



**FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS**

**Avaliação do Sistema de Irrigação por Sulcos nos Campos de Produção da Cana de Açúcar
na Companhia de Sena, Distrito de Marromeu.**

Bruno Luís Nicoate

Maputo, Fevereiro de 2022



FACULDADE DE ENGENHARIA
MESTRADO EM HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS

**Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana de açúcar
na Companhia de Sena, distrito de Marromeu.**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia, da Universidade Eduardo Mondlane, como requisito final para obtenção do grau de:

Mestre em Hidráulica e Recursos Hídricos.

Autor

Bruno Luís Nicoate

Supervisor

Prof. Doutor Sebastião Inácio Famba

Maputo, Fevereiro de 2022

DEDICATÓRIA

À minha mãe Isabel Namatica

Ao meu pai Luís Nicoate

À minha esposa Ana Bela António Maridade

Ao meus filhos Bruno Jr & Khayla

DEDICO.

Aos meus irmãos Eduardo, Esmeralda e Norberto

Aos meus sobrinhos e sobrinhas Tatiana, Neusa,

Manura, Bianca, Roberto, entre outros.

Ao primo Carlitos, e a toda família Nicoate

Ofereço

DECLARAÇÃO DE HONRA

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

Maputo, Fevereiro de 2022

(Bruno Luís Nicoate)

RESUMO

Este trabalho consistiu na avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos campos da cana de açúcar na Companhia de Sena, distrito de Marromeu. Trata-se de campos onde a irrigação por sulcos é feita em cerca de 16% da área total irrigada pela Companhia com planos de sua expansão dado o tipo de solo apropriado para este tipo de rega e ainda a minimização dos custos com a rega. O objectivo principal do trabalho é avaliar a eficiência do sistema de irrigação por sulcos e discutir alternativas para reduzir as perdas de água e conseqüentemente o consumo de energia. Para efectivação da pesquisa foram feitas várias medições no campo, tais como a capacidade de infiltração do solo; o caudal nos canais primários e secundários; a declividade dos canais e dos sulcos; o caudal nos sulcos; e, os tempos de avanço e recessão da água nos sulcos. Os resultados indicam que a eficiência de transporte nos canais primários e secundários é de cerca de 56% e a eficiência de aplicação de 18,5%, bastante baixas para a rega por sulcos, mostrando que se registam consideráveis perdas de água tanto nos canais como nos sulcos. As eficiências de armazenamento e de uniformidade são muito boas, respectivamente 100% e 99,8% o que mostra que as necessidades de água da cultura são satisfeitas e há um grande potencial para se melhorar a eficiência de aplicação. Para se aumentar a eficiência de rega, recomenda-se limpeza e manutenção periódica (anual) dos canais para melhorar o sistema de condução e de distribuição da água. Melhor eficiência da rega poderá ser atingida fazendo testes no campo com a redução dos caudais aplicados nos sulcos e redução no tempo de aplicação de água. Por outro lado, o revestimento total ou parcial dos canais de rega poderá melhorar a eficiência de transporte, no entanto, tal possibilidade deverá ser avaliada tendo em consideração os custos de investimento necessários.

Palavras-chave: Irrigação por sulcos; eficiências de rega; cana de açúcar.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha existência, fé, saúde e persistência na realização deste curso.

Agradeço ao meu supervisor Prof. Doutor Sebastião Inácio Famba, pela orientação atenta e cuidadosa ao longo de todo trabalho e pelos valiosos ensinamentos, discussões e pela confiança depositada no meu trabalho.

Ao projecto ZAMADZI, NICHE MOZ 266, da Agência do Desenvolvimento do Vale do Zambeze, pelo financiamento, apoio material e logístico durante o curso e o trabalho de campo.

À Companhia de Sena (Marromeu), nas pessoas dos Engenheiros Alexandre Muguerrima, Tafadzwa Charova, Patrice Mhuro; dr. Manuel Nhazombe, dr. Matias Vieira e aos demais funcionários da unidade fabril que de forma humilde cederam espaço para realização de outras medições de campo e pelo apoio técnico, material e disponibilização de dados.

Aos docentes do Curso de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos, em especial o Prof. Doutor Nelson Matsinhe e Dinís Juizo, e aos demais docentes do Departamento de Engenharia Civil pelos valiosos ensinamentos e contribuição contínua na minha formação profissional.

Os agradecimentos são extensivos aos colegas da turma de Mestrado em Hidráulica e Recursos Hídricos – 3ª edição, pela troca de experiência e conhecimentos durante a formação.

Gostaria de expressar os meus agradecimentos de forma particular aos meus amigos e familiares que, quase diariamente, estiveram ao meu lado nos melhores e piores momentos deste importante pedaço de vida, tendo permitido directa ou indirectamente a minha chegada até aqui.

A todos que, de alguma forma, contribuíram com sugestões, críticas e incentivos.

O meu “MUITO OBRIGADO”.

Índice

| | |
|--|------|
| DEDICATÓRIA..... | i |
| DECLARAÇÃO DE HONRA | ii |
| RESUMO | iii |
| AGRADECIMENTOS | iv |
| Lista de Tabelas | vii |
| Lista de Figuras | viii |
| Lista de Anexos | ix |
| Lista de Símbolos e Abreviaturas | x |
| CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 1.1. Generalidades..... | 1 |
| 1.2. Problema e Justificação | 2 |
| 1.3. Objectivos | 3 |
| 1.3.1. Objectivo Geral | 3 |
| 1.3.2. Objectivos Específicos | 3 |
| CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA | 4 |
| 2.1. Generalidades sobre Irrigação por Gravidade | 4 |
| 2.2. Sistema de Irrigação por Sulcos..... | 5 |
| 2.3. Necessidades de água na cultura da cana de açúcar | 7 |
| 2.4. Características da irrigação por Sulcos | 9 |
| 2.5. Desempenho da Rega por Sulcos..... | 11 |
| 2.5.1. Eficiências de Aplicação | 11 |
| 2.5.2. Eficiência de armazenamento..... | 12 |
| 2.5.3. Eficiência de uniformidade | 13 |
| 2.5.4. Eficiência de Transporte nos Canais | 14 |
| 2.5.5. Perdas por Percolação Profunda..... | 16 |
| 2.5.6. Perdas por escoamento superficial | 16 |
| 2.6. Infiltração da Água no Solo | 18 |
| 2.7. Medição da Vazão nos Sulcos | 21 |
| 2.8. Declividade, Comprimento e Geometria dos Sulcos | 23 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

| | |
|---|-----------|
| 2.9. Mecanismos para a Melhoria da Eficiência da Irrigação por Sulcos..... | 25 |
| 2.10. A Produção da Cana de Açúcar na Companhia de Sena | 26 |
| CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS..... | 29 |
| 3.1. Descrição da área de estudo..... | 29 |
| 3.1.1. Clima e solos da área de estudo | 31 |
| 3.1.2. Sistema de irrigação na Companhia de Sena | 32 |
| 3.1.3. Caracterização Hidráulica dos Canais..... | 34 |
| 3.1.4. Sistema de captação | 35 |
| 3.2. Medições no Campo dos Parâmetros Hidráulicos do Sistema de Rega por Sulcos | 37 |
| 3.2.1. Medição do Caudal nos Canais e nos Sulcos | 37 |
| 3.2.2. Topografia..... | 39 |
| 3.2.3. Infiltração | 39 |
| 3.2.4. Secção Transversal dos Canais | 40 |
| 3.3. Determinação e Avaliação das Eficiências da Rega..... | 41 |
| CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO | 42 |
| 4.1. Declividade dos Sulcos | 42 |
| 4.2. Secção transversal dos canais | 42 |
| 4.3. Determinação da eficiência de transporte | 44 |
| 4.4. Eficiências de rega..... | 46 |
| 4.4.1. Análise da infiltração e caudal nos sulcos | 46 |
| 4.4.2. Avaliação das eficiências de rega | 48 |
| CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES | 53 |
| 5.1. Conclusões | 53 |
| 5.2. Recomendações | 53 |
| 6. Referência Bibliográfica..... | 55 |
| ANEXOS | 58 |

Lista de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1: Períodos de Crescimento da Cana de Açúcar | 9 |
| Tabela 2: Parâmetros usados na Avaliação do Desempenho do Sistema de Rega por Gravidade | 14 |
| Tabela 3: Classificação dos Solos Quanto à Velocidade de Infiltração Básica (VIB) | 21 |
| Tabela 4: Valores dos Coeficientes C e a, em Função da Textura do Solo | 22 |
| Tabela 5: Comprimento Máximo dos Sulcos para Diferentes Solos | 26 |
| Tabela 6: Resultado da Medição da Declividade nos Sulcos | 42 |
| Tabela 7: Valores da Velocidade e Caudal nos Canais Primários e Secundários | 45 |
| Tabela 8: Eficiências de Transporte nos Canais Primários e Secundários | 46 |
| Tabela 9: Determinação da Vazão Máxima não Erosiva para Diferentes Sulcos | 46 |
| Tabela 10: Resultado da Infiltração para Diferentes Campos | 47 |
| Tabela 11: Parâmetros da Equação de Kostiakov-Lewis, nas Frentes de Avanço e Recessão | 48 |
| Tabela 12: Eficiências de rega obtidas para cada campo | 50 |
| Tabela 13: Volumes médios de água nos sulcos | 51 |
| Tabela 14: Eficiência Global de rega reduzindo o tempo de aplicação | 52 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1: Irrigação por sulcos (Companhia de Sena) | 6 |
| Figura 2: Modelo impírico das curvas de avanço e recessão na rega por sulcos | 10 |
| Figura 3: Estrutura de um sulco ilustrando a aplicação da água e as respectivas perdas desse processo | 18 |
| Figura 4: Quantidade de produção da cana de açúcar por ano | 28 |
| Figura 5: Mapa da localização geográfica do distrito de Marromeu | 29 |
| Figura 6: Mapa do campo de ensaio da Companhia de Sena. O padrão em círculos indica áreas irrigadas por pivot central..... | 30 |
| Figura 7: Gráfico da precipitação e temperatura na estação de Marromeu | 31 |
| Figura 8: Caracterização dos canais | 34 |
| Figura 9: Estações de bombagem | 36 |
| Figura 10: Medição do caudal nos canais..... | 38 |
| Figura 11: Medições das frentes de avanço..... | 38 |
| Figura 12: Levantamento topográfico no campo..... | 39 |
| Figura 13: Medição da infiltração no solo..... | 40 |
| Figura 14: Determinação da secção transversal dos canais e dos sulcos..... | 40 |
| Figura 15: Geometria da secção transversal dos canais primários | 43 |
| Figura 16: Geometria da secção transversal dos canais secundários..... | 43 |
| Figura 17: Secção transversal média dos sulcos..... | 44 |
| Figura 18: Curva da velocidade de infiltração e infiltração acumulada | 48 |
| Figura 19: Curva de avanço e de recessão média para os campos estudados | 49 |
| Figura 20: Curva de avanço e de recessão média (requerida) para os campos estudados..... | 50 |

Lista de Anexos

| | |
|--|----|
| Anexo 1: Mapas do Regadio com destaque para mapa dos blocos de Rega, de solos e de tipos de rega. | 59 |
| Anexo 2: Medição do Caudal nos Canais e Sulcos | 62 |
| Anexo 3: Medição das Frentes de Avanço e Recessão nos Sulcos | 68 |
| Anexo 4: Dados do Levantamento Topográfico..... | 84 |
| Anexo 5: Medição da Infiltração nos Campos | 86 |
| Anexo 6: Determinação das Eficiências de Rega..... | 90 |
| Anexo 7: Tabelas de Consulta para Velocidade máxima nos canais e eficiências na rega..... | 92 |

Lista de Símbolos e Abreviaturas

- Q:** Caudal ou vazão
- LR:** *Leaching requirement* (fracção para a lavagem de sais)
- Ec:** Eficiência de condução
- In:** Necessidades líquidas de água
- ECe:** Condutividade eléctrica do extrato
- INE:** Instituto Nacional de Estatística
- ETc:** Evapotranspiração da cultura
- ECi:** Condutividade eléctrica de água de irrigação
- S:** Declividade do sulco
- FAO:** *Food and Agriculture Organization* (Organização das Nações Unidas para Alimentação)
- NAR:** Necessidades de água de rega
- VIB:** Velocidade de infiltração básica
- USDA-SCS:** United States Department of Agriculture - Soil Conservation Service
- Ge:** Contribuição do lençol freático

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1.1. Generalidades

A água é um dos recursos naturais chave, pois, dela depende uma maior segurança e estabilidade da produção agrária, em particular, nas regiões do país caracterizadas por acentuado défic hídrico. E para garantir o uso correcto da água na produção, torna se fundamental um maneiio adequado dos sistemas de irrigação.

Para Testezlaf (2007), o maneiio adequado da irrigação significa aplicar a água no momento correcto e no volume necessário para a cultura, determinando, assim, a garantia de maior produtividade, aumento da eficiência e redução dos custos de operação do sistema.

A irrigação é importante na estabilização e no incremento da produção e produtividade agrícola, com efeito multiplicador, quando combinada com outros factores de produção e boas práticas agrícolas, contribuindo deste modo, para a garantia da segurança alimentar, o aumento da renda familiar e redução da pobreza. A irrigação favorece igualmente uma perspectiva de agricultura mais rentável ao potenciar as condições favoráveis para a intensificação do capital, podendo dinamizar economias locais.

De acordo com Willebois (2010) na África Subsaariana, actualmente, 80% das terras estão em situação de dependência das chuvas. Trata se de uma região em que 80% dos solos possui baixa capacidade de retenção de água, enfatizando a importância do melhoramento dos solos como factor essencial nos esforços para aumentar a produtividade e produção de alimentos, onde a irrigação desempenha um papel bastante importante.

Para o Banco Mundial (2007), em Moçambique o aumento da agricultura irrigada foi identificado como um factor crítico para o alívio da pobreza rural e para conseguir segurança alimentar. Porém, de acordo com Ministério da Agricultura (2013), a produção de alimentos não tem acompanhado o ritmo da procura, obrigando a níveis altos de importação de produtos alimentares. Tal causa, deve se por um lado, ao fraco aprimoramento das técnicas de irrigação e por outro, devido a excessivas perdas de água ao longo da captação da água, canalização e irrigação nos diversos regadios.

De acordo com a localização da Companhia de Sena, esta possui uma satisfatória disponibilidade de água para fins de irrigação, resultante da captação junto ao rio Zambeze.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Visando avaliar as perdas de água no processo de irrigação, pretende-se com o estudo contribuir para a projecção de um sistema de irrigação de baixo custo e capaz de gerar maior produtividade à empresa. Porém, segundo Testezlaf (2007), sistemas de irrigação incorretamente projectados e mal manejados podem tornar o sistema produtivo incapaz de criar um meio solo-água-nutrientes óptimo para a produção vegetal, resultando em baixas produtividades, pouca qualidade e altos custos por unidade produzida.

Entretanto, a Companhia de Sena encara um duplo desafio nos campos de rega superficial: o uso de canais não revestidos e a rega por sulcos com potenciais perdas excessivas de água. O presente estudo pretende avaliar de forma progressiva as perdas de água no sistema de distribuição de água e na aplicação ao nível dos campos por forma a recomendar a gestão adequada da irrigação.

1.2. Problema e Justificação

A Companhia de Sena perde elevados volumes de água canalizada aos campos de produção bem como ao longo do processo de irrigação. Parte significativa da água perde-se na captação, nos canais primários e secundários, assim como nos sulcos, afectando deste modo a eficiência do sistema de irrigação.

De acordo com o relatório de produção da Companhia de Sena (2017), a irrigação por sulcos ocupa uma área de 1.381,9 ha, de um total de 8.773,06 ha de terra actualmente em irrigação; ou seja, a irrigação por sulcos é feita em 15,75% da área total. Entretanto, a Unidade Fabril pretende expandir o sistema de rega por sulcos aos outros campos pelas seguintes razões:

- A irrigação por Pivot Central (aspersão), torna-se mais onerosa para a Companhia em relação a irrigação por sulcos.
- Excessivos roubos de cabos e cantoneiras do sistema de irrigação por Pivot Central.
- Maior parte dos solos que compoem o campo de produção é argiloso e apropriado para irrigação por sulcos.

