do agricultor.

Tabela 9: Informação sobre culturas e programação da rega na prática actual do agricultor

Cultura	Período de cultivo	Tempo de rega (h)	Intervalo de rega (dias)	Dotação (mm)
Feijão-verde	8 Março – 5 Junho	1	3	7
Milho	6 Março – 8 Julho	2	6	10
Piri-piri	1 Março – 3 Julho	1,5	6	8

A vazão dos aspersores obtida foi de 0,4 l/s na parcela 1 e 0,3 l/s nas parcelas 2 e 3, ou seja, 1,44 m³/h na parcela 1 e 1,08 m³/h nas parcelas 2 e 3, respectivamente. Esta diferença de vazão dos aspersores nas parcelas resulta da desuniformidade de vazão ao longo dos trechos da linha principal, conforme é descrito mais adiante.

Conforme demonstra a Tabela 9, o período de sementeira das culturas estudadas foi o mês de Março, sendo que, para a cultura de milho nas duas horas de irrigação (parcela 2) a dotação fornecida pelos aspersores foi de 10mm, no feijão-verde foi cerca de 7mm (parcela 1) e 8mm no piri-piri (parcela 3).

Os resultados da simulação da programação da rega na prática actual do agricultor são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Resultados da simulação da programação da rega na prática actual do agricultor

Par	Cultura	Efic. de rega ² (%)	Precip. Efectiv. (mm)	Efic. de Precip. (%)	Lapl. Líquid. (mm)	Efic. de aplic. rega (%)	Déficit Hídrico (mm)	Perd. Rend. Cumulat. (%)
1	Feijão verde	70	68,8	37,7	203	62,3	10	0
2	Milho	70	107,4	46,3	200	53,7	51	5
3	Piri-piri	70	125,8	48,4	200	51,6	43	3,3

Conforme demonstrado na Tabela 10, considerando a eficiência de rega de 70% para os sistemas de rega por aspersão, na prática actual do agricultor, o feijão verde com 7 mm de dotação em intervalos de rega de 3 dias, tendo em conta a ETc média diária de 4,2 mm não se verifica redução no seu rendimento, mas se considerar a média diária de ETc incluindo a precipitação efectiva (38%) terá apenas um déficit hídrico em cerca de 10 mm. A Figura 16 demonstra o diagrama da programação de rega para a cultura de feijão-verde.

Para a cultura do milho com a dotação de 10 mm em intervalos de rega de 6 dias, mesmo com as compensações da precipitação efectiva (46%) apresenta uma redução no seu rendimento, em cerca de 5%. Similarmente, para a cultura de piri-piri com dotação fixa de 8 mm em intervalos de rega de 6 dias, mesmo com as compensações feitas pela precipitação (48,4%), verifica-se uma redução no seu rendimento em cerca de 3,3%.

As deficiências observadas na programação de rega para as culturas de milho e piri-piri são motivadas pelas reduções na evapotranspiração das culturas, aliado ao déficit hídrico, principalmente nas fases de desenvolvimento e final, como demonstram os diagramas das Figuras 17 e 18. Importa referenciar que o déficit hídrico resultante para a cultura de milho é cerca de 51 mm e 43 mm para a cultura de piri-piri.

Por outro lado, tendo como referência as necessidades hídricas totais para a produção do milho, situada entre 450 a 700 mm, os resultados da programação de rega na prática actual dos agricultores cujas lâminas líquidas totais de água aplicada em cerca 200 mm, somado a precipitação efectiva de 107,4 mm (cerca de 307 mm), o valor situa-se abaixo do intervalo estabelecido. O mesmo sucede com a cultura de piri-piri com a lâmina total aplicada de 200 mm

² Eficiência de rega padrão do modelo CropWat 8,0 para os sistemas de irrigação por aspersão

acrescido à precipitação efectiva de 125,8 mm (cerca de 326 mm), o valor também situa-se aquém dos intervalos das necessidades hídricas de água, que situam entre 500 a 800 mm.

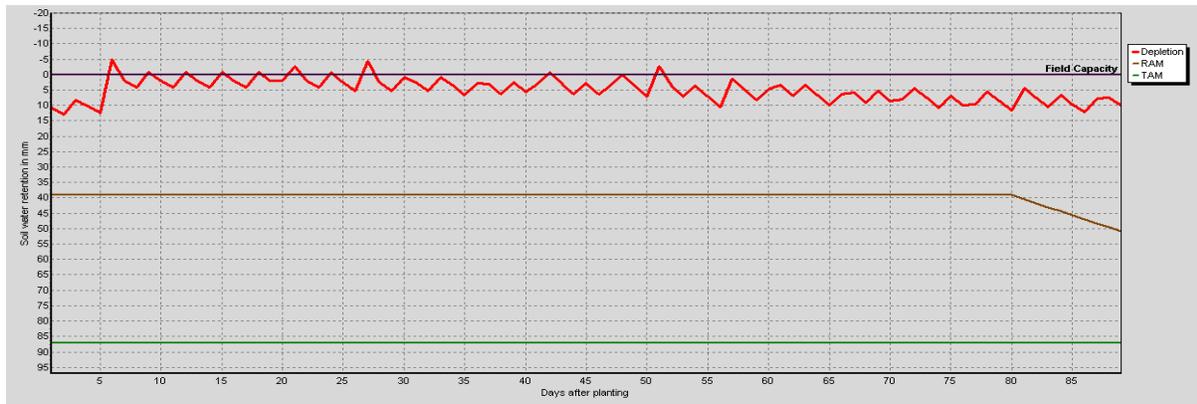


Figura 16: Programação de rega para a cultura de feijão-verde na prática dos agricultores, dotação aplicada de 7mm e intervalo de rega de 3 dias

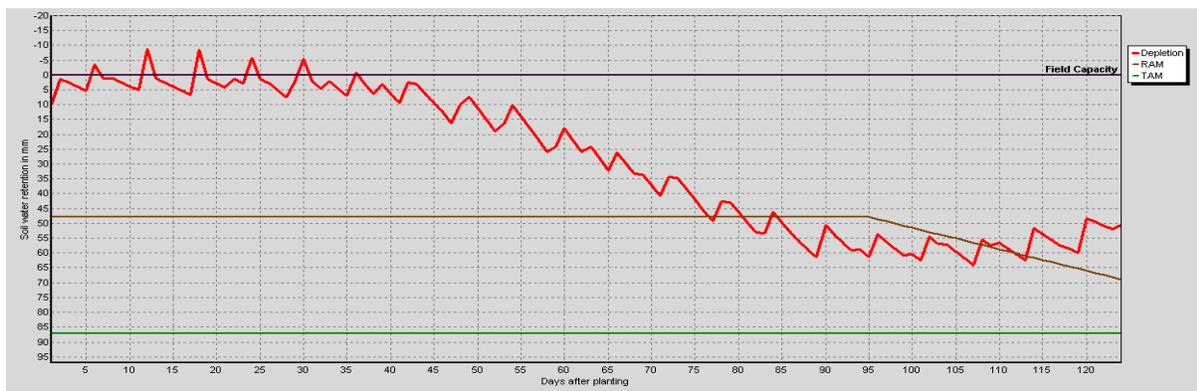


Figura 17: Programação de rega para a cultura de milho na prática dos agricultores, dotação aplicada de 10mm e intervalo de rega de 6 dias

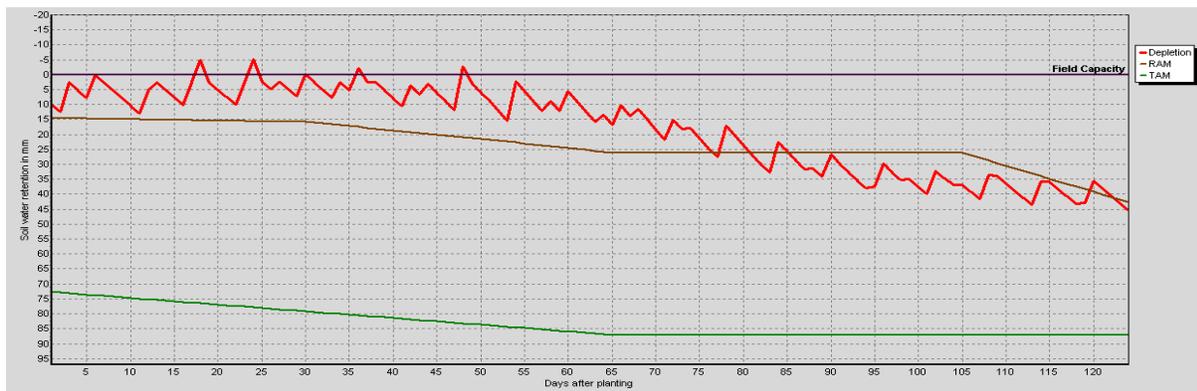


Figura 18: Programação de rega para a cultura de piri-piri na prática dos agricultores, dotação de 8mm e intervalo de rega de 6 dias

Os resultados da dotação e intervalos de rega na prática actual dos agricultores e os valores recomendados são apresentados no anexo 1 e resumidos na Tabela 11.