Com o estudo, pretende-se avaliar a eficiência do sistema de irrigação por sulcos, por forma a recomendar uma expansão estrategicamente eficiente do sistema da rega por sulcos.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo Geral

Avaliar a eficiência do sistema de irrigação por sulcos nos campos de produção da cana de açúcar da Companhia de Sena.

1.3.2. Objectivos Específicos

- Determinar a eficiência de transporte dos canais de rega;
- Determinar a eficiência de irrigação nos campos;
- Identificar alternativas de intervenção para melhorar a eficiência da rega.

CAPÍTULO II: REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Generalidades sobre Irrigação por Gravidade

Possivelmente o método mais antigo de irrigação do mundo é a irrigação por superfície, também conhecida como irrigação por gravidade, pois os agricultores deixam a água escoar sobre o solo, cobrindo-o total ou parcialmente, utilizando a acção da gravidade e possibilitando a infiltração durante essa movimentação e após o seu represamento (Testezlaf, 2007).

Ainda de acordo com Testezlaf (2007), depois que o homem aprendeu a cultivar campos com sementes, ele aprendeu que era preciso humedecer o solo de forma a viabilizar o cultivo, principalmente em regiões com escassês de chuvas.

É importante notar que as primeiras civilizações já praticavam a irrigação por superfície, desviando a água de rios, lagos e lagoas para áreas adjacentes inundáveis, através de barragens ou canais de distribuição. Esta prática é ainda comum na Africa Subsahariana, garantindo a produção e produtividade aos pequenos agricultores.

Em Moçambique esta prática é secular e é usada por agricultores em zonas baixas para a produção de arroz e outras culturas em regime familiar.

Ferreira (2011), afirma que de entre as principais vantagens do sistema de irrigação de superficie destacam-se:

- Permite um menor custo unitário e uma boa simplicidade operacional.
- Não há a necessidade de equipamentos de alta tecnologia, pois o sistema funciona bem com equipamentos simples.
- Tem a vantagem de não sofrer efeitos do vento.
- A economia no consumo de energia é menor.
- Diferentemente dos sistemas localizados permite a utilização de água com sólidos em suspensão.

Do mesmo modo, o sistema de irrigação por superficie também apresenta algumas limitações, tais como:

- Em áreas com declividades acentuadas é preciso a sistematização ou regularização do terreno, tornando-se mais trabalhoso.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

- Seu dimensionamento é complexo, pois requer ensaios de campo e avaliações permanentes.
- Existe uma grande necessidade de uma boa planificação, pois o sistema apresenta uma baixa eficiência de distribuição de água durante a aplicação.
- Como o sistema é bastante simples não desperta interesse comercial, em função da utilização de poucos equipamentos.

Os sistemas de irrigação por superfície, em geral, exigem sistematização dos terrenos. Eles se adaptam à maioria das culturas e aos diferentes tipos de solos, com exceção daqueles muito permeáveis, ou seja, arenosos (Mantovani et al, 2009). O sistema de irrigação por superfície subdivide-se em inundação, por faixas e a irrigação por sulcos.

2.2. Sistema de Irrigação por Sulcos

Segundo Mantovani et al. (2009), irrigação por sulco consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos, situados paralelamente às fileiras das plantas, durante o tempo necessário para que a água, infiltrada ao longo do sulco, seja suficiente para humedecer o solo na zona radicular da cultura. É um método de irrigação que se adapta à maioria das culturas, principalmente às cultivadas em linha, como: hortícolas, milho, feijão, algodão, trigo, pomares, uva, etc.

Para Ferreira (2011), é o sistema em que a água é aplicada através de pequenos canais abertos, escoando e infiltrando-se lentamente no solo.

Ainda de acordo com Mantovani et al. (2009), em contraste com outros métodos, a irrigação por sulco não molha toda a superfície do solo, pois, normalmente, molha de 30 à 80% da superfície total, diminuindo, assim, a perda por evaporação, reduzindo a formação de crosta na superfície dos solos argilosos e tornando possível cultivar o solo e realizar colheitas logo após as irrigações, o que não ocorre com os outros métodos, excepto o gotejamento.

Segundo Andrade et al (1998), a irrigação por sulcos consiste na aplicação da água através de canais situados lateralmente às linhas de plantio, durante o tempo necessário para que a água se infiltre tanto vertical como lateralmente e é composta por quatro fases: avanço, armazenamento, depleção e recessão.

A Figura 1 mostra um sistema de irrigação por sulcos.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.



Figura 1: Irrigação por sulcos (Companhia de Sena)

Neste sistema, a água é aplicada pela inundação parcial da área a ser irrigada, escoando por sulcos ou pequenos canais construídos na superfície do solo e que acompanham as linhas da cultura.

Scaloppi (2003), relaciona algumas vantagens da irrigação por sulcos em relação aos demais processos de irrigação que merecem ser salientadas:

- No processo de aplicação da água não é necessária mão de obra especializada;
- Quando comparado aos principais sistemas pressurizados, revelam um baixo custo anual;
- Pode ser realizada sem bombeamento, possibilitando a utilização em regiões desprovidas de fornecimento de energia;
- Pode ser utilizado praticamente em todas as culturas.

Entretanto, algumas limitações que a irrigação por sulcos apresenta, dificulta a sua utilização pelos agricultores, como:

- Possibilidade de ocorrência de perdas de água por escoamento superficial em sulcos abertos no final e onde não há o seu reaproveitamento;
- Aumento no potencial de erosão da área;
- Dificuldade do tráfego de equipamentos e tratores sobre os sulcos;
- Aumento do custo inicial devido à construção dos sulcos;
- Dificuldades em se automatizar o sistema, principalmente com relação a aplicar a mesma vazão em cada sulco.

Existem vários tipos de irrigação por sulcos, sendo: Sulcos Comuns ou de Terras Planas; Sulcos em Contorno; Sulcos em Nível; Sulcos em Ziguezague e ainda Sulcos corrugados.

De acordo com Mantovani et al. (2009), os sulcos comuns geralmente, exigem sistematização do terreno, e todos os princípios discutidos até aqui são aplicáveis a este tipo de sistema. De salientar

que elevadas eficiências e adaptação a mecanização, são obtidas quando o terreno for bem sistematizado (Walker, 1989). Os sulcos comuns permitem grande diversidade na vazão a ser usada, podendo-se então irrigar, reduzindo a vazão inicial, o que proporciona maior eficiência nas irrigações.

Os sulcos em contorno permitem irrigação de culturas em solos com declividades e desuniformidades de superfície e impróprios para o uso de sulcos comuns. Uma das limitações dos sulcos em contorno é que não devem ser usados em regiões sujeitas a precipitações intensas.

Os sulcos em nível consistem em sulcos largos – sem declividade ou com declividade muito pequena – e fechados nas duas extremidades. Coloca-se água dentro dos sulcos até enchê-los e, em seguida, dependendo da quantidade total da água que se deseja aplicar por irrigação, corta-se ou reduz a vazão aplicada, durante o tempo necessário para a irrigação. Em geral, estes sulcos são curtos e empregados principalmente para irrigação de citros, banana, uva, etc.

De acordo com Mantovani et al. (2009), os sulcos em Ziguezague são usados em terrenos com baixa capacidade de infiltração de água, ou seja, em terrenos pesados e com declividade moderada, pois, aumentando o comprimento do sulco, pode-se reduzir a sua declividade média e a velocidade de avanço da água no sulco.

A Corrugação é o tipo de irrigação em que a água se movimenta sobre a superfície do solo, através de pequenos sulcos construídos na direcção da maior declividade do terreno. Este tipo de irrigação se adapta melhor a culturas que não exijam capinas e com alta densidade de plantio por unidade de área, como pastagem, alfafa e forrageiras, de modo geral.

2.3. Necessidades de água na cultura da cana de açúcar

A ideia da irrigação é suprir de água as plantas na quantidade necessária e no momento adequado, para obter a máxima produção e a melhor qualidade do produto (Silva & Silva, 2012). Pois, em condições de déficit hídrico tem seu crescimento alterado em diversos aspectos.

De acordo com Kramer (1983), o déficit hídrico de uma cultura pode ser causado tanto pela perda excessiva como pela pequena absorção de água, ou ainda, pela associação desses dois factores. O último tem o papel predominante no crescimento da cultura. O período crítico da cana de açúcar, ou seja, aquele em que há maior exigência de água por parte da planta, corresponde ao período de crescimento vegetativo, o que ocorre nos primeiros oito meses da planta.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

É comum o conhecimento de que as necessidades de rega correspondem às necessidades hídricas (evapotranspiração) descontando a precipitação que pode ocorrer no período de tempo considerado. As necessidades de rega podem, ainda, incluir consumos adicionais de água para satisfazer necessidades de lavagem de sais do perfil do solo, falta de eficiência no transporte da água e falta de uniformidade na sua aplicação. Nas condições reais, a evapotranspiração depende da Evapotranspiração da cultura (ET_c) e do nível do armazenamento de água no solo ($ET_a \leq ET_c$).

O cálculo das necessidades hídricas da cultura é feito com base na seguinte fórmula:

$$NAR = \frac{ET_c - P_{eff}}{1 - LR} \quad (2.1)$$

Onde: NAR – são as necessidades de água de rega [mm/dia]

ET_c – evapotranspiração da cultura [mm/dia]

P_{eff} – é a precipitação efectiva [mm/dia]

LR – é o *leaching requirement*, fracção para a lavagem de sais (-)

O *leaching requirement* que é a água necessária para a lavagem de sais na zona radicular de modo a manter a concentração de sais na solução do solo a um nível aceitável é calculado para a rega por sulcos com intervalos espaçados com a seguinte equação:

$$LR = \frac{EC_i}{5 \cdot EC_e - EC_i} \quad (2.2)$$

Onde: EC_i – condutividade eléctrica de água de irrigação [dS/m];

EC_e – condutividade eléctrica do extrato saturado do solo para um determinado rendimento [dS/m].

A evapotranspiração da cultura determina se pela equação:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (2.3)$$

Onde: ET_c – evapotranspiração da cultura [mm]

ET_o – evapotranspiração de referência [mm]

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

K_c – constante da cultura [*adimensional*]

O coeficiente de cultivo (K_c) é fundamental para o manejo adequado da irrigação ligado a uma determinada cultura. São vários os estudos relacionados à determinação deste coeficiente. Para uma dada cultura K_c não é constante, depende principalmente do estágio de crescimento da cultura.

De acordo com Allen et al, (1998) as variações do K_c durante o período de crescimento da cana de açúcar podem ser representadas na curva do coeficiente da cultura. Os autores afirmam que são necessários somente três valores de K_c para descrever e construir a curva do coeficiente de cultura: estágio inicial ($K_{c\text{inicial}}$), estágio de intermediário ($K_{c\text{médio}}$) e estágio final ($K_{c\text{fim}}$).

Doorembos & Kassam (1994) apresentaram valores de K_c para o ciclo de desenvolvimento da cana de açúcar de acordo com a cobertura do solo pela cultura (Tabela 1).

Tabela 1: Períodos de Crescimento da Cana de Açúcar

| Períodos de crescimento | Estágios de desenvolvimento da planta | Coefficiente K_c para cana-soca |
|-------------------------------|---|-----------------------------------|
| 1 – estabelecimento | (e1) Plantio até 0,25% da cobertura vegetal | 0,40 – 0,60 |
| 2 – vegetativo | (e2) 0,25% até 0,50% da cobertura vegetal | 0,75 – 0,85 |
| | (e3) 0,50% até 0,75% da cobertura vegetal | 0,90 – 1,00 |
| 3 – formação de produtividade | (e4) 0,75% até a cobertura vegetal | 1,00 – 1,20 |
| | (e5) Grande crescimento vegetativo | 1,05 – 1,30 |
| 4 – amadurecimento | (e6) Início da senescência | 0,80 – 1,05 |
| | (e7) Amadurecimento | 0,60 – 0,75 |

Fonte: Doorembos & Kassam (1981)

2.4. Características da irrigação por Sulcos

Desde que a água entra no canteiro ou no sulco, uma parte do seu volume avança por eles e o resto vai infiltrando progressivamente ao longo dos mesmos. Para compreender melhor o movimento da água no sulco, cujo processo hidráulico é sumamente complexo, convém dividir o tempo de irrigação em distintas fases, que são definidas, ou delimitadas, pelos seguintes tempos:

- **Tempo de início da irrigação (t_0):** quando a água começa a entrar no canteiro ou no sulco.
- **Tempo de chegada da água no final da parcela (t_L):** quando a água atinge o final do sulco ou cobre todo o canteiro.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

- **Tempo de corte de aplicação da água (t_{co}):** quando cessa a entrada de água no canteiro ou no sulco.
- **Tempo de recessão (t_r):** quando começa a desaparecer a água em algum ponto do canteiro ou sulco, normalmente esse ponto é na parte superior.
- **Tempo do final da irrigação (t_e):** quando desaparece totalmente a água da superfície do canteiro ou do sulco.

As fases delimitadas por estes tempos são as seguintes:

- **Fase de avanço:** começa quando a água é aplicada na cabeceira do canteiro ou do sulco e dura até que a mesma alcance o final do sulco ou cubra todo o canteiro.
- **Fase de armazenamento:** Começa no final de avanço e termina quando a vazão de entrada é suprimida.
- **Fase de depleção:** começa quando a vazão é suprimida na cabeceira da parcela e termina no momento em que água desaparece na parcela.
- **Fase de recessão:** começa ao desaparecer a água em algum ponto da parcela e termina quando a água desaparece totalmente da superfície da parcela.

O conjunto das fases de irrigação permite a determinação de duas curvas, a curva de avanço e recessão (Figura 2).

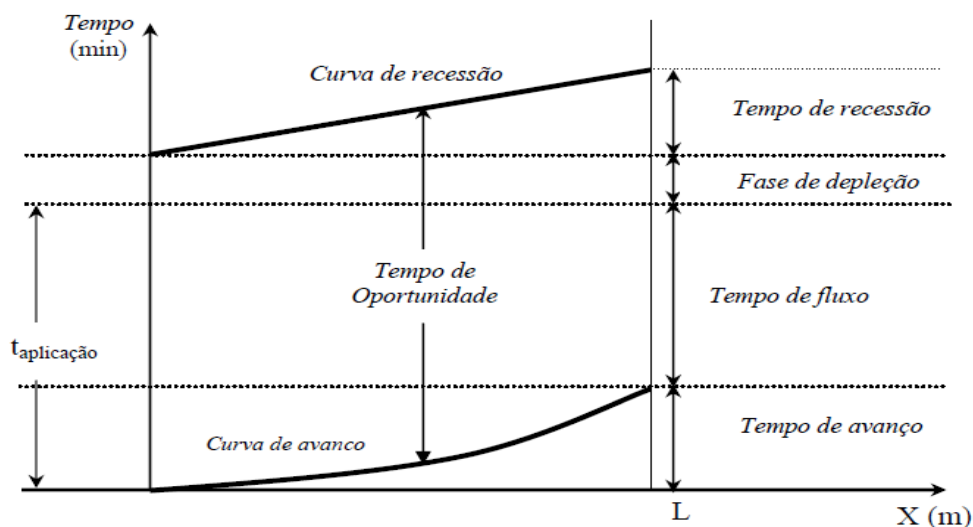


Figura 2: Modelo empírico das curvas de avanço e recessão na rega por sulcos

Fonte: Adaptado por (Roscher, 1985)

As fases de avanço e de recessão definem o início e o final do evento de irrigação, respectivamente. A diferença entre os tempos de avanço e de recessão em qualquer ponto x , obtidos por meio das curvas ou equações de avanço e de recessão, é denominada tempo de oportunidade (t_{op}) e corresponde ao tempo em que ocorre infiltração naquele ponto. Portanto, as curvas de avanço e recessão definem o tempo de oportunidade ao longo de toda a área.

Bernardo (1995) afirma que a velocidade de avanço da água nos sulcos de irrigação é função dos seguintes factores: vazão aplicada no sulco, capacidade de infiltração do solo, declividade do sulco, rugosidade e comprimento do sulco. Por este motivo, a determinação, no campo, do avanço de água no sulco deve ser feita na própria área de irrigação e em sulcos com condições similares aos sulcos de irrigação.

Existem vários tipos de equações que descrevem a velocidade de avanço da água no sulco. Entretanto, a equação potencial é a mais comum:

$$x = p \cdot t_{av}^r \quad (2.4)$$

Em que: x – distância atingida pela frente de avanço da água [m]

t_{av} – tempo de avanço até o ponto x [min]

p e r – parâmetros de ajuste [*adimensional*]

A curva de recessão pode ser descrita pela seguinte equação:

$$t_r = p' \cdot x^{r'} + t_i \quad (2.5)$$

Onde: t_r – tempo de recessão [min] p' – parâmetro de ajuste [*adimensional*]

x – distância [m] r' – parâmetro de ajuste [*adimensional*]

t_i - tempo de irrigação [min]

2.5. Desempenho da Rega por Sulcos

2.5.1. Eficiências de Aplicação

A eficiência de aplicação (E_a) é a razão entre o volume de água armazenada na zona radicular, ou seja, o volume considerado útil para a cultura, e o volume total de água aplicado no sistema.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Calculamos através da equação: $e_a = \frac{V_{ZR}}{V_t}$ (2.6)

Onde: V_{ZR} - volume armazenado na zona radicular [m^3]

V_t - o volume total [m^3]

e_a - eficiência de aplicação [%]

O volume total aplicado é determinado pela expressão:

$$V_{apl} = Q_{apl} \cdot t_{apl} / 1000 \quad (2.7)$$

Onde: V_{apl} – volume aplicado [m^3]

Q_{apl} – caudal aplicado [l/s]

t_{apl} – tempo de aplicação [s]

1000 – factor de conversão de **litros** para **m^3**

2.5.2. Eficiência de armazenamento

A eficiência de armazenamento (E_s) é a razão entre o volume de água útil aplicada e o volume de água útil requerida pelo sistema, ou seja, o volume máximo de água possível de ser armazenado no sistema.

Na eficiência de armazenamento pretende se fazer a avaliação da quantidade de água aplicada na zona radicular.

Calculamos através da equação: $e_s = \frac{V_a}{V_{rq}}$ (2.8)

Onde: V_a é o volume aplicado na zona radicular [m^3] e

V_{rq} é o volume requerido na zona radicular [m^3]

O volume necessário é o resultado do produto entre a dotação requerida, o comprimento do sulco e pela largura do sulco. É dado pela expressão:

$$V_{ZR} = d_{req} \cdot L \cdot W / 1000 \quad (2.9)$$

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Onde: V_{ZR} – volume requerido na zona radicular [m^3]

d_{req} – necessidade de água de rega [mm]

L – comprimento do sulco [m]

W – largura do sulco [m]

1000 – factor de conversão de **litros** para **m^3**

A eficiência de armazenamento (E_s) é a avaliação da quantidade de fornecimento de água na zona radicular. É um bom indicador para se saber até que ponto a dotação requerida foi atingida.

2.5.3. Eficiência de uniformidade

A eficácia da irrigação pode ser também descrita pela sua eficiência e uniformidade (e_u). A eficiência de uniformidade pode ser definida como sendo à variação da distribuição na aplicação da água ao longo do sulco.

$$e_u = \left[1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |d_i - \bar{d}|}{n \cdot \bar{d}} \right) \right] \cdot 100\% \quad (2.10)$$

Onde: d_i – profundidade aplicada no ponto de observação [mm]

n – número total de observações [adimensional]

\bar{d} - média da profundidade aplicada [mm]

O cálculo da uniformidade de distribuição é de extrema importância no manejo do sistema de rega por gravidade pelo facto de que esta permite ter uma indicação do padrão com que o campo está a ser abastecido de água.

A Tabela 2 permite nos, após a determinação das eficiências, fazer a avaliação do sistema de rega por gravidade.

Tabela 2: Parâmetros usados na Avaliação do Desempenho do Sistema de Rega por Gravidade

| Parâmetro | Bom | Satisfatório | Mau |
|-----------|--------|--------------|--------|
| e_a | > 75 % | 60 – 75 % | < 60 % |
| e_s | > 90 % | 80 – 90 % | < 80 % |
| e_u | > 90 % | 80 – 90 % | < 80 % |

Fonte: Roscher (1985)

2.5.4. Eficiência de Transporte nos Canais

Os canais de rega são infra-estruturas hidráulicas de grande importância, que contribuem para o desenvolvimento de uma agricultura desejavelmente sustentável e para a fixação da população agrícola (Morgado et al, 2011). O principal objectivo dos canais de rega é o transporte do maior volume de água à longas distâncias com custos de operação e manutenção o mais baixos possível.

Os canais para transporte de água podem classificar-se segundo a secção transversal do canal e o tipo do canal. Relativamente ao tipo de secções, podem ser trapezoidais, rectangulares e semi-circulares, as mais correntes. Quanto ao tipo, os mais usuais são naturalmente os canais à céu aberto assentes sobre o terreno, sendo no entanto necessário nalguns casos executar canais em túnel, pontes-canal, sifões invertidos e mesmo condutas, geralmente circulares, para ultrapassar constrangimentos do terreno ao longo do desenvolvimento do canal.

A eficiência de transporte (E_c) num canal principal é dada pela razão entre o volume entregue à rede secundária e o volume aduzido à cabeceira do canal.

A eficiência de transporte (E_c) reflecte a perda de água entre a captação e à parcela de irrigação, podendo ser determinada pela seguinte equação:

$$E_c = \frac{Q_m}{Q_d} . 100 \quad (2.11)$$

Em que: E_c – eficiência de transporte [%]

Q_m – vazão de manutenção [l/s]

Q_d – vazão derivada da fonte de água [l/s]

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

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. Dependendo do comprimento dos canais e do tipo (de betão, de terra, tipo de solo), a infiltração e evaporação poderão ser altas.

Ignorando as perdas por evaporação, sobre as quais não se pode intervir, os principais factores que podem otimizar para a melhoria da eficiência de transporte, são a regularização hidráulica do canal e as perdas por infiltração, que por sua vez dependem directamente do tipo de revestimento e do estado de conservação e manutenção da obra.

De acordo com Mello (2009), a eficiência de transporte representa todas as perdas que ocorrem desde a toma de água até os limites da área a ser irrigada. É variável em função do tipo de conduto utilizado para o transporte da água, que pode ser um canal em terra ou revestido, ou mesmo uma tubulação. Para fins de anteprojecto, podem ser utilizados os seguintes valores:

- canais em terra: 75% para os não revestidos e 85% para os revestidos.
- tubulações: 95%

Após a determinação da eficiência de transporte, calculamos a eficiência de aplicação; do canal de campo e de distribuição, permitindo o cálculo da eficiência de projecto.

Eficiência de aplicação (E_a): Ao nível do campo perdas poderão ocorrer devido a percolação profunda e devido ao escoamento superficial para fora do campo. Sendo quase impossível conseguir uma uniformidade na distribuição da água no campo, a percolação profunda quase sempre se verificará.

Eficiência do canal de campo (E_b): Eficiência do canal de campo é eficiência de transporte de água dentro do sector, bloco ou sub-unidade. Determina-se pelo quociente entre a água recebida no campo, pela água recebida no bloco.

Eficiência de distribuição (E_d): Eficiência de distribuição é a eficiência do transporte de água e distribuição entre a fonte e a tomada de água no campo.

$$E_d = E_c \cdot E_b \quad (2.12)$$

Eficiência do projecto (E_p): é definida pelo quociente da água armazenada na zona radicular pela água retirada da fonte.

A eficiência do projecto pode ser também calculada como: $E_p = E_a \cdot E_b \cdot E_c$ (2.13)

2.5.5. Perdas por Percolação Profunda

Testezlaf (2007) afirma que as perdas por percolação profunda são representadas pelos volumes de água aplicadas que infiltram no solo e ultrapassam o sistema radicular da planta sem a possibilidade de ser utilizada beneficamente pela cultura irrigada.

As perdas de água por percolação estão intimamente relacionadas com o processo de infiltração da água no solo. Perdas excessivas por percolação podem elevar muito o consumo de água, lixiviar os nutrientes do solo, diminuindo, assim, sua fertilidade, elevar o lençol freático e, conseqüentemente, causar problemas de salinização na área de irrigação (Azevedo et al, 1990).

A perda por percolação (P_p) é determinada pela razão entre o volume percolado e o volume fornecido ao terreno.

$$P_p = \frac{V_{per}}{V_{apl}} \cdot 100 \quad (2.14)$$

Onde: V_{per} – é o volume de água perdida por percolação profunda [m^3]

V_{apl} - é o volume de água aplicado [m^3]

P_p - perdas por percolação profunda [%]

O volume percolado é dado pela diferença entre o volume infiltrado e o volume usado como se apresenta na equação:

$$V_{pp} = V_{inf} - V_{ZR} \quad (2.15)$$

Onde: V_{pp} – volume percolado [m^3]

V_{inf} – volume infiltrado [m^3]

V_{ZR} – volume requerido na zona radicular [m^3]

2.5.6. Perdas por escoamento superficial

São as perdas de água que ocorrem toda a vez que a precipitação ou intensidade de aplicação do sistema de irrigação for superior a capacidade de infiltração do solo, fazendo com que parte da água aplicada escoe superficialmente pelo sulco (Testezlaf, 2007).

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

A perda de água por escoamento superficial é de difícil controle durante a irrigação, particularmente quando se trata de sulcos em declive. Pode ser, porém, parcialmente controlada, reduzindo-se a vazão de entrada quando a água alcança a parte inferior da área. Entretanto, esse tipo de técnica requer mais mão-de-obra, tornando-se pouco prático.

O controlo das perdas de água por “*runoff*” e percolação, enquanto se repõe a água no solo na zona radicular, constitui um dos maiores desafios actuais para o bom manejo de um sistema de irrigação por sulcos. Esse controlo torna-se ainda mais difícil quando se trata de solos de textura leve ou bastante estruturados, como alguns latossolos (Azevedo et al., 1990).

$$P_e = 100 - E_a - P_p \quad (2.16)$$

Onde: V_{runoff} – Volume escoado [m^3]

V_{apli} – Volume aplicado [m^3]

P_e – perdas por escoamento superficial [%]

Da diferença entre o volume aplicado e o volume “*runoff*”, temos o volume infiltrado e é dado pela expressão:

$$V_{\text{inf}} = V_{\text{apl}} - V_{\text{runoff}} \quad (2.17)$$

Onde: V_{inf} – volume infiltrado [m^3]

V_{apl} – volume aplicado [m^3]

V_{runoff} – volume runoff [m^3]

Num sistema de rega, temos dois tipos de perdas, que são respectivamente perdas de campo ao nível das culturas e perdas de operação. As perdas de campo ocorrem no sulco, onde estiverem as culturas e refere-se as perdas por percolação profunda e escoamento superficial “*runoff*”. As perdas de operação, ocorrem no sistema em geral, isto é, refere-se a todas as perdas que ocorrem a partir da fonte de captação, no transporte e distribuição nos canais e nos próprios canais no campo.

A Figura 3 ilustra a estrutura de um sulco e as respectivas características após a aplicação da água. Através dela, podemos observar as características dos diversos parâmetros.

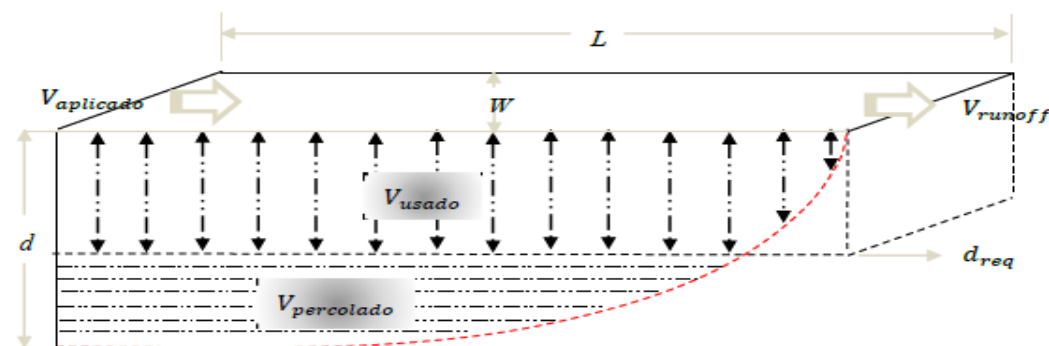


Figura 3: Estrutura de um sulco ilustrando a aplicação da água e as respectivas perdas desse processo

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2006)

No modelo, verificamos que o volume aplicado refere-se ao volume de água aplicado ao canal de cabeceira para uma determinada área. Este volume é determinado, pelo produto entre o caudal e o tempo de aplicação.

2.6. Infiltração da Água no Solo

Para Mello (2009), a infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo através de sua superfície. Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atinge um “alto” teor de humidade, enquanto que as camadas inferiores apresentam-se ainda com “baixos” teores de humidade. Há então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenómeno que recebe o nome de redistribuição.

De acordo com Fermino & Silva (2015), o conhecimento da movimentação da água é de extrema relevância, pois permite ao homem executar o manejo correcto dos recursos hídricos, dentre eles estão o correcto uso do sistema de irrigação, manejo do solo e água, drenagem e o controle de infiltração.

Assim, a água quando atinge a superfície do solo, parte dela ou toda, penetra por força de gravidade, tanto mais facilmente quanto maior for o diâmetro dos poros; a capilaridade é dirigida verticalmente (para cima e para baixo) e lateralmente.

O conhecimento da taxa de infiltração da água no solo é de fundamental importância para definir técnicas de conservação do solo, planejar e delinear sistemas de irrigação e drenagem, bem como auxiliar na composição de uma imagem mais real da retenção da água e aeração no solo.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

A infiltração é um processo importante na rega superficial, controla a quantidade de água que penetra no solo, as frentes de avanço e recessão. Nos sulcos a infiltração decompõe-se em componentes vertical, horizontal e radial e envolve três processos interdependentes: a entrada da água através da superfície do solo; o armazenamento no solo; e o movimento através do solo (percolação profunda e *runoff*), (Lencastre, 1992).

Segundo Walker (1989), existem vários métodos práticos para estimar a infiltração na rega por sulcos, dos quais destaca-se: Anel duplo; Obstrução dos sulcos e ainda Inflow e Outflow.

Método de Anel duplo:

Para Ferreira (2011), o infiltrômetro de anel é um equipamento que consiste em dois anéis, sendo o menor de 25 cm de diâmetro e o maior de 50 cm, ambos com 30 cm de altura. Esses anéis são instalados de forma concêntrica (vista superior), enterrados 15 cm no solo, com auxílio de uma marreta.

O método de infiltrômetro de anel serve para definir e quantificar a taxa de infiltração da água no solo.

De acordo com Sousa (2018), para a realização do método utilizam-se dois anéis de formatos cilíndricos dispostos de forma homocêntrica e um equipamento que possibilite a medição da água que será inserida ao anel interno. Eles são instalados de maneira concêntrica e cravados no solo à 15 cm de profundidade.

Obstrução dos sulcos:

Constroi-se uma bacia limitada por diques ou obstrução de um sulco em dois pontos. As operações neste método se comparam com a dos infiltrômetros. Tem a vantagem de providenciar a infiltração que ocorre numa área relativamente maior que a do anel duplo e a desvantagem é a sua baixa praticabilidade.

Inflow e outflow:

Providência bons valores de medição da infiltração ao longo do campo irrigado. Assim, com vista a estimar a distribuição da infiltração, as determinações com este método devem ser combinadas com as medições de campo da frente de avanço para permitir a derivação da função de infiltração.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Basicamente, este método consiste na medição do caudal de entrada e de saída num sulco de comprimento e largura previamente conhecidos. Este método tem a vantagem de medir a infiltração bidimensional nas condições de rega por sulcos, mas tem a desvantagem de ser mais complicado e necessitar de outras determinações visto que envolve mais parâmetros (avanço e recessão).