Tabela 11: Dotação, intervalo e tempo de rega na prática actual dos agricultores e valores recomendados para as culturas estudadas.

Cultura	Prática actual			Valores recomendados (CropWat)			Ea (%)
	T (h)	I (dias)	d (mm)	T (h)	I (dias)	d (mm)	
Feij. Verde	1	3	7	1	2	6	87,1
Milho	2	6	10	2	4	10	80,4
Piri-Piri	1,5	6	8	1	3	6	94

Segundo a Tabela 11, a programação de rega recomendado para a cultura de feijão-verde semeado a 08 de Março com previsão de primeira colheita a 5 de Junho, considerando as condições edafo-climáticas locais resulta numa dotação aplicada de 6 mm em intervalos de rega de 2 dias e tempo de rega de 1 hora. Nestas condições de programação a eficiência de aplicação de água será cerca de 87%.

Para a cultura de milho a programação de rega recomendado resultou numa dotação de 10 mm em intervalos de 4 dias e tempo de rega de 2 horas. Nestas condições de programação a eficiência de aplicação de água será cerca de 80,4%. Já para a cultura de piri-piri resultou numa dotação de 6 mm em intervalos de rega de 3 dias e tempo de rega de 1 hora, sendo que nestas condições a eficiência de aplicação de água será cerca de 94%.

As Figuras 19, 20 e 21 representam a programação de rega recomendados para as culturas estudadas.

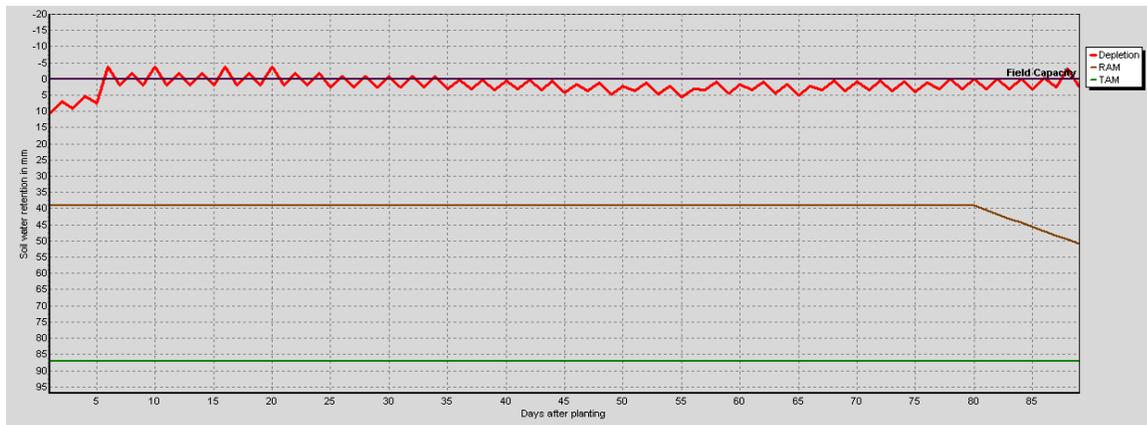


Figura 19: Programação de rega recomendado para cultura de feijão-verde, dotação aplicada de 6mm e intervalo de rega 2 dias

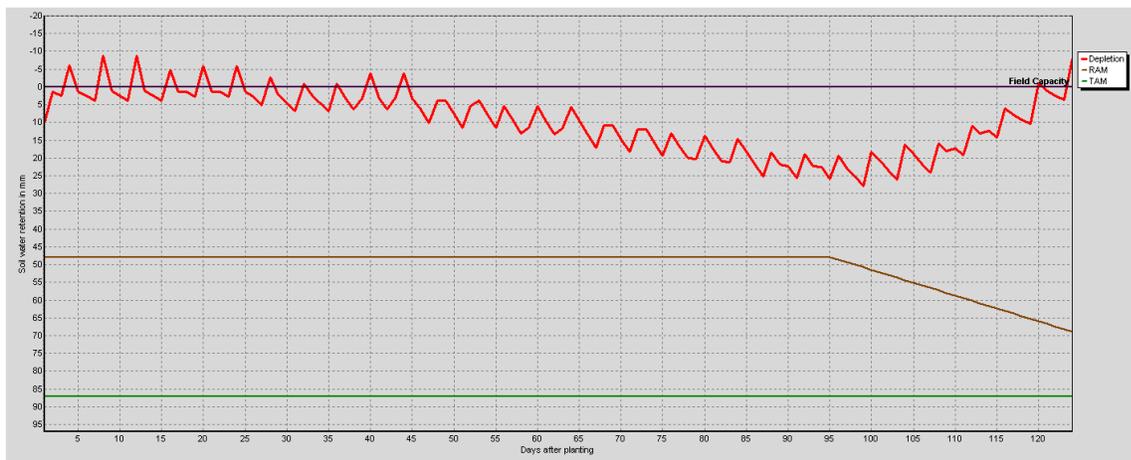


Figura 20: Programação de rega recomendado para cultura de milho, dotação aplicada de 10mm e intervalo de rega 4 dias

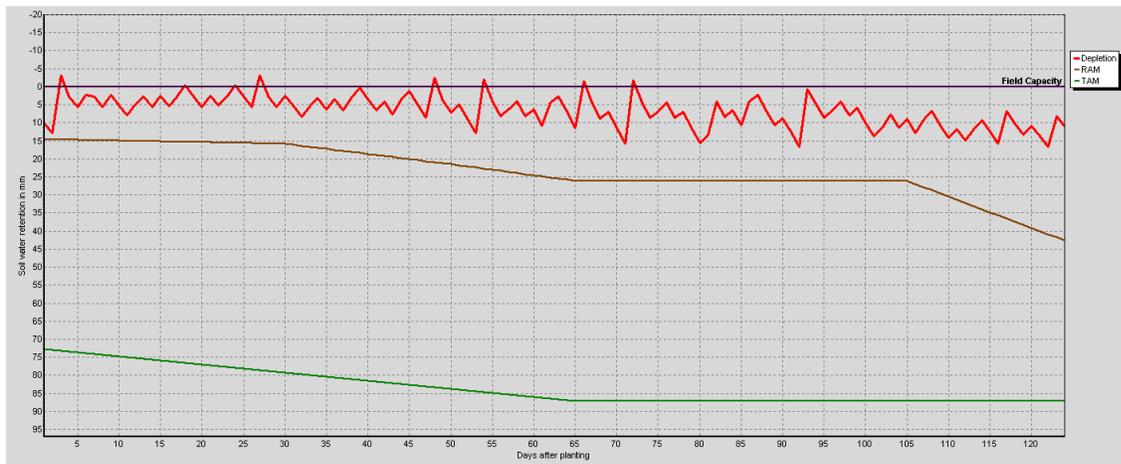


Figura 21: Programação de rega recomendado para cultura de piri-piri, dotação aplicada de 6mm e intervalo de rega 3 dias

4.2. Operação do Sistema Adutor e de Distribuição

A pressão de serviço dos aspersores na parcela 1 foi de 20,7 mca, operando numa vazão de 0,4 l/s. Na parcela 2 a pressão registada foi de 27,3 mca com uma vazão de 0,3 l/s e finalmente a vazão na parcela 3 foi de 0,3 l/s com a pressão de serviço de 30,7 mca, sendo a mais alta registada, como demonstrado na Tabela 12.

Tabela 12: Vazão e pressão de serviço dos aspersores

Parcela	V	T (s)				Q		P (kpa)				
		Rep.			Méd.			Rep.			Méd.	
n°	l	1	2	3			l/s	m ³ /h	1	2	3	kpa
1	20	46,4	49,3	48,86	48,2	0,4	1,44	205	201	203	203	20,7
2	20	76	77	77	76,7	0,3	1,08	206	299	299	268	27,3
3	20	75	71	74	73,3	0,3	1,08	302	301	299	301	30,7

Os resultados de caudal e pressão de serviço dos aspersores indicam que se trata de aspersores de média pressão, pelo que, segundo Bernardo et al. (2006), a pressão de funcionamento desses aspersores variaram entre 20 a 40 mca. A pressão de serviço dos aspersores de 30,7 mca foi a melhor, sendo que, influenciou para a boa uniformidade de distribuição de água observada na parcela 3.

Sendo que a cota (Z_1) registada na captação foi de 746,9 m e cerca de 690 m nos campos de irrigação (Z_2), a diferença de cotas (Δz) resultante entre a captação e a área de distribuição ou campos de irrigação analisados foi de 55,6 m, traduzindo este valor em pressão, tendo em conta que o sistema de adução é a gravidade com perdas de caga totais (Tabela 15), significa que a pressão de água que chega na linha secundária das parcelas é cerca de 40 mca, porém, este valor é classificado como sendo de transição entre média a alta pressão pois, segundo (Dries, 2008), os valores de baixa pressão situam-se em intervalos até 15 mca, os valores de alta pressão situam-se entre 15 a 25 mca e valores de alta pressão a partir de 50 mca.

Conforme a Tabela 13, a perda de carga permitida na linha lateral da parcela 1 é de 4,1 mca, 5,5 mca na parcela 2 e 6,1 mca na parcela 3.

Tabela 13: Perdas de carga permissível corrigida na linha lateral e intensidade de precipitação

Parcela	Qasp	P	S	I	hf	f	hf'
n°	(m³/h)	(mca)	m²	mm/h	mca		mca
1	1,44	20,7	216	7	4,1	0,4	9,4
2	1,08	27,3	216	5	5,5	0,4	12,5
3	1,08	30,7	216	5	6,1	0,4	14,0

O tempo médio de rotação dos aspersores foi de 41 s e a intensidade de precipitação dos aspersores foi de 5 mm/h nas parcelas 2 e 3 e 7 mm/h na parcela 1, sendo classificadas como taxas de aplicação média, pois, segundo a FAO (2002), as baixas taxas de aplicação situam-se entre 2,5-5 mm/h, as médias entre 5 a 10 mm/h e altas acima de 10 mm/h.

O caudal da linha lateral na parcela 1 foi de 8,6 m³/h, nas parcelas 2 e 3 foi de 6,5 m³/h, o equivalente a 2,3 l/s e 1,81 l/s, respectivamente. As perdas de carga lineares na linha lateral das parcelas são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14: Perdas de carga lineares na linha lateral

Parcela	hf'	L_{LL} (m)	J (m/m)
1	9,4	71	0,13
2	12,5	71	0,18
3	14	71	0,20

A altura dos aspersores na área do projecto foi de 1,20 m, sendo que a pressão inicial na linha lateral foi de 23,3 mca na parcela 1, 30,7 mca na parcela 2 e 34,5 mca na parcela 3.

A velocidade do escoamento em cada secção ou trecho da linha adutora variou entre 0,85 m/s a 1,49 m/s, sendo valores descritos como aceitáveis, tendo em conta que velocidades do escoamento acima de 3 m/s têm impactos negativos, dando origem a escoamentos turbulentos.

As perdas de carga localizadas variaram de 1,1 à 2,2 mca. A perda de carga considerando o início e o fim da linha adutora foi cerca de 16 mca e o número de Reynold entre 89 a 202, considerando cada trecho da referida linha. Igualmente, observa-se que o fluxo decresce com o aumento da distância em relação à captação, ou seja, de 27 l/s no trecho A-B para 7,6 l/s no trecho M-N e 5,2 l/s no trecho N-P, conforme é demonstrado na Tabela 15.

Em geral, há compatibilidade dos aspersores utilizados em relação a pressão do sistema, sendo que, a média pressão resultante no sistema de distribuição é a recomendada, tendo em conta que a pressão de serviço abaixo da recomendada prejudica a uniformidade de distribuição de água e provoca a formação de gotas relativamente superiores as normais, podendo prejudicar as plantas e compactar o solo (Marouelli et al., 2008). Ainda segundo (Marouelli et al., 2008), a pressão muito acima da recomendada compromete a tubulação, acarreta maior consumo de energia (em caso de uso de bombas hidráulicas) e provoca pulverização excessiva da água, favorecendo a evaporação excessiva, derivada do vento.

Tabela 15: Velocidade do escoamento, perdas de carga e número de Reynold para os trechos da linha de adução

Trech	Q (l/s)	Q(m ³ /s)	D (mm)	D (m)	A (m ²)	L (m)	Mat.	C (m ³ /8/s)	U (m/s)	T °C	r (kg/m ³)	μ (mPa.s)	J (m/m)	k	ΔHL (m/m)	ΔHc (m/m)	Re
A-B	26.6	0.0266	200	0.2	0.031	48	F.Gal.	120	0.853451994	20	997	1.002	0.00	0.3	1.1	0.2	170
B-C	25.33	0.02533	160	0.16	0.020	96	PVC	140	1.270051957	20	997	1.002	0.01	0.2	1.6	0.9	202
C-D	24.06	0.02406	160	0.16	0.020	99	PVC	140	1.206435924	20	997	1.002	0.01	0.2	1.4	0.9	192
D-E	22.79	0.02279	140	0.14	0.015	96	PVC	140	1.492618464	20	997	1.002	0.02	0.2	2.2	1.4	208
E-F	21.52	0.02152	140	0.14	0.015	54	PVC	140	1.409521334	20	997	1.002	0.01	0.2	1.9	0.7	196
F-G	21.52	0.02152	140	0.14	0.015	138	PVC	140	1.409521334	20	997	1.002	0.01	0.2	1.9	1.9	196
G-H	21.52	0.02152	140	0.14	0.015	45	PVC	140	1.409521334	20	997	1.002	0.01	0.2	1.9	0.6	196
H-I	19.62	0.01962	140	0.14	0.015	96	PVC	140	1.285193537	20	997	1.002	0.01	0.2	1.6	1.1	179
I-J	17.72	0.01772	140	0.14	0.015	99	PVC	140	1.160853681	20	997	1.002	0.01	0.2	1.3	0.9	162
J-K	15.18	0.01518	140	0.14	0.015	96	PVC	140	0.994609788	20	997	1.002	0.01	0.2	1.0	0.7	139
K-L	12.64	0.01264	110	0.11	0.009	99	PVC	140	1.341705839	20	997	1.002	0.02	0.2	1.8	1.6	147
L-M	10.1	0.0101	110	0.11	0.009	96	PVC	140	1.07233143	20	997	1.002	0.01	0.2	1.1	1.0	117
M-N	7.56	0.00756	90	0.09	0.006	99	PVC	140	1.199328566	20	997	1.002	0.02	0.2	1.4	1.7	107
N-P	5.2	0.0052	75	0.075	0.004	96	PVC	140	1.18830767	20	997	1.002	0.02	0.2	1.4	2.0	89

Onde: Q = Caudal; D = diâmetro nominal; L = comprimento do trecho; C = coeficiente de Hazen-Williams; U = velocidade do escoamento; T = temperatura da água; Re = número de Reynold; ΔHL= perda de carga localizada; ΔHc = perda de carga contínua; J= perda de carga unitária; K = rugosidade absoluta; r = densidade do fluido; μ = viscosidade dinâmica.

4.3. Uniformidade de Distribuição de Água e Eficiência de Rega

A Tabela 16 apresenta os dados brutos da precipitação coletada nos três ensaios realizados, conforme a disposição no campo. A lâmina média colectada na parcela 1 foi de 16 mm, 17,3 mm na parcela 2 e 19,5 mm na parcela 3.

Tabela 16: Precipitação dos aspersores (mm)

Parcela 1					
20	10	9	8	5	15
24	10	9	10	19	19
23	24	18	19	23	25
10	18	19	19	5	22
Parcela 2					
23	23	11	15	20	26
20	21	25	20	14	19
9	17	18	10	13	19
19	20	10	12	15	15
Parcela 3					
20	20	24	17	15	11
15	16	26	26	16	16
17	20	20	28	25	20
22	18	19	18	20	20

Conforme a Tabela 17, os coeficientes de uniformidade nas parcelas 2 e 3 variaram de razoável a bom e péssimo na parcela 1.

Tabela 17: Classificação dos coeficientes de uniformidade para os ensaios realizados.

Parcela 1			
Coeficiente de Uniformidade	CUC	CUE	CUD
Valores de uniformidade (%) ³	64,2	59,5	48,0
Classificação	Péssimo	Péssimo	Péssimo
Parcela 2			
Coeficiente de Uniformidade	CUC	CUE	CUD
Valores de uniformidade (%) ⁴	76,4	71,9	55,1
Classificação	Razoável	Razoável	Razoável
Parcela 3			
Coeficiente de Uniformidade	CUC	CUE	CUD
Valores de uniformidade (%) ⁵	84,2	79,1	66,5
Classificação	Bom	Razoável	Bom

³ Vide no anexo 2: Tabelas 7,8; 7,9 e 7,10

⁴ Vide no anexo 2: Tabelas 7,8; 7,9 e 7,10

⁵ Vide no anexo 2: Tabelas 7,8; 7,9 e 7,10

Pela Tabela 17, note-se que a classificação dos coeficientes de uniformidade de distribuição da água foi boa na parcela 3, razoável na parcela 2 e péssima na parcela 1. Geralmente, reduzidos valores de uniformidade determinam maiores consumo de água, maiores perdas de nutrientes por lixiviação e percolação profunda ao mesmo tempo em que podem apresentar plantas com déficit hídrico, em proporção significativa da área irrigada.