A equação potencial mais conhecida é denominada equação de Kostiakov, representada pela equação 2.18:

$$I_{Cum} = k.T^a \quad (2.18)$$

Onde: I_{cum} – infiltração acumulada [cm, mm]

k – constante dependente do solo [adimensional], com $k > 0$.

T – tempo de infiltração [horas, min]

a – constante dependente do solo [adimensional], variando de 0 à 1 em valor absoluto.

Essa equação descreve bem a infiltração para pequenos tempos de irrigação, comuns na aplicação de lâminas de água médias e pequenas.

Para se determinar a equação que representa a velocidade de infiltração instantânea (V_{inst}) é necessário derivar a equação de infiltração acumulada em relação ao tempo. Sua forma será então:

$$V_{inst} = \frac{dI}{dT} = k.a.T^{a-1} \quad (2.19)$$

O modelo de Kostiakov (função potencial) mostra um decréscimo da velocidade de infiltração (V_i) ao longo tempo, com valores próximos de zero para tempos finitos, não representando, assim, o fenómeno real da infiltração de água no solo, cuja V_i decresce a um valor estável. Para contornar essa problemática, atribui-se a um limite no eixo dos tempos para uma declividade da recta tangente do ângulo β igual a 1° . Este limite foi considerado o valor estável correspondente a VIB.

Velocidade de infiltração básica (VIB) é a Velocidade de infiltração (VI) quando sua variação com o tempo é muito pequena (após longo tempo de infiltração).

De Sousa (1981) verificou que o maior efeito da constante a está na forma da curva de infiltração acumulada e, conseqüentemente, na curva de avanço. O efeito das constantes k e a na infiltração acumulada é muito pequena e suas variações não são significativas na lâmina infiltrada acumulada.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Variações na constante k , mantendo-se a inalterado, provocam variação no avanço e este se torna mais lento ou mais rápido se houver diminuição ou aumento de k .

Na equação de Kostiakov a velocidade de infiltração tem uma propensão a ser 0, lembrando que ela não deverá ter esse valor e assim tornar-se constante, ou seja, tender a VIB. Com isso, foi proposta uma equação modificada, a de Kostiakov-Lewis:

$$I = k.T_o^a + VIB.T_o \quad (2.20)$$

Em que: I – infiltração acumulada [mm]

k – constante que depende do solo [adimensional]

T_o – tempo de oportunidade [h]

a – constante que depende do solo [adimensional]

VIB – velocidade de infiltração básica [mm/h]

Os solos podem ser classificados de acordo com VIB, segundo a Tabela 3:

Tabela 3: Classificação dos Solos Quanto à Velocidade de Infiltração Básica (VIB)

| Textura do Solo | Velocidade de Infiltração Básica (VIB) |
|----------------------|--|
| Solo Argiloso | $VIB < 5 \text{ mm.h}^{-1}$ |
| Solo Franco-Argiloso | $5 < VIB < 10 \text{ mm.h}^{-1}$ |
| Solo Franco | $10 < VIB < 20 \text{ mm.h}^{-1}$ |
| Solo Franco-Arenoso | $20 < VIB < 30 \text{ mm.h}^{-1}$ |
| Solo Arenoso | $VIB > 30 \text{ mm.h}^{-1}$ |

Autor: Brandão (2006)

2.7. Medição da Vazão nos Sulcos

O caudal aplicado num sulco, é também um dos factores mais importantes para obter uma irrigação eficiente. Maiores uniformidades de aplicação da água são obtidas quando se usa irrigação com redução do caudal, ou seja, aplica-se inicialmente o maior caudal que o sulco pode conduzir, sem transbordar ou sem causar erosão, e, quando a frente de avanço atingir o final do sulco, o caudal inicial é reduzido. O caudal inicial deve ser o caudal máximo não erosivo que o sulco pode conduzir, e o final deve ser o menor caudal capaz de manter todo o comprimento do sulco com

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

água durante o tempo necessário para aplicar a lâmina de água desejada no final do sulco (Bernardo et al, 2002).

Em qualquer projecto de irrigação, torna-se importante quantificar a vazão disponível para projectos de irrigação; controlar a vazão (volume) de água de irrigação à ser aplicada em projectos (racionalizar o uso da água) e ainda quantificar a vazão disponível para accionar no canal de irrigação ou sulco.

Segundo Kay (1986), o uso de maiores caudais, resulta numa rápida frente de avanço (menor tempo de avanço), diminuindo a eficiência de aplicação em 10 à 20%, potencia muitas perdas por *runoff*, contudo, providencia uma uniformidade da profundidade de rega devido a redução da variação do tempo de oportunidade ao longo do comprimento do campo.

Segundo Bernardo et al, (2002), uma equação impírica para a determinação do caudal máximo não erosivo, desenvolvido por Gardner, ao estudar o efeito do caudal e da declividade na erosão:

$$q_{\max} = \frac{C}{S^a} \quad (2.21)$$

Onde: q_{\max} – caudal máximo não erosivo [l/s]

S – declividade do sulco [%]

C e a – coeficientes específicos do solo [adimensional]

Tabela 4: Valores dos Coeficientes C e a, em Função da Textura do Solo

| Textura | C | a |
|--------------|-------|-------|
| Muito fina | 0,892 | 0,937 |
| Fina | 0,988 | 0,550 |
| Média | 0,613 | 0,733 |
| Grossa | 0,644 | 0,704 |
| Muito grossa | 0,665 | 0,548 |

Fonte: Mello (2009)

Em sulcos longos a vazão máxima não erosiva pode ser calculada pela equação:

$$Q_{\max} = \frac{0,631}{S_o} \quad (2.22)$$

Onde: Q_{\max} – vazão máxima não erosiva [L/s]

S_o - declividade do sulco [%]

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

De acordo com Leviem (2012), os valores obtidos com esta equação são adequados para solos de textura média e com declividade próxima a 0.5%. Em outros solos argilosos pode se aumentar a vazão, e em solos arenosos haverá que dimiui-la. Esta equação superestima a vazão para declividades menores do que 0,5%, e subestima a vazão para declividades maiores do que 0,5%.

Existem vários métodos para medição de vazão – uns exigem equipamentos caros e sofisticados, outros são simples e baratos. O melhor método para cada condição depende do volume de água a ser medido, das condições onde serão realizadas essas medidas e da precisão desejada (Mantovani et al., 2009).

Ainda de acordo com este autor, considerando a necessidade de medição de vazão sob o ponto de vista de irrigação, os métodos, a serem discutidos, serão divididos em dois grupos:

Medição de água em canais de irrigação – vertedor, Medidor Parshal.

Medição de água nos sulcos de irrigação – método directo, sifão e WSC flume.

A escolha do método depende do volume do fluxo de água; das condições locais; do custo (existem equipamentos caros e outros simples e baratos) e ainda da precisão desejada.

2.8. Declividade, Comprimento e Geometria dos Sulcos

A uniformidade de irrigação se consegue, à parte de outras considerações, quando os sulcos têm a mesma declividade em todo seu comprimento, pois em caso contrário se originam zonas com falta de água e outras com excesso, podendo chegar a encharcamentos e transbordamentos da água de um sulco a outro. Também, nas zonas de maior declividade pode se originar erosão (Leviem, 2012). Ainda de acordo com o autor, a velocidade da água no sulco está na razão e da declividade, e na razão inversa da rugosidade do sulco.

Leviem (2012), afirma que a declividade óptima está compreendida entre 0,2 e 0,5%, podendo chegar até um máximo de 2%. Com vazões pequenas e sulcos curtos se pode ultrapassar estes valores, com a condição de que haja uma mão de obra muito experiente.

Segundo Castro (2001), um sulco com acentuado declive promove uma grande velocidade da água de rega que pode resultar na fraca retenção da mesma nos sulcos provocando então a erosão dos solos. Assim, em sulcos sem declives as perdas por percolação são maiores porque a água tende a infiltrar-se mais no início do sulco.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

O declive dos sulcos pode ser determinado usando um nível topográfico e o seu cálculo é feito entre dois pontos. Segundo Walker (1989), é dado pela diferença de nível entre esses dois pontos, e é determinado pela equação:

$$S = \frac{P_1 - P_2}{D_x} \quad (2.23)$$

Em que: S – declive em [m/m]

P_1 e P_2 – são as alturas dos pontos onde foi colocada a mira [m]

D_x – é a declividade que separa os dois pontos [m]

O comprimento do sulco é um factor essencial para o agricultor, o não cumprimento deste pode trazer sérios prejuízos ao agricultor, tais como: aumento do custo de mão de obra e da irrigação; dificuldade na mecanização da área, má distribuição da água no solo; entre outros. Ao se fazer os sulcos deve - se analisar diversos factores como o tipo do solo, pois quanto mais permeável mais curto deve ser o sulco.

Em solos argilosos os sulcos podem ser mais espaçados do que em solos arenosos, isso se dá pois em solos mais permeáveis os sulcos são mais alongados verticalmente, e em solos menos permeáveis os sulcos são mais alongados horizontalmente; deve se analisar também a cultura a ser irrigada e os tipos de equipamento utilizados nos tratos culturais, devendo se assegurar o movimento lateral de água entre os sulcos adjacentes, para assim humedecer toda a zona radicular da cultura. Os espaçamentos então podem variar de 0,30 a 1,80 m com a média ao redor de 1,0 m. Mello (2009), refere que o comprimento dos sulcos é dependente da Geometria da área; tipo de solo; declividade do sulco e da vazão aplicada aos sulcos.

De acordo com esses factores, verifica-se que o comprimento ideal deve ser determinado por um teste de campo. Essa determinação é feita por meio das curvas de avanço da água em sulcos de infiltração.

As medições da geometria da secção transversal são importantes para avaliação dos canais de rega, bem como dos sulcos, sendo necessário efectuar duas ou três medições antes e depois da irrigação.

A forma geométrica do sulco é importante, principalmente quanto à capacidade da secção transversal em conduzir água na quantidade suficiente e a distribuir uniformemente (Leviem, 2012). A forma mais comum é em forma de V com profundidade de 15 à 20 cm e largura superior de 25 à 30 cm.

A geometria da secção transversal torna-se difícil de descrever em casos de rega por sulcos. A forma do sulco muda continuamente devido a erosão e a disposição do solo enquanto a água se move longitudinalmente, mas a sua forma típica varia de triangular a quase trapezoidal. Na maioria dos casos, funções simples podem ser usadas para relacionar a área da secção transversal e o perímetro molhado (Walker, 1989).

Segundo Grison et al, (2014), para determinação da secção transversal dos canais e dos sulcos, recomenda-se o uso do método Secção - Velocidade.

O método da Secção - Velocidade consiste em calcular as vazões parciais para as subsecções formadas entre as verticais. Considera-se nas extremidades subsecções triangulares e as demais trapezoidais. A velocidade é a média aritmética das verticais (Santos et al., 2001).

A escolha do método deve-se a precisão requerida; características do lugar; frequência requerida das medições; complexidade do método e ainda a disponibilidade dos equipamentos de medição.

2.9. Mecanismos para a Melhoria da Eficiência da Irrigação por Sulcos

Na irrigação por superfície é produzida uma maior percentagem de perdas de água do que em outros sistemas de irrigação, mas isto não deve ser necessariamente assim, já que se pode conseguir altas eficiências quando a água é aplicada com critérios racionais estudados (Leviem, 2012).

De entre várias características consideráveis a ter em conta neste tipo de irrigação destacam-se: a não exigência de água limpa; necessidade de grandes vazões para evitar desuniformidade na lâmina de irrigação aplicada ao longo do sulco e que o solo deve ser homogéneo ao longo do comprimento do sulco (textura).

Devido as suas características e a forma de manejo no campo, o sistema de irrigação por sulcos deve ser optimizado de modo a permitir menos perdas de água evitar no máximo o risco de erosão e salinização dos solos e o uso de um caudal adequado.

O caudal e o tempo de corte são dois parâmetros hidráulicos operacionais, sendo o tempo de corte, o que o agricultor pode regular facilmente, portanto, a interdependência entre o influxo e o tempo de corte deverá ser conhecida de modo a maximizar o desempenho de um sistema de irrigação superficial (Walker, 1989).

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Várias são as medidas de manejo que podem ser tomadas para melhorar o desempenho de um sistema de rega por sulcos. Para tal, deve-se ter em conta alguns parâmetros como o comprimento e declividade dos sulcos; tipo de solo; aplicação da água, escoamento superficial; percolação profunda, dentre outros. Mas deve-se reconhecer antes que todos os parâmetros estão intimamente relacionados.

A Tabela 5, destaca a combinação da declividade, tipo de solo e a vazão máxima admissível, em sulcos com nivelamento de grande precisão. Em todo o caso, estudos específicos podem ser conduzidos para cada caso para a optimização da rega por sulcos.

Tabela 5: Comprimento Máximo dos Sulcos para Diferentes Solos

| Declive [%] | Dotação [mm] | | | | | | | | | | | | Caudal Médio [l/s] |
|-------------|---------------|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|--------------|-----|-----|-----|--------------------|
| | 75 | 150 | 225 | 300 | 50 | 100 | 150 | 200 | 50 | 75 | 100 | 125 | |
| | Solo Argiloso | | | | Solo Franco | | | | Solo Arenoso | | | | |
| 0,05 | 300 | 120 | 400 | 400 | 120 | 270 | 400 | 400 | 60 | 90 | 150 | 190 | 12 |
| 0,1 | 340 | 180 | 470 | 500 | 180 | 340 | 440 | 470 | 90 | 120 | 190 | 220 | 6 |
| 0,2 | 370 | 220 | 530 | 620 | 220 | 370 | 470 | 530 | 120 | 190 | 250 | 300 | 3 |
| 0,3 | 400 | 280 | 620 | 800 | 280 | 400 | 500 | 600 | 150 | 220 | 280 | 400 | 2 |
| 0,5 | 400 | 280 | 560 | 750 | 280 | 370 | 470 | 530 | 120 | 190 | 250 | 300 | 1,5 |
| 1,0 | 280 | 250 | 500 | 600 | 250 | 300 | 370 | 470 | 90 | 150 | 220 | 250 | 0,6 |
| 1,5 | 250 | 220 | 430 | 500 | 220 | 280 | 340 | 400 | 80 | 120 | 190 | 220 | 0,4 |
| 2,0 | 220 | 180 | 340 | 400 | 180 | 250 | 300 | 340 | 60 | 90 | 150 | 190 | 0,3 |

Fonte: Doorembos & Kassam (1994)

2.10. A Produção da Cana de Açúcar na Companhia de Sena

É prática comum da companhia, a realização do plantío da cana de açúcar em três épocas distintas, conforme seguem:

- Cana de 18 meses: plantío realizado nos meses de Fevereiro à Maio;
- Cana de inverno: plantío realizado entre Junho a Agosto;
- Cana do ano ou 12 meses: plantío realizado entre Setembro e Novembro;

Durante os meses de Dezembro e Janeiro, via de regra, não são realizados plantíos devido principalmente ao excesso de chuvas características desta época. A definição das épocas ideais de plantio da cana de açúcar depende directamente das condições climatológicas características da região, dentre os quais, a precipitação, temperatura e evapotranspiração.

Na Companhia de Sena foram identificadas duas fases de plantío: a primeira é de Fevereiro à meados de Maio, com irrigação na cana com colmos e, a segunda época, entre Novembro e

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Dezembro, também, com irrigação se necessário, podendo esse plantío ser utilizado para a safra ou para cana de dois verões (18 meses invertido), ou seja, ela atravessa dois períodos chuvosos.

Na unidade, são plantadas as seguintes variedades: N21; N33; N14; N19; N25; entre outras. Destas, duas variedades representam 89,2% do total, ficando a N21 em destaque com 54,2% do total da área plantada, seguida da N33 com 35%.