A velocidade do vento registada foi de 7 km/h no período de manhã (parcela 1), 5,5 km/h no início da tarde (parcela 2) e 4,5 km/h no período de tarde (parcela 3), sendo que a velocidade do vento afectou a uniformidade de distribuição da água nas parcelas. Nota-se, no entanto, que a uniformidade de distribuição da água melhorou na medida em que a velocidade do vento abrandou (4,5 km/h), segundo a Tabela 18.

Tabela 18: Correlação entre a velocidade do vento e a classificação dos coeficientes de uniformidade

Parcela	Classificação de CU (%)			Vel. Vento (km/h)
	CUC	CUE	CUD	
1	Péssimo	Péssimo	Péssimo	7
2	Razoável	Razoável	Razoável	5,5
3	Bom	Razoável	Bom	4,5

Os resultados da uniformidade de distribuição de água obtidos contrariam a afirmação de Bernardo et al. (2009), onde, segundo estes autores, nos locais onde a velocidade do vento atinge valores acima de 18 km/h, as perdas por arraste do vento podem chegar a 20% ou mais.

Outro factor que merece análise na uniformidade de distribuição da água é a pressão de serviço dos aspersores, onde se nota que a uniformidade de distribuição foi boa com a pressão de serviço dos aspersores entre 27,3 e 30,7 mca, nas parcelas 2 e 3 e baixa UD com pressão de serviço de 20,7 mca, na parcela 1. A Tabela 19 apresenta os valores de eficiência de aplicação da água nas parcelas analisadas.

Tabela 19: Valores de eficiência de aplicação da água nas parcelas 1, 2 e 3

Parc	Mês	P (mm)	ETP (mm)	HD (mm)	ΔR (mm)	DF (mm)	D (mm)	KHB (mm)	Ea (%)
1	Mar	14,0	4,2	3,6	6,2	0,0	3,1	2,8	44,3
2	Mar	10,0	4,2	2,6	3,2	0,0	1,7	1,5	32,2
3	Mar	10,0	4,2	2,6	3,2	0,0	0,9	0,8	32,2

FHD = 0,25
Rmax = 192,8
Rinic = 0
D inic = 5,9
KHB = 0,46

Onde: P=precipitação dos aspersores (2h); ETP=evapotranspiração média; ΔR = quantidade de água retida no solo; DF=período com déficit de água; D=valor de detenção (reservatório); KHB= constante de esgotamento do reservatório linear que simula a detenção do escoamento de base; HD= valor de escoamento directo; FHD=fracção da precipitação que dá origem ao escoamento directo; Rmax=quantidade máxima de água retida à superfície e no solo; Ea= Eficiência de aplicação da água no solo.

Sendo a intensidade de precipitação (I) a pluviometria ou precipitação horária, nas duas horas de acionamento do sistema, segundo a Tabela 18, a precipitação na parcela 1 foi cerca de 14 mm e cerca de 10 mm nas parcelas 2 e 3, onde cerca de 3,2 mm foi o volume de escoamento directo na parcela 1 e cerca de 2,6 mm correspondente ao volume de escoamento directo nas parcelas 2 e 3. Considerando a evapotranspiração média de 4,2 mm, a quantidade de água que esteve disponível para as culturas (ΔR) na parcela 1 foi cerca de 6,2 mm e cerca de 3,2 mm nas parcelas 2 e 3, sendo que em todas as parcelas analisadas o período com déficit de água foi nulo. Segundo as Tabelas 19 e 20, o valor da eficiência de aplicação de água na parcela 1 foi de 44,3 mm e 32,2 mm nas parcelas 2 e 3. Porém, estes valores situam-se abaixo do recomendado por Bernardo et al. (2009) para sistemas de irrigação por aspersão, que varia de 75-85% como intervalo aceitável, e também estão abaixo do intervalo estabelecido pela FAO, que varia de 60-85%.

A classificação dos coeficientes de uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação da água nas parcelas analisadas são resumidas na Tabela 20.

Tabela 20: Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação para os ensaios realizados, de acordo com Mantovani (2001).

Parcela	Valor		Parcela	Valor		Parcela	Valor	
1	(%)	Classificação	2	%	Classificação	3	(%)	Classificação
CUC	64,2	Péssimo	CUC	76,4	Razoável	CUC	84,2	Bom
CUE	59,5	Péssimo	CUE	71,9	Razoável	CUE	79,1	Razoável
CUD	48	Péssimo	CUD	55,1	Razoável	CUD	66,5	Bom
Ea	44,3	Inaceitável	Ea	32,2	Inaceitável	Ea	32,2	Inaceitável

Em média, a eficiência de aplicação de água nas parcelas 1, 2 e 3 foi de 38%. Tendo em conta que os trechos da linha de adução são compostos por condutas fechadas, na qual não se verificam perdas por evaporação, infiltração ou percolação, a eficiência transporte resultante é igualada a 1, o correspondente a 100%. Aplicando a equação proposta por Rudnick (2015), conjugando as eficiências de transporte e de aplicação da água, a eficiência do projecto de rega é cerca de 40%. Este valor situa-se abaixo do recomendado pela (FAO, 2002), onde para os sistemas de irrigação por aspersão a eficiência do sistema situa-se no intervalo de 60% a 75%.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Com a programação da rega para as culturas de milho e piri-piri na prática actual dos agricultores se verificam perdas no rendimento devido ao défict hídrico sobretudo nas fases de desenvolvimento e final. Este cenário também é verificado na cultura de feijão-verde, embora sem influência sobre a redução no seu rendimento.

Considerando o critério de variação ao longo do tempo, o escoamento é variável e ao longo dos trechos da linha adutora o número de Reynolds foi abaixo de 2000, sendo que a rede é caracterizada pela ocorrência de escoamento do tipo laminar, adequado para o bom funcionamento do sistema de irrigação.

A uniformidade de distribuição da água foi péssima na parcela 1, devido a velocidade do vento que foi de 7km/h, sendo a mais alta registada, comparando com as outras parcelas. Ademais, ela variou de péssima à boa, influenciada também pela diferença pressão de serviço dos aspersores.

O valor da eficiência do projecto de rega (40%) classificado como abaixo do recomendado, é resultante da baixa eficiência de aplicação de água (E_a).

5.2. Recomendações

- Na prática actual dos produtores se recomenda a redução de intervalos de rega para a cultura de milho, de 6 dias para 4 dias com tempo de rega de 2h. Para a cultura de piri-piri se recomenda a redução de intervalos de rega de 6 para 3 dias com tempo de rega 1h;
- Recomenda-se o treinamento dos produtores sobre os métodos de estimativa e controlo da necessidade e aplicação de água, incluindo as práticas de manejo, a fim de evitar desperdícios, contribuindo para uma irrigação eficiente, atendendo às necessidades hídricas das culturas;
- Aos autores do projecto do regadio que incluíssem equipamentos hidráulicos de medição de vazão e/ou pressão ao longo dos trechos da linha adutora;
- Se recomenda o uso de quebra-ventos ou barreiras densas de árvores altas de modo a minimizar o impacto do vento forte no processo de rega.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, W. V. (2010). Eficiência da irrigação localizada e do consumo de energia na cafeicultura na região do Alto Jequitinhonha. *http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/*, 50. Obtido de *http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/535*
- Andrade, C. de L. T. (2001). Seleção do sistema de irrigação. *Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 14*.
- Antunes, A. D. (2018). *Avaliação da uniformidade de distribuição da água e eficiência de aplicação, em um sistema de iriigação por aspersão com diferentes combinações de espaçamento, bocal e turno*. Universidade Federal do Pampa, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, Alegrete.
- Ascough, G. W. (2005). *Interin Report on Standardized Terminology and Essential Variable or Factors*. Water Research Comission. Pretória: Water Research Comission. doi:K5/14822/4
- Bernardo, S., Soares, A. A., & Mantovani, E. C. (2006). *Manual de Irrigação* (8 ed.). (UFV, Ed.) Viçosa, Brasil.
- Bernardo, S., Soares, A. A., & Mantovani, E. C. (2009). *Manual de Irrigação* (8 actualizada ed.). Viçosa: Imprensa Universitária.
- Bettencourt, M. M. (2018). *Gestãoe uso eficiente da água no aproveitamento hidroagrícola da Lezíria Grande de Vila Franca de Xira*. Lisboa: Universidade de Lisboa.
- Biscaro, G. A. (2009). *Sistemas de Irrigação por Aspersão*. Dourados: Universidade Federal da Grande Dourados. doi:978-85-61228-35-4
- Calheiros, R. d., Tabai, F. C., Bosquilia, S. V., & Calamari, M. (2004). Preservação e Recuperação das Nascentes. Piracicaba: Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios PCJ-CTRN.
- Caliche, A. P. (2004). *Agricultura familiar e a produção e a comercialização de Milho em Vanduzi, 1987-2000*. Dissertação apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Licenciatura em História da Universidade Eduardo Mondlane, Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de História, Maputo.
- Christiansen, E. (1942). *Irrigation by Sprinkling*. Berkley, California, USA: Bulletin 670, University of California.
- Creswell, J. (2003). Chapter One, A framework for design: quantitative, qualitative, and mixed methods approaches.
- Dries, A. v. (2008). Manual prática de dimensionamento técnico de regadios de pequena escala para associações regantes aplicado nas condições de Moçambique. 262.
- FAO. (2002). *Planning, Development Monitoring and Evaluation Of Irrigated Agriculture With Farmer Participation* (Vol. 1). Harare, Zimbabwe. doi:0-7974-2316-8

- FAO. (2014). Técnicas de Irrigação para Agricultores de Pequena Escala:. Em M. Smith, G. Muñoz, & J. S. Alvarez. doi:ISBN 978-92-5-008326-1
- FAO. (2021, Online). Obtido em 23 de Novembro de 2021, de <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>
- Faria, L. C., Gomes, N. B., Alberto, C., & Nunes, F. J. (2017). Eficiência de aplicação de água de um sistema mecanizado tipo móvel equipados com dois modelos de aspersores operando em condições de vento. *IV INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING* (p. 9). ResearchGate.
- Fernande, R. M. (2013). *Regadios tradicionais no território português o caso de querença no Barrocal Algarvio*. Universidade do Algarve, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Algarve: Sapientia Repositório da Universidade do Algarve. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.1/7574>
- Fernandes, R. M. (2013). Regadios tradicionais no território português, o caso de querença no Barrocal Aljárvio. *Sapientia-Repositório da Universidade do Algarve*.
- Gomes, H. P. (2013). *Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética*. Paraíba, Brasil: Editora da UFPB.
- Gomes, H. P. (2013). *Sistemas de Irrigação: Eficiência Energética*. Paraíba, Brasil: Editora da UFPB.
- Heinemann, A. B., Frizzone, J. A., Pinto, J. M., & Filho, J. C. (1998). Influência da Altura do Emissor na Uniformidade de Distribuição da Água de um Sistema Pivô Central. Brasília: Pesquisa Agropecuária Brasileira.
- IIAM. (2006). *Relatório de Pesquisa*. Instituto de Investigação Agronómica de Moçambique. doi:3 P
- Kay, M. (2008). *Practical Hydraulics* (2nd ed.). London. doi:<https://doi.org/10.4324/9780203960776>
- Keller, J., & Bliesner, R. (1990). *Sprinkle and trickle irrigation*. Ney Work: Chapman and Hall.
- Lencastre, A. (1996). *Manual de Hidráulica Geral* (3 ed.). Lisboa: Edição do autor.
- Mantovani, E. C. (2001). *Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada*. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, MG.
- Mantovani, E. C., Bernardo, S., & Palaretti, L. F. (2009). *Irrigação: Princípios e Métodos* (3 ed.). Viçosa, Brasil.
- Marouelli, W. A., Carvalho, W. L., & Silva, S. E. (2008). *Irrigação por Aspersão em Hortaliças* (Vol. 2). (F. d. Pereira, M. R. Carneiro, & L. M. Andrade, Edits.) Brasília, Brasil: Embrapa Informação Tecnológica.
- Marques, J. A., & Sousa, J. J. (2009). *Hidráulica urbana: sistemas de abastecimento de água e drenagem de águas residuais* (Imprensa da Universidade ed., Vol. 2a). Coimbra:

- Bibliografia Nacional Portuguesa. Obtido de <http://id.bnportugal.gov.pt/bib/bibnacional/1776025>
- Mateos, L. (1998). Assessing whole-field uniformity of stationary sprinkler irrigation systems. *irrigation science*, 73–81. doi:<https://doi.org/10.1007/s002710050047>
- Neto, J. D., Azevedo, C. A., Silva, L. F., & Santos, C. S. (2013). Desempenho de Sistema de Irrigação por gotejamento em áreas de pequenos produtores do semiárido paraibano. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer*, 9, 688.
- Pereira, L. R., Sousa, J. M., Rafael, A. d., Cruz, E. A., Teixeira, A. d., & Reis, E. F. (2016). Uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão em pastagem. *Revista Agrarian*. doi:ISSN: 1984-2538
- Pereira, L. S. (Setembro de 2001). Desempenho de sistema de rega. *VIII*(3), 329-338.
- Pinto, J. M. (1987). *Avaliação de sistema de irrigação*. Petrolina, PE, Brasil: EMBRAPA.
- Pitoro, R. Ó. (1998). *Determinação de Eficiências de Campo no regadio de Sábie-Incomati*. Tese de licenciatura, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de de Agronomia e Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Rural, Secção de Terra e Água, Maputo. Obtido em 2021
- PROIRRI, P. d. (2013). *7 de Abril 1 Irrigation Scheme*. Ministério da Agricultura, Direção Nacional de Serviços Agrários, Manica Province.
- Raposo, J. R. (1994). *A rega por Aspersão* (2nd ed., Vol. 2nd). (C. Editora, Ed.) Lisboa, Portugal.
- Rocha, E. M., Costa, R. N., Mapurunga, S. M., & Castro., P. T. (1999). Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*(3), 154-160.
- Rudnick, D. R. (2015). *Irrigation Efficiency*. (M. Geiger, Ed.) -Lincoln, Netherland: University of Nebraska.
- Santos, I. d., & Lautert, L. F. (2001). *Hidrometria Aplicada*. Curitiba: Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento.
- Silva, D. G. (2012). *Irrigação por aspersão. Manual Técnico 33*. Rio de Janeiro.
- Tagliaferre, C. (2006). *Desempenho do Irrigametro e de dois Minievaporímetros para Estimativa da Evapotranspiração de Referência*. Tese de doutorado em Engenharia Agrícola , Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Toromo, A. K., Kipkorir, E. C., Shitote, S. M., & Kibiiy, J. K. (2011). Can shelterbelts improve sprinkler irrigation performance under windy semi-arid conditions?

7. ANEXOS

ANEXOS 1: Simulação do Balanço de Água no Solo pelo CropWat para a Prática actual e Recomendada para as culturas na área de estudo

Tabela 7.1: Balanço de água no solo para o feijão-verde na prática actual do produtor

Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr mm	Deficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
10-Mar	3	Init	0	1	100	17	7	8.2	0	10	0.39
13-Mar	6	Init	27.7	1	100	2	7	0	4.9	10	0.39
16-Mar	9	Init	0	1	100	7	7	0	0.7	10	0.39
19-Mar	12	Init	0	1	100	7	7	0	0.7	10	0.39
22-Mar	15	Init	0	1	100	7	7	0	0.7	10	0.39
25-Mar	18	Init	0	1	100	7	7	0	0.7	10	0.39
28-Mar	21	Dev	0	1	100	5	7	0	2.8	10	0.39
31-Mar	24	Dev	0	1	100	7	7	0	0.7	10	0.39
3-Apr	27	Dev	14	1	100	3	7	0	4.4	10	0.39
6-Apr	30	Dev	0	1	100	9	7	0.8	0	10	0.39
9-Apr	33	Dev	0	1	100	9	7	0.8	0	10	0.39
12-Apr	36	Dev	0	1	100	11	7	2.7	0	10	0.39
15-Apr	39	Dev	0	1	100	11	7	2.4	0	10	0.39
18-Apr	42	Dev	0	1	100	7	7	0	0.7	10	0.39
21-Apr	45	Dev	0	1	100	11	7	2.8	0	10	0.39
24-Apr	48	Dev	0	1	100	8	7	0.1	0	10	0.39
27-Apr	51	Mid	6.5	1	100	5	7	0	2.7	10	0.39
30-Apr	54	Mid	0	1	100	12	7	3.6	0	10	0.39
3-May	57	Mid	5.6	1	100	10	7	1.4	0	10	0.39
6-May	60	Mid	0	1	100	13	7	4.7	0	10	0.39
9-May	63	Mid	0	1	100	12	7	3.3	0	10	0.39
12-May	66	Mid	0	1	100	15	7	6.2	0	10	0.39
15-May	69	Mid	0	1	100	14	7	5.3	0	10	0.39
18-May	72	Mid	0	1	100	13	7	4.3	0	10	0.39
21-May	75	Mid	0	1	100	16	7	6.9	0	10	0.39
24-May	78	Mid	0	1	100	15	7	5.6	0	10	0.39
27-May	81	End	3.3	1	100	13	7	4.4	0	10	0.39
30-May	84	End	0	1	100	16	7	6.5	0	10	0.39
2-Jun	87	End	0	1	100	17	7	7.8	0	10	0.39
5-Jun	End	End	0	1	0	12					

Tabela 7.2: Balanço de água no solo para a cultura de milho na prática actual do produtor