A produção da cana de açúcar, compreende quatro (4) fases fundamentais tais como: preparo do solo; plantío; tratos culturais e colheita.

O preparo do solo consiste na realização de operações sucessivas para deixar o terreno ápto para receber a cultura. Neste preparo são realizadas operações sucessivas tais como gradagens; aração, subsolagem e gradagens niveladoras com variações diversas, dependendo de cada região ou campo. Deentre várias vantagens, estas operações visam restabelecer a porosidade original das primeiras camadas do solo que foram compactadas; melhorar a drenagem do solo, rompendo zonas adensadas possibilitando melhor drenagem e penetração das raízes; entre outras.

O plantío, como já citado, pode ser feito em Novembro/Dezembro (12 meses) e/ou Fevereiro a Maio (18 meses). Para o plantío de Fevereiro à Maio a sulcação é feita na época seca, com antecipação de três (3) meses, devido ao tipo de solo, que não permite sulcar com humidade. No plantío define se uma tarefa de 350 m lineares para cada colaborador, que carrega a cana do carreador distribui a cana no sulco, faz o corte do colmo em toletes e cobre.

Os tratos culturais da cana são executados após o plantío. Os tratos compreendem fases tais como a aplicação de herbicidas; controlo biológico; aplicação de maturador até a irrigação. Nesta fase, a irrigação é o factor principal, pois, garantem a brotação da soqueira e sua estabilização ao longo do período seco, já que a colheita inicia se em Maio, principio da seca. Como a irrigação não está estruturada para 100% da área da cana da unidade, algumas áreas passam o período seco sem irrigação prejudicando a produtividade para a próxima safra. Este factor é contornado com o manejo de colheita, onde no início da safra são colhidas áreas que não tem irrigação estruturada, quando isso é possível e as áreas que irão para reforma.

A colheita de cana é feita no período de Maio à Novembro. O corte da cana é manual e a palhada da cana é queimada. O colaborador recebe uma tarefa na parte da manhã, que depende do grau de

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

dificuldade e da produtividade da cana. Esta tarefa varia de 28 m a 100 m de ruas para espaçamento de 1.0 m entre as linhas da cana e de 7 ruas para espaçamento de 1,5 m.

O carregamento é feito com carregadoras de alta tonelagem e o transporte feito com tratores e camiões de alta potência rebocando dois ou três semi-reboques de 30 toneladas e com tratores menores com dois reboques de 12 toneladas.

A Figura 4 mostra a produção da cana de açúcar dos últimos dez (10) anos, onde podemos verificar que a produção varia entre 372,2 à 729,76 toneladas numa área de 8.773,06 ha.

De acordo com a Companhia de Sena (2021), no ano 2012 registou-se a produção mais alta dos últimos oito (8) anos, seguindo se uma diminuição da produção entre os 15 e 49 %, nos anos seguintes.



Figura 4: Quantidade de produção da cana de açúcar por ano

Fonte: Companhia de Sena (2021)

A figura mostra a redução na produção da cana de açúcar nos últimos sete (7) anos em cerca de 30%. Entretanto, de acordo com Almeida et al., (2008), de um estudo feito à quatro (4) variedades, a produção da cana-planta nas variedades produzidas na Companhia de Sena, a produção deveria variar entre 83,92 à 167,89 t.ha-1. Ou seja, numa área de 8.773,06 ha a produção deveria estar entre 736.235,2 e 1.472.909,02 toneladas. Assim sendo, a produção da cana de açúcar é baixa em comparação com o esperado.

CAPÍTULO III: MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição da área de estudo

A unidade industrial situa-se na vila de Marromeu, no distrito do mesmo nome, na Província de Sofala (centro de Moçambique), estando localizada na margem esquerda do rio Zambeze, onde se encontra a estação de captação de água para a indústria. Com uma superfície total de 15.700,4 ha, o empreendimento situa-se entre as latitudes 18°17'15"Sul e Longitudes 35°56'52"Este, estando a uma altitude de 15 metros acima do nível do mar.

O distrito de Marromeu está localizado à nordeste da província de Sofala, sendo limitado à norte pelo distrito de Caia e Mopeia (província da Zambézia) através do rio Zambeze, à sul pelo Oceano Índico e pelo distrito de Cheringoma, à este pelo distrito de Chinde (província da Zambézia) e a oeste pelo distrito de Cheringoma. Com uma superfície de 5.871 km² e uma população recenseada em 2017 de 154,361 habitantes, o distrito tem uma densidade populacional de 26,3 hab/km² (Instituto Nacional de Estatística, 2017).

A Figura 5 ilustra a localização do Distrito de Marromeu, na província de Sofala, com os respectivos limites, e a Figura 6 é a ilustração da Companhia de Sena e os seus campos de produção.

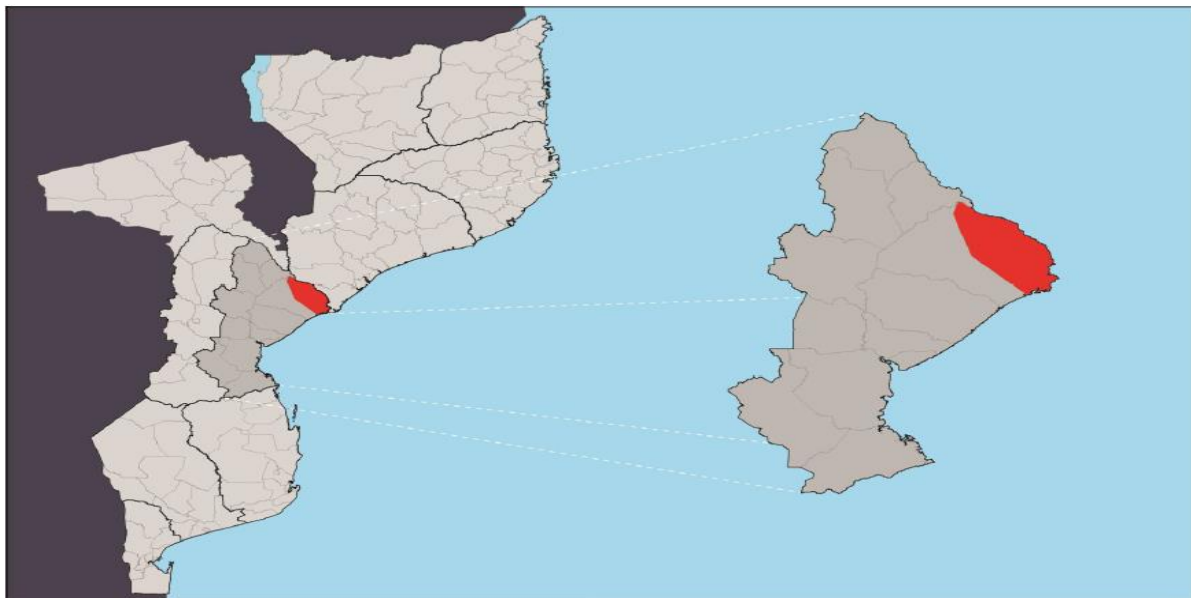


Figura 5: Mapa da localização geográfica do distrito de Marromeu

Fonte: Instituto Nacional de Estatística (2017)

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.



Figura 6: Mapa do campo de ensaio da Companhia de Sena. O padrão em círculos indica áreas irrigadas por pivot central

Fonte: Google earth (2020)

3.1.1. Clima e solos da área de estudo

Estima se que metade da superfície física do distrito ocorre na vasta planície deltáica do rio Zambeze. Marromeu possui um clima tropical húmido em todos os locais, com duas estações por ano, nomeadamente a de inverno (entre os meses de Abril à Agosto) e a de verão, durante os restantes meses. A superfície do Distrito de Marromeu é homogénea, variando entre as altitudes 0 m e os 300 m.

A precipitação média anual é cerca de 910 mm, enquanto a evapotranspiração potencial média anual é de 1574 mm.

A maior queda pluviométrica ocorre sobretudo no período compreendido entre Dezembro de um ano à Março do ano seguinte, variando significativamente na quantidade e distribuição, quer durante o ano, quer de ano para ano.

A temperatura média anual está na ordem dos 26,6°C. As médias anuais máxima e mínima são de 32,6 e 20,7°C, respectivamente.

Na região de abrangência da Companhia de Sena, de fraca pluviosidade e afastada da costa e de solos secos, ocorre a savana. A savana pode ser arbórea ou arbustiva de acordo com a predominância de árvores ou arbustos nos respectivos estratos, mas com o estrato herbáceo sempre presente. De uma maneira geral, a savana é uma formação baixa (plantas de altura até 10 m), por vezes degradada.

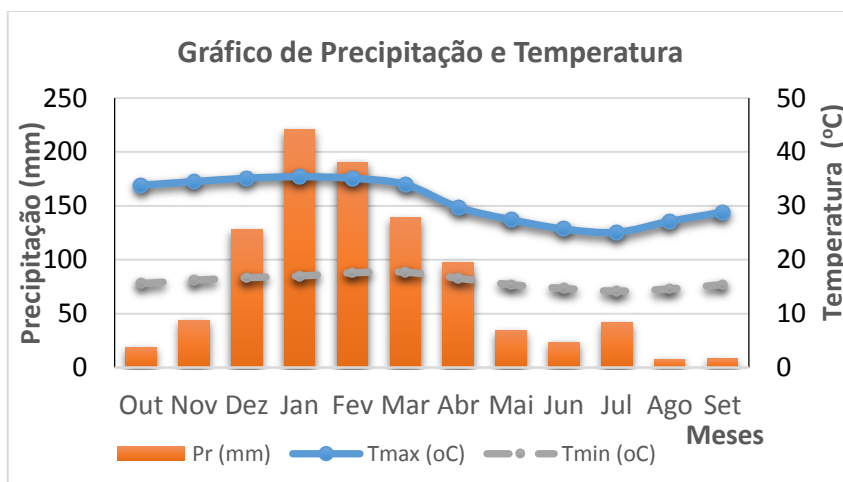


Figura 7: Gráfico da precipitação e temperatura na estação de Marromeu

Fonte: Smith (1993)

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Os solos são predominantemente aluvionares, isto é, na planície deltaica e marinho estuarinos nos mangais, e mais ainda de texturas arenosa e média nas coberturas arenosas e nas plataformas de mananga, respectivamente.

Em geral, são solos muito profundos, ricos em matéria orgânica e boa capacidade de retenção de água e nutrientes (solos aluvionares), localmente salinos e sólidos (os estuarino marinhos) e baixa capacidade de retenção de nutrientes e água (os arenosos).

A área de abrangência da Companhia de Sena está cercada por arbustos e vegetação herbácea regularmente inundadas.

A classe predominante é a dos Luvisolos seguidos pelos Gleissolos, somando juntos 82,1% de toda a área em estudo, restando em seguida os outros com menor expressão com uma percentagem de 6,6%, cuja distribuição espacial pode ser observada no *Anexo 1, Figura 1.2*.

Na unidade Je11 de associação de solos (luvisolos eutróficos), encontramos os vertissolos (Grumosolos), os quais apresentam na estação seca fendas que limitam a engenharia agronômica, pelo rompimento de parte das raízes das plantas, dificultando a irrigação, reduzindo o efeito da adubação. São sempre muito consistentes geneticamente porque são adensados, por isso a subsolagem tem efeito somente por poucos dias, logo voltam na condição de muito consistentes. Se forem compactados na camada arável aumenta o problema de consistência em todo perfil, mas não significa que deverão ser desconsiderados para serem explorados com a cana de açúcar.

Com base nestas características, podemos afirmar que a morfologia dos solos desta localidade proporcionam as plantas cultivadas uma grande disponibilidade hídrica, assumindo um valor para a capacidade de água disponível muito elevada em comparação a outras classes de solos encontrados nas regiões tropicais.

3.1.2. Sistema de irrigação na Companhia de Sena

Nos campos de produção da Companhia de Sena praticam-se um total de 4 (quatro) tipos de irrigação, sendo: Irrigação por Gravidade (sulcos); Irrigação por Pivot Central (Aspersão); Autopropelido, canhão ou rolo (Aspersão) e a Irrigação por Pivot linear (Aspersão).

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

O regadio encontra-se subdividido em duas áreas, sendo a área 1 constituída pelas zonas 1, 2 e 3 com 8974,7 ha e a área 2 constituída pelas zonas 4, 5 e 6 com 6725,7 ha; tendo uma área total de 15.700,4 ha (*Anexo 1, Figura 1.3*).

Actualmente, a área irrigada é de 8773,06 ha, enquanto que a restante constitui a área não irrigada ou de pousio (de sequeiro) com cerca de 6722,7 ha.

A irrigação por gravidade é realizada numa área de 1.381,9 ha, ou seja, cerca de 16% da área irrigada. Para implantação deste tipo de irrigação, a unidade fabril tomou como atenção o tipo de solos (uniforme ao longo de toda extensão); menor declividade do terreno e por ser um método que exige menor custo.

A irrigação por aspersão subdivide-se em três (3) tipos, sendo Pivot Central, Autopropelido e Pivot linear. A irrigação por Pivot Central realiza-se numa área de 5.799,76 ha; a irrigação por Autopropelido ocupa uma área de 40,0 ha, enquanto que a irrigação por Pivot Linear é realizada numa extensão de 1.985,1 ha.

A escolha dos diferentes tipos de irrigação por aspersão deveu-se à existência de solos com alta capacidade de infiltração; outrossim, a implantação deste tipo de irrigação não requer a sistematização do terreno, proporcionando economia nos custos de instalações e a utilização em áreas com topografia ondulada (Testezlaf, 2007) e ainda possui boa uniformidade de distribuição de água no terreno.

Um total de 42,8% da área total do regadio não é irrigada, ou seja, é usada para sequeiro. Ela não é irrigada devido à estiagem. Destes 42,83%, uma parte encontra-se neste momento sendo irrigada, com a irrigação por Pivot Linear; a outra parte (não mensurável) não está sendo irrigada por Pivot Linear porque possui solos de argila pesada, propícia para irrigação por gravidade. Entretanto, tal não é feita devido à falta de sistematização do terreno e não existência de uma barragem de terra nas suas proximidades. Constitui desafio para os gestores da unidade fabril, a extensão da irrigação por gravidade na área de sequeiro, como forma de minimizar os custos dos projectos de irrigação, bem como evitar a vandalização de tubagens e outros dispositivos usados nos diferentes tipos de irrigação por aspersão instalados.

3.1.3. Caracterização Hidráulica dos Canais

Os canais usados para o transporte da água das estações de captação da água (no rio Zambeze) até às sub-estações na Companhia de Sena, são no seu todo, canais ou condutos livres, isto é, canais sem revestimentos onde a sua superfície é exposta à atmosfera. Quanto a sua forma, todos são trapezoidais e com dimensionamentos diferentes de acordo com o projecto traçado para a sua instalação, que também se espelha nas necessidades actuais da água de rega nos campos e projeções num futuro breve.

O regadio é composto por dois (2) canais principais, não revestidos, cobertos de vegetação e com diferentes dimensões. Os referidos canais tem larguras e profundidades diferentes, fazendo com que o escoamento não seja uniforme. Ao longo dos canais, encontramos bombas intermediárias que bombeiam 50% de água para os pivots e a restante para os reservatórios elevados (usados para rega por sulcos).

E, das subestações de bombeamento para os pivôs centrais assim como para os tanques de retenção da água (Damo), são usadas tubagens subterrâneas também de diferentes tamanhos dependendo da situação. Os canais secundários são também abertos à atmosfera, não revestidos e com pequena vegetação. Os referidos canais são alimentados pelos reservatórios através de tubagens subterrâneas que vão até às caixas de derivação ou boxes.



Figura 8: Caracterização dos canais

3.1.4. Sistema de captação

O sistema de captação de água para irrigação do canavial na empresa é feita nos lugares onde a água é mais vazante (no rio Zambeze) até aos canais primários e que estes por sua vez conduzem a água por diferentes subestações. A captação da água é feita em dois lugares distintos, adjacentes ao rio em referência.