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
11-Mar	6	Init	0	1	100	7	10	0	3.6	14.3	0.28
17-Mar	12	Init	27.7	1	100	1	10	0	8.7	14.3	0.28
23-Mar	18	Init	21.6	1	100	2	10	0	8.6	14.3	0.28
29-Mar	24	Dev	0	1	100	5	10	0	5.8	14.3	0.28
4-Apr	30	Dev	0	1	100	5	10	0	5.4	14.3	0.28
10-Apr	36	Dev	0	1	100	11	10	0	0.9	14.3	0.28
16-Apr	42	Dev	0	1	100	14	10	2.5	0	14.3	0.28
22-Apr	48	Dev	0	1	100	23	10	10.1	0	14.3	0.28
28-Apr	54	Dev	0	1	100	23	10	10.2	0	14.3	0.28
4-May	60	Mid	0	1	100	32	10	18	0	14.3	0.28
10-May	66	Mid	0	1	100	41	10	26	0	14.3	0.28
16-May	72	Mid	0	1	100	51	10	34.5	0	14.3	0.28
22-May	78	Mid	0	0.97	99	60	10	42.6	0	14.3	0.28
28-May	84	Mid	0	0.86	96	65	10	46.2	0	14.3	0.28
3-Jun	90	Mid	3	0.74	85	70	10	50.7	0	14.3	0.28
9-Jun	96	End	0	0.67	79	73	10	53.5	0	14.3	0.28
15-Jun	102	End	0	0.72	80	74	10	54.3	0	14.3	0.28
21-Jun	108	End	0	0.77	90	75	10	55.5	0	14.3	0.28
27-Jun	114	End	2.6	1	100	71	10	51.8	0	14.3	0.28
3-Jul	120	End	2.8	1	100	67	10	48.4	0	14.3	0.28
8-Jul	End	End	0	1	0	58					

Tabela 7.3: Balanço de água no solo para a cultura de piri-piri na prática actual do produtor

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
6-Mar	6	Init	0	1	100	14	10	0.3	0	14.3	0.28
12-Mar	12	Init	0	1	100	20	10	5.4	0	14.3	0.28
18-Mar	18	Init	0	1	100	7	10	0	5	14.3	0.28
24-Mar	24	Init	0	1	100	6	10	0	5.1	14.3	0.28
30-Mar	30	Init	0	1	100	12	10	0	0.3	14.3	0.28
5-Apr	36	Dev	0	1	100	10	10	0	2.1	14.3	0.28
11-Apr	42	Dev	0	1	100	17	10	3.5	0	14.3	0.28
17-Apr	48	Dev	7.6	1	100	9	10	0	2.7	14.3	0.28
23-Apr	54	Dev	6.5	1	100	15	10	2.3	0	14.3	0.28
29-Apr	60	Dev	0	1	100	18	10	5.5	0	14.3	0.28
5-May	66	Mid	0	1	100	23	10	10.3	0	14.3	0.28
11-May	72	Mid	0	1	100	29	10	15.1	0	14.3	0.28
17-May	78	Mid	3.7	1	100	31	10	17.2	0	14.3	0.28
23-May	84	Mid	3.3	0.94	98	37	10	22.5	0	14.3	0.28

29-May	90	Mid	0	0.87	95	42	10	26.8	0	14.3	0.28
4-Jun	96	Mid	0	0.81	89	46	10	29.8	0	14.3	0.28
10-Jun	102	Mid	0	0.77	86	48	10	32.1	0	14.3	0.28
16-Jun	108	End	0	0.78	84	50	10	33.6	0	14.3	0.28
22-Jun	114	End	0	0.82	90	52	10	35.6	0	14.3	0.28
28-Jun	120	End	0	0.92	96	52	10	35.4	0	14.3	0.28
3-Jul	End	End	0	0.99	0	49					

Tabela 7.4 : Balanço de água no solo recomendado para a cultura de feijão-verde

Date	Day	Stage	Rain	Ks	Eta	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	fract.	%	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
9-Mar	2	Init	0	1	100	15	6	7	0	8.6	0.5
11-Mar	4	Init	0	1	100	13	6	5.3	0	8.6	0.5
13-Mar	6	Init	27.7	1	100	2	6	0	3.9	8.6	0.5
15-Mar	8	Init	0	1	100	5	6	0	1.8	8.6	0.5
17-Mar	10	Init	27.7	1	100	2	6	0	3.9	8.6	0.5
19-Mar	12	Init	0	1	100	5	6	0	1.8	8.6	0.5
21-Mar	14	Init	0	1	100	5	6	0	1.8	8.6	0.5
23-Mar	16	Init	21.6	1	100	2	6	0	3.9	8.6	0.5
25-Mar	18	Init	0	1	100	5	6	0	1.8	8.6	0.5
27-Mar	20	Init	21.6	1	100	2	6	0	3.9	8.6	0.5
29-Mar	22	Dev	0	1	100	5	6	0	1.8	8.6	0.5
31-Mar	24	Dev	0	1	100	5	6	0	1.8	8.6	0.5
2-Apr	26	Dev	0	1	100	6	6	0	0.8	8.6	0.5
4-Apr	28	Dev	0	1	100	6	6	0	0.8	8.6	0.5
6-Apr	30	Dev	0	1	100	6	6	0	0.8	8.6	0.5
8-Apr	32	Dev	0	1	100	6	6	0	0.8	8.6	0.5
10-Apr	34	Dev	0	1	100	6	6	0	0.8	8.6	0.5
12-Apr	36	Dev	0	1	100	7	6	0.3	0	8.6	0.5
14-Apr	38	Dev	0	1	100	7	6	0.3	0	8.6	0.5
16-Apr	40	Dev	0	1	100	8	6	0.6	0	8.6	0.5
18-Apr	42	Dev	0	1	100	7	6	0.3	0	8.6	0.5
20-Apr	44	Dev	0	1	100	8	6	0.6	0	8.6	0.5
22-Apr	46	Dev	0	1	100	9	6	1.7	0	8.6	0.5
24-Apr	48	Dev	0	1	100	8	6	1.1	0	8.6	0.5
26-Apr	50	Dev	0	1	100	9	6	2.2	0	8.6	0.5
28-Apr	52	Mid	0	1	100	8	6	1.1	0	8.6	0.5
30-Apr	54	Mid	0	1	100	9	6	2.2	0	8.6	0.5
2-May	56	Mid	0	1	100	10	6	3.1	0	8.6	0.5
4-May	58	Mid	0	1	100	8	6	0.9	0	8.6	0.5
6-May	60	Mid	0	1	100	9	6	1.8	0	8.6	0.5
8-May	62	Mid	0	1	100	8	6	0.9	0	8.6	0.5
10-May	64	Mid	0	1	100	9	6	1.8	0	8.6	0.5

12-May	66	Mid	0	1	100	9	6	2.2	0	8.6	0.5
14-May	68	Mid	0	1	100	7	6	0.5	0	8.6	0.5
16-May	70	Mid	0	1	100	8	6	1	0	8.6	0.5
18-May	72	Mid	0	1	100	7	6	0.5	0	8.6	0.5
20-May	74	Mid	0	1	100	8	6	1	0	8.6	0.5
22-May	76	Mid	0	1	100	8	6	1	0	8.6	0.5
24-May	78	Mid	0	1	100	7	6	0.1	0	8.6	0.5
26-May	80	Mid	0	1	100	7	6	0.1	0	8.6	0.5
28-May	82	End	0	1	100	7	6	0.1	0	8.6	0.5
30-May	84	End	0	1	100	7	6	0.1	0	8.6	0.5
1-Jun	86	End	0	1	100	7	6	0	0.2	8.6	0.5
3-Jun	88	End	3	1	100	3	6	0	3.4	8.6	0.5
5-Jun	End	End	0	1	0	3					

Tabela 7.5: Balanço de água no solo recomendado para a cultura de milho

Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr mm	Deficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
9-Mar	4	Init	0	1	100	4	10	0	6.1	14.3	0.41
13-Mar	8	Init	27.7	1	100	1	10	0	8.7	14.3	0.41
17-Mar	12	Init	27.7	1	100	1	10	0	8.7	14.3	0.41
21-Mar	16	Init	0	1	100	6	10	0	4.8	14.3	0.41
25-Mar	20	Init	0	1	100	5	10	0	5.8	14.3	0.41
29-Mar	24	Dev	0	1	100	5	10	0	5.8	14.3	0.41
2-Apr	28	Dev	0	1	100	8	10	0	2.6	14.3	0.41
6-Apr	32	Dev	0	1	100	11	10	0	0.9	14.3	0.41
10-Apr	36	Dev	0	1	100	11	10	0	0.9	14.3	0.41
14-Apr	40	Dev	0	1	100	7	10	0	3.8	14.3	0.41
18-Apr	44	Dev	0	1	100	7	10	0	3.8	14.3	0.41
22-Apr	48	Dev	0	1	100	16	10	3.9	0	14.3	0.41
26-Apr	52	Dev	0	1	100	18	10	5.3	0	14.3	0.41
30-Apr	56	Mid	0	1	100	18	10	5.3	0	14.3	0.41
4-May	60	Mid	0	1	100	18	10	5.5	0	14.3	0.41
8-May	64	Mid	0	1	100	18	10	5.6	0	14.3	0.41
12-May	68	Mid	0	1	100	24	10	10.8	0	14.3	0.41
16-May	72	Mid	0	1	100	25	10	12	0	14.3	0.41
20-May	76	Mid	0	1	100	27	10	13.1	0	14.3	0.41
24-May	80	Mid	0	1	100	27	10	13.9	0	14.3	0.41
28-May	84	Mid	0	1	100	28	10	14.6	0	14.3	0.41
1-Jun	88	Mid	0	1	100	33	10	18.6	0	14.3	0.41
5-Jun	92	Mid	0	1	100	33	10	18.9	0	14.3	0.41
9-Jun	96	End	0	1	100	34	10	19.3	0	14.3	0.41
13-Jun	100	End	2.4	1	100	32	10	18.1	0	14.3	0.41
17-Jun	104	End	2.4	1	100	30	10	16.3	0	14.3	0.41

21-Jun	108	End	0	1	100	30	10	16.1	0	14.3	0.41
25-Jun	112	End	0	1	100	24	10	11.1	0	14.3	0.41
29-Jun	116	End	0	1	100	19	10	6.1	0	14.3	0.41
3-Jul	120	End	2.8	1	100	10	10	0	1.1	14.3	0.41
7-Jul	124	End	2.8	1	100	2	10	0	7.9	14.3	0.41
8-Jul	End	End	0	1	0	0					

Tabela 7.6: Balanço de água no solo recomendado para a cultura de piri-piri

Date	Day	Stage	Rain mm	Ks fract.	Eta %	Depl %	Net Irr mm	Deficit mm	Loss mm	Gr. Irr mm	Flow l/s/ha
3-Jan	3	Init	34.5	1	100	4	6	0	3.2	8.6	0.33
6-Jan	6	Init	0	1	100	11	6	2.4	0	8.6	0.33
9-Jan	9	Init	0	1	100	11	6	2.4	0	8.6	0.33
12-Jan	12	Init	0	1	100	14	6	4.8	0	8.6	0.33
15-Jan	15	Init	0	1	100	11	6	2.5	0	8.6	0.33
18-Jan	18	Init	0	1	100	7	6	0	0.3	8.6	0.33
21-Jan	21	Init	0	1	100	11	6	2.5	0	8.6	0.33
24-Jan	24	Init	0	1	100	7	6	0	0.4	8.6	0.33
27-Jan	27	Init	35.1	1	100	4	6	0	3.2	8.6	0.33
30-Jan	30	Init	0	1	100	11	6	2.4	0	8.6	0.33
2-Feb	33	Dev	0	1	100	14	6	5.4	0	8.6	0.33
5-Feb	36	Dev	0	1	100	12	6	3.3	0	8.6	0.33
8-Feb	39	Dev	0	1	100	8	6	0.2	0	8.6	0.33
11-Feb	42	Dev	0	1	100	12	6	4.1	0	8.6	0.33
14-Feb	45	Dev	0	1	100	9	6	1.2	0	8.6	0.33
17-Feb	48	Dev	38.1	1	100	4	6	0	2.4	8.6	0.33
20-Feb	51	Dev	0	1	100	13	6	4.9	0	8.6	0.33
23-Feb	54	Dev	34.3	1	100	5	6	0	2	8.6	0.33
26-Feb	57	Dev	0	1	100	14	6	6.1	0	8.6	0.33
1-Mar	60	Dev	0	1	100	14	6	6.4	0	8.6	0.33
4-Mar	63	Dev	0	1	100	10	6	2.7	0	8.6	0.33
7-Mar	66	Mid	30.6	1	100	5	6	0	1.6	8.6	0.33
10-Mar	69	Mid	0	1	100	15	6	7.1	0	8.6	0.33
13-Mar	72	Mid	27.7	1	100	5	6	0	1.7	8.6	0.33
16-Mar	75	Mid	0	1	100	15	6	7	0	8.6	0.33
19-Mar	78	Mid	0	1	100	15	6	7	0	8.6	0.33
22-Mar	81	Mid	0	1	100	23	6	13.6	0	8.6	0.33
25-Mar	84	Mid	0	1	100	14	6	6.4	0	8.6	0.33
28-Mar	87	Mid	0	1	100	10	6	2.3	0	8.6	0.33
31-Mar	90	Mid	0	1	100	17	6	8.7	0	8.6	0.33
3-Apr	93	Mid	14	1	100	8	6	0.7	0	8.6	0.33
6-Apr	96	Mid	0	1	100	15	6	6.6	0	8.6	0.33
9-Apr	99	Mid	0	1	100	14	6	5.9	0	8.6	0.33
12-Apr	102	Mid	0	1	100	20	6	11.4	0	8.6	0.33
15-Apr	105	Mid	0	1	100	17	6	9.1	0	8.6	0.33

18-Apr	108	End	0	1	100	15	6	6.8	0	8.6	0.33
21-Apr	111	End	0	1	100	20	6	11.6	0	8.6	0.33
24-Apr	114	End	0	1	100	17	6	9.2	0	8.6	0.33
27-Apr	117	End	6.5	1	100	15	6	6.7	0	8.6	0.33
30-Apr	120	End	0	1	100	19	6	10.7	0	8.6	0.33
3-May	123	End	5.6	1	100	16	6	8.1	0	8.6	0.33
5-May	End	End	0	1	0	13					

ANEXOS 2: Determinação dos Coeficientes de Uniformidade nas Parcelas 1, 2 e 3 na Área de Estudo.

Tabela 7.7: CUE nas parcelas 1, 2 e 3

Parcela 1					
Xi (mm)	X (mm)	X^2	Xi-X	ABS (Xi-X)	(Xi-X)^2
10	15.9583	254.668	-5.9583	5.9583333	35.50173611
18	15.9583	254.668	2.04167	2.0416667	4.168402778
19	15.9583	254.668	3.04167	3.0416667	9.251736111
19	15.9583	254.668	3.04167	3.0416667	9.251736111
5	15.9583	254.668	-10.958	10.958333	120.0850694
22	15.9583	254.668	6.04167	6.0416667	36.50173611
23	15.9583	254.668	7.04167	7.0416667	49.58506944
24	15.9583	254.668	8.04167	8.0416667	64.66840278
18	15.9583	254.668	2.04167	2.0416667	4.168402778
19	15.9583	254.668	3.04167	3.0416667	9.251736111
23	15.9583	254.668	7.04167	7.0416667	49.58506944
25	15.9583	254.668	9.04167	9.0416667	81.75173611
24	15.9583	254.668	8.04167	8.0416667	64.66840278
10	15.9583	254.668	-5.9583	5.9583333	35.50173611
9	15.9583	254.668	-6.9583	6.9583333	48.41840278
10	15.9583	254.668	-5.9583	5.9583333	35.50173611
19	15.9583	254.668	3.04167	3.0416667	9.251736111
19	15.9583	254.668	3.04167	3.0416667	9.251736111
20	15.9583	254.668	4.04167	4.0416667	16.33506944
10	15.9583	254.668	-5.9583	5.9583333	35.50173611
9	15.9583	254.668	-6.9583	6.9583333	48.41840278
8	15.9583	254.668	-7.9583	7.9583333	63.33506944
5	15.9583	254.668	-10.958	10.958333	120.0850694
15	15.9583	254.668	-0.9583	0.9583333	0.918402778
383					960.9583333
n-1	23				
(x̄)^2	254.668403				
∑(xi - x̄)^2	960.958333				

$$CUE = 100 \left[1.0 - \sqrt{\frac{\sum(Xi - \bar{x})^2}{(n-1) * \bar{x}^2}} \right]$$



Parcela 2	
-----------	--

Xi (mm)	X (mm)	X^2	Xi-X	ABS (Xi-X)	(Xi-X)^2
19	17.25	297.563	1.75	1.75	3.0625
20	17.25	297.563	2.75	2.75	7.5625
10	17.25	297.563	-7.25	7.25	52.5625
12	17.25	297.563	-5.25	5.25	27.5625
15	17.25	297.563	-2.25	2.25	5.0625
15	17.25	297.563	-2.25	2.25	5.0625
9	17.25	297.563	-8.25	8.25	68.0625
17	17.25	297.563	-0.25	0.25	0.0625
18	17.25	297.563	0.75	0.75	0.5625
10	17.25	297.563	-7.25	7.25	52.5625
13	17.25	297.563	-4.25	4.25	18.0625
19	17.25	297.563	1.75	1.75	3.0625
20	17.25	297.563	2.75	2.75	7.5625
21	17.25	297.563	3.75	3.75	14.0625
25	17.25	297.563	7.75	7.75	60.0625
20	17.25	297.563	2.75	2.75	7.5625
14	17.25	297.563	-3.25	3.25	10.5625
19	17.25	297.563	1.75	1.75	3.0625
23	17.25	297.563	5.75	5.75	33.0625
23	17.25	297.563	5.75	5.75	33.0625
11	17.25	297.563	-6.25	6.25	39.0625
15	17.25	297.563	-2.25	2.25	5.0625
20	17.25	297.563	2.75	2.75	7.5625
26	17.25	297.563	8.75	8.75	76.5625
414				97.5	540.5

n-1	23
\bar{x}^2	297.5625
$\sum (xi - x)^2$	54

CUE 71.90 %

Parcela 3					
Xi (mm)	X (mm)	X^2	Xi-X	ABS (Xi-X)	(Xi-X)^2
22	19.5417	381.877	2.45833	2.458333	6.0434
18	19.5417	381.877	-1.5417	1.541667	2.37674
19	19.5417	381.877	-0.5417	0.541667	0.2934
18	19.5417	381.877	-1.5417	1.541667	2.37674
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
17	19.5417	381.877	-2.5417	2.541667	6.46007
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
28	19.5417	381.877	8.45833	8.458333	71.5434