O bombeamento é feito de duas maneiras: Bombeamento (do rio para o canal, subestações e estes para os pivôs e represas) e Gravidade (para os campos irrigados por gravidade ou por sulcos).

Contudo, temos dois pontos de captação de água para rega, o primeiro ponto com 4 bombas (Pontoon Pump Station), com capacidade instalada de $Q = 600$ l/s e no Segundo ponto, Baliera Pump Station com duas (2) bombas $Q = 2170$ l/s.

A captação da água é feita de forma directa no rio Zambeze e a capacidade total instalada é de aproximadamente $8 \text{ m}^3/\text{s}$, dos quais:

Estação da bomba de Poonton: Possui capacidade instalada de $2,4 \text{ m}^3/\text{s}$ e ainda recebe aproximadamente $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ do Plante quando necessário. Fornece água de irrigação para o Pivot do Baliera 1 e 2, Sepe, Central, Juncua Pivot 3-11, Fumbe, Salone - Pivot Linear 1 e 2 e Salone B. E, em alguns casos, quando a nova bomba de Baliera está com problemas prolongados, usa se essas bombas para atender às necessidades da água em 2 canais com a ajuda do manuseio de comportas no parque 2.

Bomba nova Baliera (BPS0): Tem uma capacidade instalada de $4,34 \text{ m}^3/\text{s}$, e fornece Baliera, Pivot de viveiro 3 e 4, Costema, Marai, Juncua pivotam 1 e 2 e Salone - Linear 3, 4, 5 e 6. Ao longo do canal, há sub-bombeamento em estações que transportam esse líquido directamente para os pivôs ou para os reservatórios (barragens). Parte da água captada é armazenada em barragens para posterior uso.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

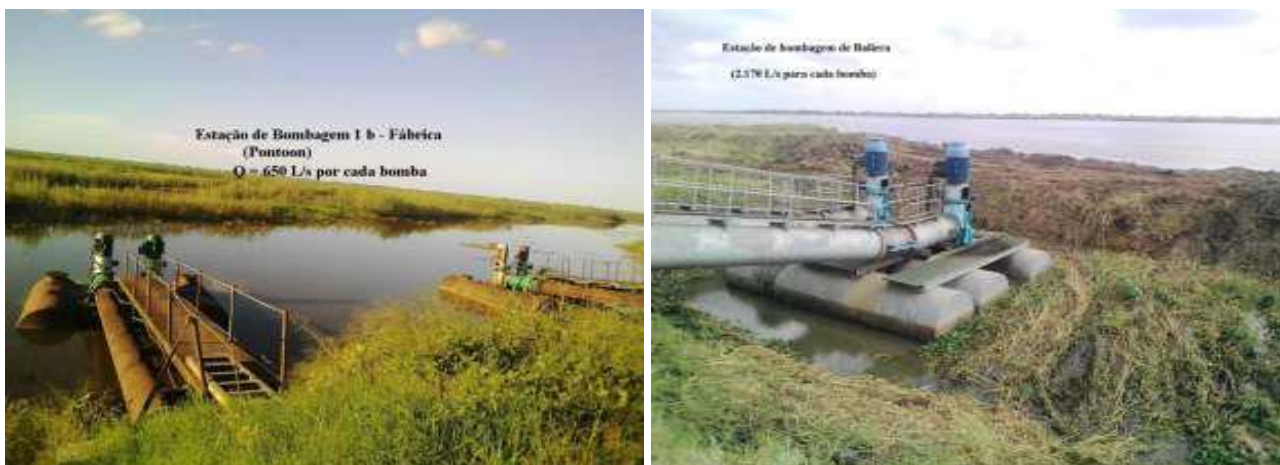


Figura 9: Estações de bombagem

No total, a Companhia possui quatro (4) barragens de terra, com capacidade entre 7 e 15 mil m³, e para as bombas centrífugas de enchimento são usadas principalmente com capacidade entre 200 e 400 m³/h. Na região do Sepe (Secção 3) encontramos uma (1) barragem; em Juncua (Secções 6 e 18) encontramos duas (2) barragens; e na região de Costema (Secção 15) encontramos uma (1) barragem, totalizando quatro (4) barragens instaladas nos campos de produção.

O principal objectivo de armazenar esta água num reservatório é fornecer a água por gravidade ao sistema de irrigação. Os reservatórios foram construídos numa certa elevação para garantir a força gravitacional na descarga da água para irrigar os campos.

Em todos os estados açucareiros, a Companhia possui cinco (5) estações de bombeamento para drenagem de água de irrigação ou até de chuva, sendo: estação de bombeamento Samora; estação de bombeamento de drenagem de Sepe 3; estação de bombeamento de Nhamadau; Estação de bomba de drenagem Costema e estação de bombeamento de berçário. A estação de bombeamento Samora é usada para fornecer água para irrigação (Pivot Central, Fumbe, Salone, Linear 1 e 2 e Salone B), e também é usado para a drenagem da água da chuva drenada para o canal de Pontoon PS para Samora PS, vindo da vila, alguns campos de Nursey e Sepe.

A Estação 3 da bomba de drenagem de Sepe remove toda a água da chuva que inunda os campos, principais drenos, valas de drenagem, sendo estas internas ou externas em relação ao campo, em todas as áreas de Sepe (irrigação por Pivot), drenando as águas do rio Pambane.

A Estação da bomba de Nhamadau é usada para fornecer água para irrigação e também para a drenagem durante a estação chuvosa que inunda os campos e valas de drenagem de JP3 a JP11.

A Estação de bomba de drenagem Costema remove toda a água da chuva que inunda os campos, e valas, na parte da secção 15 (Costema) que drena o rio Soare.

A instalação das bombas para captação obedeceu todos os critérios, tendo sido instaladas em local seco, ventilado, protegido da chuva e de fácil acesso para manutenção.

3.2. Medições no Campo dos Parâmetros Hidráulicos do Sistema de Rega por Sulcos

3.2.1. Medição do Caudal nos Canais e nos Sulcos

A medição do caudal tanto nos canais primários, bem como nos canais secundários, foi feita usando um molinete. Para o efeito, foi usado o molinete do tipo Price (Gurley) que possui eixo vertical e é provido de conchas.

Para uma boa representação dos dados, este processo foi replicado, ou seja, em cada canal primário foram realizadas três (3) medições, nomeadamente, no início (junto à captação), na fase intermédia e no fim. Nos canais secundários foram efectuadas duas medições: no início (junto às proximidades da tomada) e no fim do canal. A medição da água nos canais secundários foi realizado sem o desvio do curso de água para a irrigação.

A medição do caudal nos sulcos foi realizada através do método volumétrico directo. O método consistiu na determinação do tempo que a água levava para encher um recipiente de volume conhecido. Este método é aplicável a pequenas vazões ($Q \leq 10$ l/s); devendo ser feitas pelo menos três medições do tempo e achada com a média.

Para a medição do caudal nos sulcos, foi usado um balde de 20 litros (graduado), cronômetro e sifão de 70 mm de diâmetro. Para tal, usamos a equação:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Onde: Q – é o caudal [l/s]

V – é o volume [l]

Δt – intervalo de tempo [s]

Em cada sulco foram realizadas três (3) medições e a vazão considerada foi a média das vazões estimadas (*Anexo 2, Tabela 2.12*).

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.



Figura 10: Medição do caudal nos canais

Foi feita a medição da frente de avanço da água nos sulcos com apoio de estacas que eram posicionadas nos sulcos e registava-se o tempo que a água levava para alcançar cada estaca (*Figura 11*). As estacas estavam espaçadas à uma distância de 25 m uma da outra as quais eram feitas as leituras para garantir melhor representatividade. O tempo era controlado através do cronômetro. A água era cortada geralmente na penúltima estaca conforme a prática local, com o registo do tempo de aplicação seguindo se o registo do tempo de recessão.

Com base nas medições de campo da fase de avanço e recessão, a partir dos dados obtidos, foram derivadas as respectivas equações e obtidos os parâmetros da curva de avanço e de recessão por ajuste da curva exponencial usando o pacote excel - 2016. Para o efeito, foram realizadas 4 medições em cada campo, ou seja, as medições foram realizadas nos campos 207, 1564, 210 e 311 (*Anexo 3, Tabelas 3.1 – 3.16*). A dotação em cada ponto foi determinada pelas curvas de infiltração obtidas em cada campo correspondente.



Figura 11: Medições das frentes de avanço

3.2.2. Topografia

O levantamento topográfico nos campos e de cotas dos canais foi feita em três fases, nomeadamente a topografia da área total de produção e dos campos; medição da declividade dos canais primários e secundários e por fim, a declividade dos sulcos.

O levantamento topográfico do campo, dos canais e dos sulcos, foi realizado com recurso ao nível e mira (*Figura 12*). O trabalho consistiu em colocar estacas à distâncias previamente estabelecidas e fazia-se a leitura do ponto em relação ao nível que estava fixo num determinado ponto. Esta operação era efectuada antes da rega e o cálculo do declive fez-se com base na equação 2.23.



Figura 12: Levantamento topográfico no campo

A figura à esquerda representa o momento das medições; ao meio mostra o resultado das medições, enquanto que à direita temos a ilustração do tipo de mira usada nas medições de campo.

3.2.3. Infiltração

Para determinação da infiltração da água no solo, o autor usou o método do infiltrômetro de anel duplo. As medições foram realizadas em locais sem sinais de perturbação causados por factores ambientais, animais, trabalhadores ou equipamento agrícola, para garantir que as medições reflitam as condições reais de rega no campo.

Após a colocação dos dois anéis cravados no solo à 15 cm, colocamos água ao mesmo tempo nos dois anéis, com uma régua graduada acompanha-se a infiltração vertical no cilindro interno onde eram feitas as leituras, tal como mostra a Figura 13. O tempo era controlado através de um cronómetro. Os testes finalizavam quando a lâmina de água em função do tempo se estabilizava, ou seja, quando permanece constante.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Os testes foram realizados em quatro (4) campos diferentes, e para cada campo foram realizadas quatro (4) medições (*Anexo 5, Tabelas 5.1 – 5.16*).

Através dos dados obtidos, foi determinada usando o método de ajuste da respectiva curva a equação potencial com apoio do pacote *excel-2016 e derivados* os parâmetros K e n , equação de Kostiakov para infiltração básica.



Figura 13: Medição da infiltração no solo

3.2.4. Secção Transversal dos Canais

Para determinação da secção transversal dos canais e dos sulcos, foi usado o molinete do tipo Price (Gurley), que possui eixo vertical e é provido de conchas. As medições foram realizadas de forma aleatória em diferentes pontos ao longo dos comprimentos dos canais e sulcos medidos, que teve como finalidade o registo das profundidades e das larguras dos sulcos (*Figura 14*).



Figura 14: Determinação da secção transversal dos canais e dos sulcos

A determinação da secção transversal dos canais baseou-se no uso do método de Secção - Velocidade, onde a velocidade média é calculada a partir de velocidades medidas em alguns pontos distribuídos sobre a secção transversal (*Anexo 2, Tabelas 2.1-2.11*).

3.3. Determinação e Avaliação das Eficiências da Rega

Ao nível das parcelas de rega foram determinadas as eficiências de aplicação (E_a), eficiência de armazenamento (E_s) e eficiência de uniformidade (E_u), e depois feita a classificação da eficiência da rega como boa, razoável ou má conforme a *Tabela 2*, citado por Roscher (1985) que integra o uso destes parâmetros.

Ao nível dos canais foi determinada a eficiência de transporte nos canais primários (E_c) através da equação 2.11 e nos canais secundários (E_b) para se chegar a eficiência de distribuição, determinada pela equação: $E_d = E_c.E_b$.

A eficiência dos canais de campo (E_b), é classificada para blocos maiores e menores que 20 ha, podendo ser avaliados para canais revestidos e não revestidos, tal como mostra o *Anexo 7, Tabela 7.3*.

A eficiência do projecto (E_p) foi determinada usando a equação $E_p = E_a.E_c.E_b$ para se aferir o nível global de perdas de água na rega por sulcos. O valor da eficiência do projecto também pode ser determinado através do produto das eficiências de aplicação e de distribuição ($E_p = E_a.E_d$).

Roscher (1985), afirma que a eficiência de aplicação é classificada como má; satisfatória e boa, podendo ser avaliada em solos leves; solos de textura média e pesados (FAO, 1984). Ainda de acordo com a mesma fonte, a eficiência de distribuição é classificada como adequada; suficiente; insuficiente e muito fraca.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Declividade dos Sulcos

A Tabela 6 mostra os valores médios da declividade nos sulcos. Os dados das medições no campo são apresentados no *Anexo 4*, (*Anexo 4, Tabelas 4.5 – 4.8*). As medições nos sulcos foram realizadas nas áreas de produção 207, 210, 311 e 1564, conforme indicado no mapa do *Anexo 1, Figura 1.1*.

Tabela 6: Resultado da Medição da Declividade nos Sulcos

| Item | Campos | Comprimento (m) | Declividade (%) |
|--------|--------|-----------------|-----------------|
| Sulcos | 210 | 290 | 0.25 |
| | 311 | 250 | 0.27 |
| | 207 | 300 | 0.28 |
| | Média | | 0.27 |

Na Tabela 6, o resultado da declividade dos sulcos no campo 1564 foi ignorado devido aos prováveis erros de medição e por se encontrar desajustados em relação aos restantes valores. Note-se que a média da declividade dos sulcos é de 0,27. Este valor encontra-se dentro dos parâmetros para minimizar a erosão e eventualmente evitar a sedimentação. Pois, de acordo com Walker (1989), para os sistemas de rega por sulcos, a inclinação do terreno deve estar entre 0 à 5%.

Geralmente, a declividade do sulco segue a declividade média do terreno, podendo variar de 0.2% a 3%, mas recomenda-se não exceder a 2% para se evitar problemas potenciais de erosão (Testezlaf, 2007).

4.2. Secção transversal dos canais

As Figuras 15 e 16 abaixo mostram as secções transversais dos canais primários e secundários em estudo usados para o transporte da água; com os respectivos valores da largura e altura das secções (w e d), respectivamente.

O campo possui dois (2) canais primários com 1625 e 1710 m de comprimento, respectivamente, separados à uma distância mínima de 4000 m. Possuem uma largura média de 7.15 m e profundidade média de 1.04 m. As referidas medições foram feitas em três secções, nomeadamente no início (junto à captação), na parte intermédia e no fim do canal.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

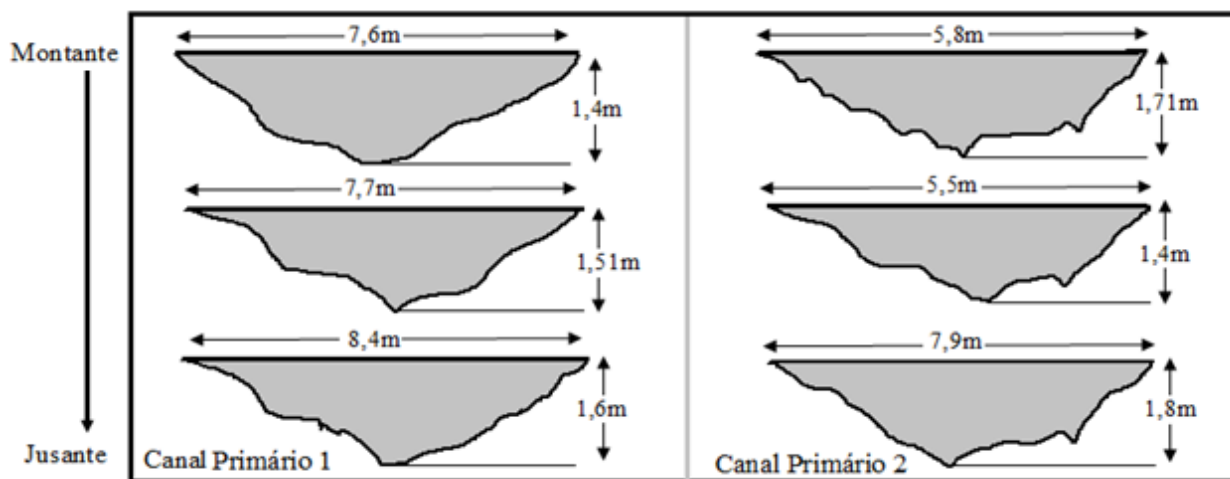


Figura 15: Geometria da secção transversal dos canais primários

A Companhia de Sena possui mais de mil e duzentos (1200) campos agrícolas com áreas que variam entre 3.0 à 41.3 ha; todos associados à um canal secundário. Os canais possuem comprimentos entre 160 à 290 m. Todas as medições foram realizadas sem o desvio do curso de água para os sulcos.

As medições foram realizadas em canais cujos comprimentos são de 215 e 235 m, respectivamente. O resultado das medições da largura e profundidade média dos canais são 1.14 e 0.3 m.

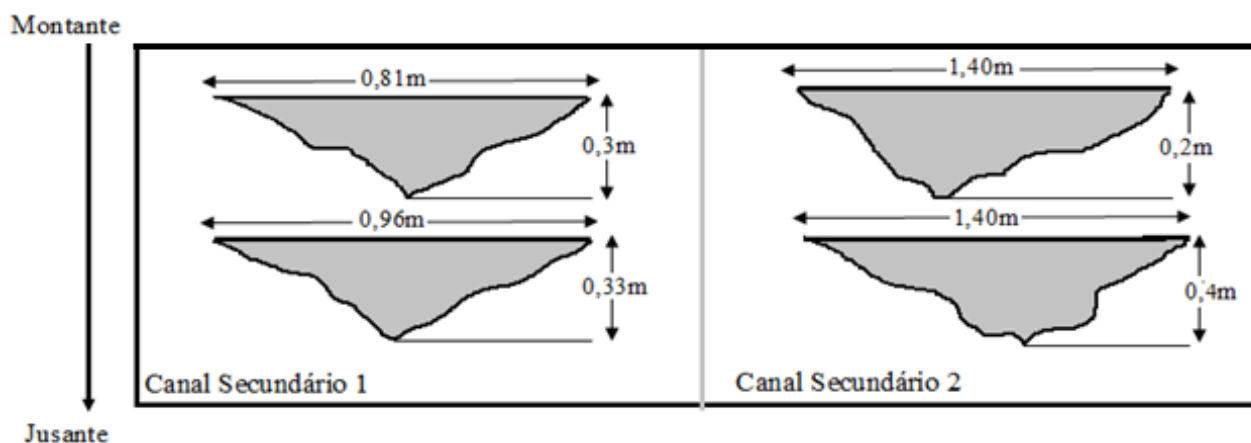


Figura 16: Geometria da secção transversal dos canais secundários

Observou-se em campo, que em média, a largura e a altura das seções transversais, em relação às margens, ao longo dos canais primários e secundários é pouco diferenciada.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

A geometria dos canais primários e secundários obtida apresenta a configuração aproximadamente triangular (*Figuras 15 e 16*). Os esboços dos perfis transversais dos canais foram obtidos como resultado da medição da profundidade e largura do canal nas medições de velocidade da água no canal usando um molinete para a determinação do caudal, conforme detalhado na secção a seguir.

A geometria da secção transversal dos canais foi obtida através do método da Secção – Velocidade. O método consistiu em calcular as vazões parciais para as subsecções formadas entre as verticais.

A geometria da secção transversal dos sulcos permitiu definir quatro (4) parâmetros tais como a largura máxima dos sulcos, largura média dos sulcos, largura da base e altura máxima dos sulcos. Assim, seguem se os dados médios, encontrados na medição dos sulcos.

- Largura máxima – 0.65 m;
- Largura média - 0.30 m;
- Largura da base – 0.20 m;
- Altura máxima – 0.25 m;

Assim, a configuração geométrica média dos sulcos é apresentada na Figura 17:

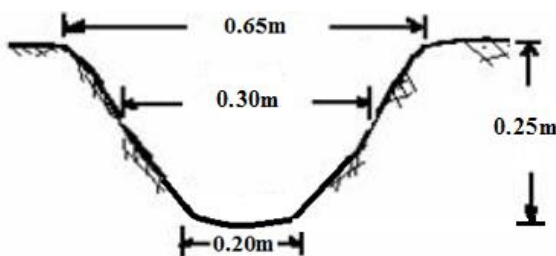


Figura 17: Secção transversal média dos sulcos

4.3. Determinação da eficiência de transporte

Para determinação da eficiência de transporte, foram realizadas medições de caudal nos canais primários e secundários. Em cada canal primário foram realizadas três (3) medições, nomeadamente: no início (junto à captação), na fase intermédia e no fim. Nos canais secundários foram efectuadas duas medições, ou seja, no início (junto à caixa de derivação) e no fim do canal. Durante a medição dos caudais nos canais secundários, não havia nenhum desvio da água para irrigação nos sulcos, desta forma, a diferença de caudal entre as secções seriam as perdas de transporte.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

A Tabela 7 mostra os valores da velocidade e dos caudais determinados nos canais primários e secundários. Os detalhes das medições no campo são apresentados no *Anexo 2, (Tabelas 2.1 à 2.11)*.

Tabela 7: Valores da Velocidade e Caudal nos Canais Primários e Secundários

| Canal | Comprimento do Canal (m) | Secção de medição | Velocidade (m/s) | Caudal (l/s) |
|----------------|--------------------------|-------------------|------------------|--------------|
| Primário - 1 | 1625 | Inicial | 0.66 | 4490 |
| | | Intermédia | 0.5 | 3795 |
| | | Final | 0.41 | 2546 |
| Primário - 2 | 1710 | Inicial | 0.82 | 6296 |
| | | Intermédia | 0.48 | 4244 |
| | | Final | 0.65 | 3767 |
| Secundário -1 | 235 | Inicial | 0.16 | 46.2 |
| | | Final | 0.14 | 20.3 |
| Secundário - 2 | 215 | Inicial | 0.13 | 34 |
| | | Final | 0.11 | 13.4 |

Os valores de velocidade encontrados na Tabela 7 para os canais primários e secundários justificam os valores propostos por Meijer (1993), segundo o qual em solos franco e em argilosos, a velocidade máxima permitida em canais de terra deve ser de 0,75 e 1,10 m/s, respectivamente (*Anexo 7, Tabela 7.1*). Porém, em canais de terra, a velocidade de 0,6 – 0,8 m/s tem sido assumida como mínima para evitar sedimentação, reduzir o crescimento da vegetação e evitar focos de doenças como bilharsiose. Em terrenos planos, por questões práticas a velocidade mínima de 0,3 m/s e entre 0,1 e 0,15 m/s, respectivamente para canais grandes e pequenos são considerados (DER, 2005).

Tanto nos canais primários, bem como secundário, o caudal que chega ao fim do mesmo, é praticamente à metade do caudal do início do canal.

Usando a equação 2.11, foi determinada a eficiência de transporte (E_c) nos canais primários e a eficiência nos canais de campo (E_b), conforme mostrado na Tabela 8:

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 8: Eficiências de Transporte nos Canais Primários e Secundários

| Canal | Comprimento do Canal (m) | Eficiências (%) | Média | Ed (%) |
|--------------------|---------------------------------|------------------------|--------------|---------------|
| Canais Primários | C. Primário - 1 | 1625 | 56.7 | 58.3 |
| | C. Primário - 2 | 1710 | 59.8 | |
| Canais Secundários | C. Secundário -1 | 235 | 43.9 | 52.8 |
| | C. Secundário - 2 | 215 | 62.5 | |

A eficiência de transporte (E_c) nos canais primários varia entre os 56,7% à 59,8%, enquanto que nos canais secundários a eficiência varia entre 43,9 e 62,5%. O valor médio da eficiência de distribuição estimada de 30,8% é considerada pela (FAO, 1984), valor muito baixo. A baixa eficiência nos canais primários deve-se a perdas por percolação “seepage” uma vez que os canais não estão revestidos.

4.4. Eficiências de rega

4.4.1. Análise da infiltração e caudal nos sulcos

Para avaliação da eficiência de rega, foram medidos os caudais nos sulcos; foi efectuada a medição da infiltração da água nos sulcos e os testes de avanço e recessão da água nos sulcos.

A medição do caudal nos sulcos foi realizado através do método volumétrico directo. Os caudais medidos variam entre os 2,5 litros/s e 4,8 litros/s para comprimento dos sulcos entre 250 m e os 300 m (*Anexo 2, Tabela 2.12*). Estes valores são altos a muito altos para os intervalos do comprimento dos sulcos e caudais (Tabela 5), conforme recomendado por Doorembos & Kassam (1994), para a rega por sulcos.

Tabela 9: Determinação da Vazão Máxima não Erosiva para Diferentes Sulcos

| Campo | Declividade (%) | Comp. dos sulcos (m) | Vazão (l/s) | Vazão máxima não erosiva (l/s) |
|--------------|------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| 207 | 0.28 | 300 | 3.4 | 2.25 |
| 210 | 0.25 | 290 | 2.51 | 2.52 |
| 311 | 0.27 | 250 | 3.17 | 2.34 |
| 1564 | 0.46 | 250 | 4.13 | 1.37 |
| Média | 0.315 | 272.5 | 3.30 | 2.12 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Os testes de infiltração foram realizados usando o método do infiltrômetro de anel duplo. Os testes foram realizados em quatro (4) campos diferentes. Em cada campo foram realizadas quatro (4) medições, em locais diferentes e separados a uma distância mínima de 100 m.

Os resultados foram tratados numa folha excell - 2016, cujos valores da infiltração acumulada e velocidade de infiltração, mostrados abaixo, foram determinados pelas equações $I_{cum} = k.T^a$ e

$$V_{inst} = \frac{dI}{dT} = k.a.T^{a-1}, \text{ respectivamente, modificadas de Kostiakov – Lewis.}$$

O resultado das medições dos parâmetros a e k , podem ser vistos na Tabela 10.

Tabela 10: Resultado da Infiltração para Diferentes Campos

| Talhão | Campos | Parâmetros | | | Tipo de solo |
|--------------|--------|--------------|-------------|----------------|-----------------|
| | | k | a | R ² | |
| 1 | 207 | 7.43 | 0.97 | 0.9852 | Franco argiloso |
| 2 | 311 | 7.92 | 0.95 | | |
| Média | | 7.675 | 0.96 | | |
| 3 | 1564 | 19.02 | 0.79 | 0.9606 | Franco argiloso |
| 4 | 210 | 22.3 | 0.75 | | |
| Média | | 20.66 | 0.77 | | |

Da tabela, as equações para infiltração acumulada média são:

$$\text{Talhão 1 e 2: } I_{cum} = 7,67.t^{0,96} \quad [\text{mm};\text{min}]$$

$$\text{Talhão 3 e 4: } I_{cum} = 20,66.t^{0,77} \quad [\text{mm};\text{min}]$$

De uma forma geral os valores de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração são próximos e mostram que os solos pertencem a mesma categoria de infiltração. A Figura 18 apresenta os valores das curvas médias de infiltração acumulada e de velocidade de infiltração para os campos estudados. Na Figura 18 a velocidade de infiltração básica é de 6,2 e 6,25 mm/hr.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

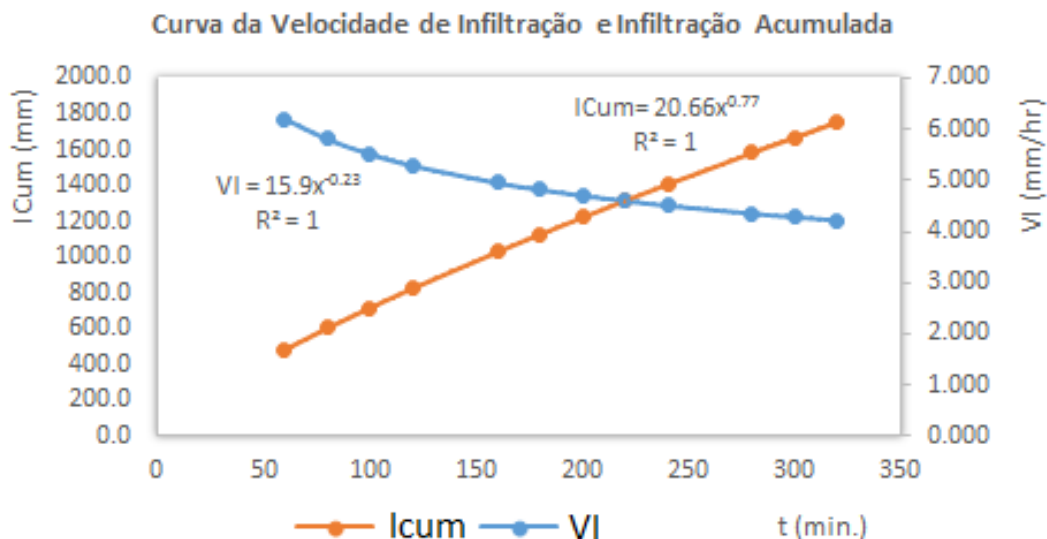


Figura 18: Curva da velocidade de infiltração e infiltração acumulada

4.4.2. Avaliação das eficiências de rega

Para determinação das eficiências de rega e para a avaliação das fases de avanço e recessão, foi usada a equação $I_{cum} = 20,66.t^{0,77}$ como representativa.

O resultado dos valores médios dos parâmetros a , n , b e k obtidos durante as medições realizadas nos quatro (4) campos, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Parâmetros da Equação de Kostiakov-Lewis, nas Frentes de Avanço e Recessão

| Campo | Avanço | | Recessão | |
|--------------|-------------|-------------|------------|---------------|
| | a | n | b | k |
| 207 | 0.21 | 1.11 | 179.2 | 0.0015 |
| 210 | 0.22 | 1.09 | 184.9 | 0.0017 |
| 311 | 0.34 | 1.06 | 182 | 0.0019 |
| 1564 | 0.45 | 1.02 | 194.4 | 0.002 |
| Média | 0.25 | 1.08 | 182 | 0.0017 |

Os valores do campo 1564 foram excluídos porque os valores de a e de b são bastante diferentes em relação aos outros campos, eventualmente devido a erros de medição, tendo sido excluídos na análise da média. Não existe nenhuma evidência deste campo ser muito diferente dos outros.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Assim, de acordo com a Tabela 11, as equações da curva de avanço e de recessão são respectivamente: $t_{av} = 0.25 \cdot x^{1.08}$ e $t_{rec} = 182 \cdot e^{0.001 \cdot x}$.

A Figura 19 apresenta as curvas média de avanço e recessão da água nos sulcos da área de estudo.

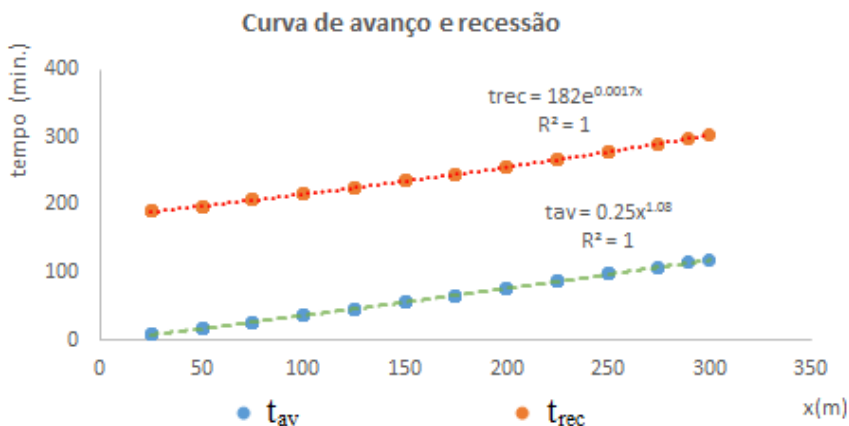


Figura 19: Curva de avanço e de recessão média para os campos estudados

A dotação média determinada em campo foi de 177 mm para o intervalo de rega habitual de 7 à 12 dias. Os valores das dotações parciais por cada campo estão apresentadas no Anexo 6 (Tabela 6.4) e foram calculadas com base nos dados do tempo de avanço e de recessão por cada campo.