25	19.5417	381.877	5.45833	5.458333	29.7934
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
15	19.5417	381.877	-4.5417	4.541667	20.6267
16	19.5417	381.877	-3.5417	3.541667	12.5434
26	19.5417	381.877	6.45833	6.458333	41.7101
26	19.5417	381.877	6.45833	6.458333	41.7101
16	19.5417	381.877	-3.5417	3.541667	12.5434
16	19.5417	381.877	-3.5417	3.541667	12.5434
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
20	19.5417	381.877	0.45833	0.458333	0.21007
24	19.5417	381.877	4.45833	4.458333	19.8767
17	19.5417	381.877	-2.5417	2.541667	6.46007
15	19.5417	381.877	-4.5417	4.541667	20.6267
11	19.5417	381.877	-8.5417	8.541667	72.9601
469					381.958
n-1	23				
\bar{x}^2	381.88				
$\sum (Xi - \bar{x})^2$	381.96				
$CUE = 100 \left[1.0 - \frac{\sqrt{\sum (Xi - \bar{x})^2}}{\sqrt{(n-1) * \bar{x}^2}} \right]$					
CUE					79.1 %

Tabela 7.8: CUC nas parcelas-1, 2 e 3

Parcela 1			
Xi (mm)	X(mm)	Xi-X	ABS (Xi-X)
10	15.9583	-5.9583	5.95833333
18	15.9583	2.04167	2.04166667
19	15.9583	3.04167	3.04166667
19	15.9583	3.04167	3.04166667
5	15.9583	-10.958	10.95833333
22	15.9583	6.04167	6.04166667
23	15.9583	7.04167	7.04166667
24	15.9583	8.04167	8.04166667
18	15.9583	2.04167	2.04166667
19	15.9583	3.04167	3.04166667
23	15.9583	7.04167	7.04166667
25	15.9583	9.04167	9.04166667
24	15.9583	8.04167	8.04166667
10	15.9583	-5.9583	5.95833333
9	15.9583	-6.9583	6.95833333
10	15.9583	-5.9583	5.95833333

19	15.9583	3.04167	3.04166667
19	15.9583	3.04167	3.04166667
20	15.9583	4.04167	4.04166667
10	15.9583	-5.9583	5.95833333
9	15.9583	-6.9583	6.95833333
8	15.9583	-7.9583	7.95833333
5	15.9583	-10.958	10.9583333
15	15.9583	-0.9583	0.95833333
383			137.166667

n	24
\bar{x}	15.9583
$\sum Xi - \bar{x} $	137.167

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum |Xi - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

CUC = 64.2 %

Parcela 2			
Xi (mm)	X (mm)	Xi-X	ABS (Xi-X)
19	17.25	1.75	1.75
20	17.25	2.75	2.75
10	17.25	-7.25	7.25
12	17.25	-5.25	5.25
15	17.25	-2.25	2.25
15	17.25	-2.25	2.25
9	17.25	-8.25	8.25
17	17.25	-0.25	0.25
18	17.25	0.75	0.75
10	17.25	-7.25	7.25
13	17.25	-4.25	4.25
19	17.25	1.75	1.75
20	17.25	2.75	2.75
21	17.25	3.75	3.75
25	17.25	7.75	7.75
20	17.25	2.75	2.75
14	17.25	-3.25	3.25
19	17.25	1.75	1.75
23	17.25	5.75	5.75

23	17.25	5.75	5.75
11	17.25	-6.25	6.25
15	17.25	-2.25	2.25
20	17.25	2.75	2.75
26	17.25	8.75	8.75
414			97.5

n	24
\bar{x}	17.25
$\sum Xi - \bar{x} $	97.5

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum |Xi - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

CUC= 76.4 %

Parcela 3			
Xi (mm)	X (mm)	Xi-X	ABS (Xi-X)
22	19.5417	2.458333	2.458333
18	19.5417	-1.54167	1.541667
19	19.5417	-0.54167	0.541667
18	19.5417	-1.54167	1.541667
20	19.5417	0.458333	0.458333
20	19.5417	0.458333	0.458333
17	19.5417	-2.54167	2.541667
20	19.5417	0.458333	0.458333
20	19.5417	0.458333	0.458333
28	19.5417	8.458333	8.458333
25	19.5417	5.458333	5.458333
20	19.5417	0.458333	0.458333
15	19.5417	-4.54167	4.541667
16	19.5417	-3.54167	3.541667
26	19.5417	6.458333	6.458333
26	19.5417	6.458333	6.458333
16	19.5417	-3.54167	3.541667
16	19.5417	-3.54167	3.541667
20	19.5417	0.458333	0.458333
20	19.5417	0.458333	0.458333

24	19.5417	4.458333	4.4583333
17	19.5417	-2.54167	2.5416667
15	19.5417	-4.54167	4.5416667
11	19.5417	-8.54167	8.5416667
469			73.916667

n	24
\bar{x}	19.54
$\sum Xi - \bar{x} $	73.92

$$CUC = 100 \left[1 - \frac{\sum |Xi - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right]$$

CUC= 84.2 %

Tabela 7.9: CUD nas parcelas 1, 2 e 3

Par. 1		Par. 2		Par. 3	
Xi (mm)		Xi (mm)		Xi	
10		19		22	
18		20		18	
19		10		19	
19		12		18	
5		15		20	
22		15		20	
23		9		17	
24		17		20	
18		18		20	
19		10		20	
23		13		28	
25		19		25	
24		20		20	
10		21		15	
9		25		16	
10		20		26	
19		14		26	
19		19		16	
20		23		16	
10		23		20	
9		11		20	
8		15		24	
5		20		17	
15		26		15	
		414		11	
383		414		469	
lq	7.66666667	Lq (mm)	9.5	Lq (mm)	13
Lm	15.9583333	Lm (mm)	17.25	Lm (mm)	19.5417
$CUD = \frac{lq}{Lm} * 100$		$CUD = \frac{lq}{Lm} * 100$		$CUD = \frac{lq}{Lm} * 100$	
CUD	48.0%	CUD	55.1%	CUD	66.5%

ANEXOS 3: Vista Parcial do Regadio: Represa, Hidrantes e Aspersores Utilizados.



Figura 7.1. Represa do regadio (a esquerda) e a queda de água da nascente (a direita).



Figura 7.2: Hidrante e um dos aspersores no sistema de distribuição



Figura 7.3: Linha lateral de uma das parcelas

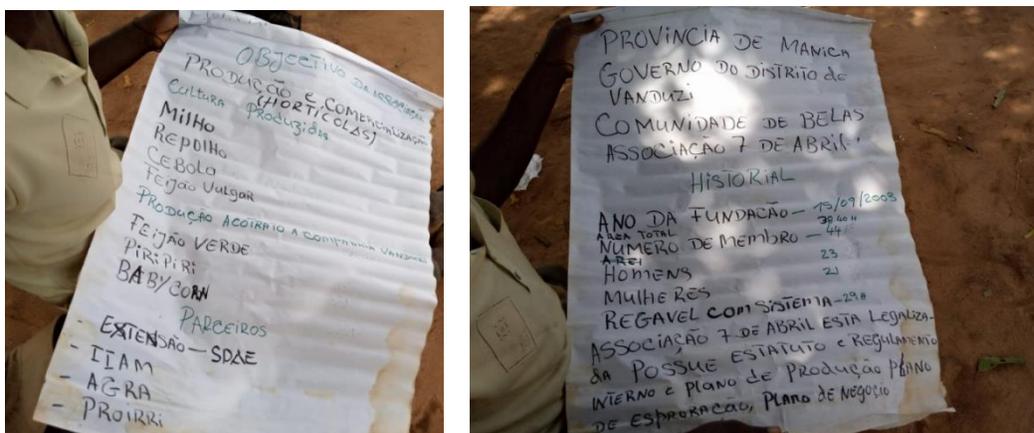


Figura 7.4: Fontes escritas da associação 7 de Abril-1.