Os valores de caudal à serem aplicados no sulco deverão ter em conta os valores da dotação requerida, do tipo de solo e do declive, visando evitar a erosão dos solos e elevado volume *runoff*. Para tal, devemos adequar os resultados acima, com os valores da Tabela 6, citados por Doorembos & Kassam (1994). Em solos argilosos e com sulcos de comprimento médio de 280 m, o caudal recomendado tem sido de 2 litros/s para sulcos com declive de 0.3%. O declive médio dos sulcos encontrado nas medições no campo foi de 0.27% (Tabela 7) aproxima ao recomendado por Doorembos & Kassam (1994) para este tipo de solos. No entanto, o caudal é de 3,3 l/s mais alto, mais de 50% acima do recomendado. Por outro lado, a dotação resultante da rega é também bastante alta comparativamente a dotação requerida de 50 mm (FAO, 1984), acima do dobro. Em média, o tempo de corte medido na rega foi de 127.6 minutos, com tempo de oportunidade de 188 minutos resultando numa dotação elevada.

Para reduzir o desperdício da água, o tempo de aplicação (tempo de corte) deverá ser de 62 minutos, resultando no tempo de oportunidade de infiltração de 135.5 minutos e dotação de 88.28 mm

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

(metade da dotação medida em campo). Nestas circunstâncias, a nova curva de avanço e de recessão será a proposta na Figura 20.

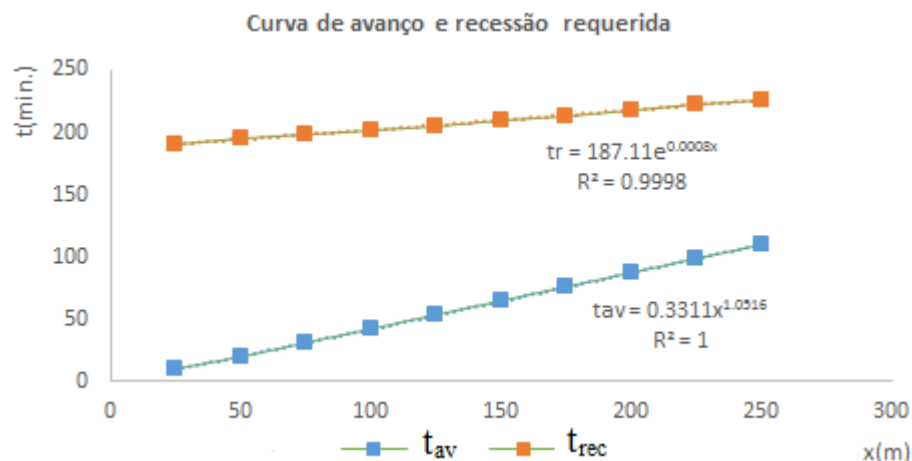


Figura 20: Curva de avanço e de recessão média (requerida) para os campos estudados

Os valores detalhados da medição da eficiência da rega no campo são apresentados no *Anexo 6* (Tabela 6.3).

Os valores médios das eficiências, são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Eficiências de rega obtidas para cada campo

| Parâmetros | Unidade | Campo de medição | | | | Média |
|-----------------------------------|---------|------------------|------|-------|------|-------|
| | | 207 | 210 | 311 | 1564 | |
| Comprimento do sulco | m | 300 | 290 | 250 | 250 | 272.5 |
| Tempo de aplicação | min. | 152.5 | 110 | 117 | 131 | 127.6 |
| Eficiência de aplicação | % | 19.13 | 25.1 | 17.08 | 12.9 | 18.5 |
| Eficiência de armazenamento | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eficiência de uniformidade | % | 99.6 | 99.9 | 99.8 | 99.9 | 99.8 |
| Perdas por percolação profunda | % | 38.9 | 18.9 | 34.2 | 41.6 | 33.4 |
| Perdas por escoamento superficial | % | 42.03 | 55.9 | 48.8 | 45.6 | 48.1 |
| Caudal | l/s | 3.2 | 3.1 | 3.65 | 4.15 | 3.5 |

Os dados da Tabela mostram que a eficiência de aplicação é bastante baixa (18,5%); na rega por sulcos a eficiência de aplicação é satisfatória entre 60 - 75%, tal como indica a Tabela 2 (Roscher, 1985). No entanto, os resultados mostram boa eficiência de uniformidade (99%) e boa eficiência de armazenamento (100%) o que mostra haver grande possibilidade de melhorar a eficiência de aplicação se for reduzida a quantidade de água aplicada. A quantidade de água pode ser reduzida diminuindo o tempo de aplicação, ou reduzindo o caudal aplicado ou ambos.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Em média, os volumes percentuais de percolação profunda e de escoamento superficial são também altos e podem ser melhorados com a implementação de práticas de campo como a redução do volume total aplicado aos sulcos.

A Tabela 13, mostra a média dos valores dos volumes nos sulcos durante a rega.

Tabela 13: Volumes médios de água nos sulcos

| Volume | Unidade | Campos de medição | | | | Média |
|--------------------------|----------------|-------------------|------|------|------|-------------|
| | | 207 | 210 | 311 | 1564 | |
| Volume aplicado/total | m ³ | 29.2 | 15.1 | 25.8 | 32.7 | 25.7 |
| Volume infiltrado | m ³ | 16.9 | 6.7 | 13.2 | 17.9 | 13.7 |
| Volume da zona radicular | m ³ | 5.13 | 3.8 | 4.14 | 4.1 | 4.3 |
| Volume percolado | m ³ | 11.8 | 2.9 | 9.12 | 13.8 | 9.4 |
| Volume <i>runoff</i> | m ³ | 12.4 | 8.5 | 12.5 | 14.7 | 12 |

O valor médio da eficiência de distribuição estimada de 30,8% é considerada pela FAO (1984), valor muito baixo. De igual forma, o valor da eficiência de aplicação para a irrigação por sulcos e tipo de solo é considerado muito baixa conforme a Tabela 2 (Roscher, 1985).

A eficiência do Projecto (Ep) foi então estimada com base nos valores da Ed (30,8%, Tabela 8) e Ea (18,5%, Tabela 12) resultando numa Ep de 5,7% que é bastante baixa para a rega por sulcos.

Os solos da Companhia de Sena apresentam capacidade de infiltração baixa, pelo que foram verificadas relativamente poucas perdas por percolação profunda e mais perdas por escoamento superficial devido aos elevados caudais aplicados para o declive médio do campo.

A Tabela 14 mostra os parâmetros de rega na situação de redução do tempo de corte o que poderá melhorar a eficiência de aplicação.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 14: Eficiência Global de rega reduzindo o tempo de aplicação

| Parâmetros | Unidade | Campo de medição | | | | Média |
|-----------------------------------|-------------------|------------------|------|------|------|--------------|
| | | 207 | 210 | 311 | 1564 | |
| Comprimento do sulco | m | 300 | 290 | 250 | 250 | 272.5 |
| Tempo de aplicação | min. | 63.5 | 60 | 63 | 60.5 | 61.8 |
| Eficiência de aplicação | % | 56.6 | 56.8 | 54.7 | 54.6 | 55.7 |
| Eficiência de armazenamento | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eficiência de uniformidade | % | 99.6 | 99.9 | 99.8 | 99.9 | 99.8 |
| Perdas por percolação profunda | % | 3.6 | 7.9 | 5 | 3.4 | 5.0 |
| Perdas por escoamento superficial | % | 39.8 | 35.1 | 40.3 | 42.0 | 39.3 |
| Caudal | m ³ /s | 1.6 | 1.5 | 1.8 | 1.81 | 1.69 |

Assumindo a redução do caudal para a metade (1,7 l/s) e reduzindo o tempo de aplicação para 62 minutos, a eficiência de aplicação poderá melhorar para mais de 56%; no entanto testes no terreno serão necessários para se apurar o grau de melhoramento.

CAPÍTULO V: CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

O trabalho foi realizado nos campos de produção da cana de açúcar da Companhia de Sena, distrito de Marromeu e teve como finalidade obter dados para determinação e avaliação das eficiências do sistema de rega por sulcos instalado.

Os resultados mostram que:

A eficiência de transporte (E_c) nos canais primários varia entre os 56,7% à 59,8%, enquanto que nos canais secundários (E_b) varia entre 43,9 e 62,5% mostrando numa baixa eficiência de transporte. A baixa eficiência nos canais primários deve-se a perdas excessivas por percolação, uma vez que os canais não estão revestidos e com baixo fluxo de água em resultado da fraca limpeza da vegetação.

Os resultados indicam ainda baixa eficiência de aplicação, 18,5%, ao nível dos campos, indicando igualmente muita perda de água por percolação profunda, 33,4% e perdas por escoamento superficial de 48,1%. O valor da eficiência de projecto (5,7%) é considerado abaixo do mínimo satisfatório para a irrigação por sulcos, o que demonstra a necessidade de mudança da estratégia de gestão da irrigação na área do projecto.

5.2. Recomendações

Com vista a se melhorar a eficiência do sistema de rega por sulcos, recomenda-se:

- ❖ Limpeza e manutenção periódica (anual) dos canais como forma de melhorar o sistema de condução e de distribuição da água. Os benefícios desta prática prendem-se pelo facto de que precisará de menor água para irrigação e para completar a fase de avanço.
- ❖ Melhor eficiência da rega poderá ser atingida fazendo testes no campo com a redução dos caudais aplicados nos sulcos e redução no tempo de aplicação de água. Por outro lado, o revestimento total ou parcial dos canais de rega poderá melhorar a eficiência de transporte, no entanto, tal possibilidade deverá ser avaliada tendo em consideração os custos de investimento necessários.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

- ❖ Como alternativa para minimizar a baixa eficiência de aplicação, propõe-se igualmente o uso de politubos janelados ou ‘lay-flats’ na rega por sulcos. Trata-se de um equipamento onde é realizado a condução, distribuição e aplicação de água nos sulcos de irrigação, cuja mangueira é de polietileno flexível onde são inseridas pequenas janelas com vazões reguláveis.

6. Referência Bibliográfica

- Allen, R. ., Pereira, L. ., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop Evapotranspiration. *FAO. Irrigation And Drainage Paper*, 56, (Rome: Fao), 299.
- Almeida, A. C. Dos S., Souza, J. L., Teodoro, I., Barbosa, G. V. S., Filho, G., & Ricardo Araujo Ferreira Junior. (2008). Vegetative Development And Production Of Sugarcane Varieties As A Function Of Water Availability And Thermic Units. *Ciênc. Agrotec.*, P. 1441–1448,.
- Andrade, D., Botrel, T., Paz, V., & Frizzone, J. (1998). Modelo Matemático Para Simulação Da Fase De Avanço Na Irrigação Por Sulcos. *Revista Brasileira De Engenharia Agricola E Ambiental*.
- Azevedo, M. A. S. B., Soares, A. A., Couto, L., & Bernardo, S. (1990). *Características De Avanço E Infiltração De Água Em Sulcos Para Os Escoamentos Contínuos E Intermitentes*. (40th Ed.). Item – Irrigação E Tecnologia Moderna.
- Banco Mundial. (2007). *Estratégia Nacional De Assistência Aos Recursos Hídricos Em Moçambique*. Maputo.
- Bernardo, S. (1995). *Manual De Irrigação*. (Viçosa, Ed.). Brasil: Imprensa Universitária.
- Bernardo, S., Soares, A. A., & Mantovani, E. C. (2002). *Manual De Irrigação*. (E. Ufv, Ed.) (8a Ed.). Universidade Federal De Viçosa.
- Brandão, V. S. (2006). *Infiltração De Água No Solo*. (E. Ufv, Ed.). Viçosa.
- Castro, N. (2001). Irrigação Por Sulcos. In *Notas De Aula De Irrigação E Drenagem – Iph*. S. Paulo: Ufrgs.
- Companhia De Sena. (2021). *Relatório Anual De Produção Da Cana De Açúcar*. Marromeu, Sofala.
- Der. (2005). Notas De Rega E Drenagem. In *Manual De Rega* (P. 11). Maputo: Universidade Eduardo Mondlane. Faef.
- Doorembos, J., & Kassam, A. H. (1994). *Efeito Da Água No Rendimento Das Culturas*. (Ufpb, Ed.) (33rd Ed.). Campina Grande: Fao. Estudos FAO. Irrigação E Drenagem.
- Dorrembos, J., & Kassam, A. H. (1981). *Yield Response To Water* (No. 33). Rome.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

- FAO. (1984). *Agroclimatological Data For Africa, Vol. I*, 504p.
- Fermino, L. De S., & Silva, H. V. (2015). *Avaliação Da Velocidade De Infiltração De Água No Solo (978-85-8084-996-7). Ix Epcc – Encontro Internacional De Produção Científica Unicesumar*. Maringá – Paraná – Brasil.
- Ferreira, V. M. (2011). *Irrigação E Drenagem*. (Caf, Ed.) (2a Ed.). S. Paulo: Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte.
- Gonçalves, L. De. (2006). *Avaliação Da Eficiência Da Rega Por Sulcos Numa Área De 16ha Para A Cultura Do Tomate No Distrinuidor – 9 Do Regadio De Chókwe*. Universidade Eduardo Mondlane. Maputo.
- Grison, F., Mota, A. De A., & Kobiyana, M. (2014). Geometria Hidráulica De Secções Transversais Do Rio Dos Bugres. *Revista Brasileira De Recursos Hidricos*, 205–213.
- Instituto Nacional De Estatistica. (2017). *Brochura Dos Resultados Definitivos Do Iv Rgph - Nacional*. (Ine, Ed.). Maputo.
- Kay, M. (1986). Surface Irrigation. System And Practice. In *Surface Irrigation*. England: Oxford: Cotsworld.
- Kramer, P. J. (1983). *Water Relations Of Plants*. New York. (A. Press, Ed.).
- Lencastre, A. (1992). *Lições De Hidrologia (2ª Edição)*. Lisboa-Portugal: Universidade Nova De Lisboa. Faculdade De Ciências E Tecnologia.
- Leviem, S. L. A. (2012). *Irrigacao Por Superficie (Uferrsa)*. Mossoro.
- Mantovani, E. C., Bernardo, S., & Soares, A. A. (2009). *Manual De Irrigação*. (Editora Ufv, Ed.) (8a Ed.). S. Paulo.
- Meijer, F. (1993). Maintenance And Improvement Activities Of Homeowners In The Netherlands. *Netherlands Journal Of Housing And Built Environment*, 8(3), 327–346.
- Mello, J. L. P. (2009). *Irrigação (1a Ed.)*. Rio De Janeiro: Ufrj.
- Ministério Da Agricultura. (2013). *Estratégia De Irrigação. Instituto De Desenvolvimento Agrário*. Maputo.
- Morgado, F., Grandão, J., Brito, J. De E, & Feiteira, J. (2011). *Canais De Rega Em Portugal*.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

- Soluções, Patologia E Reabilitação. *Teoria E Prática Na Engenharia Civil*, P. Número 17 33-47.
- Roscher, K. (1985). *Surface Irrigation; Characteristics, Design And Performance*. (Wageningen., Ed.). Netherlands: Department Of Irrigation And Civil Engineering. Agricultural University.
- Santos, I. ., Fill, H. D., Sugai, M. R. V., Buba, H., Kishi, R. T., E, M., & Lautert, L. F. C. (2001). *Hidrometria Aplicada*. (P. Lactec, Ed.). Curitiba.
- Scaloppi, E. J. (2014). *Irrigacao De Baixo Custo Em Sistemas De Pastejo Rotacionado*. (Unesp, Ed.) (Funep). Piracicaba.
- Silva, J. P. N. Da, & Silva, M. R. N. Da. (2012). *Yiels Response To Water*. (G. -Go, Ed.). Brasil: Instituto Federal De Educacao, Ciencia E Tecnologia.
- Smith, M. C. For C. (1993). *A Climatic Database For Irrigation Planning And Management*. Rome, Italy: Fao. Estudos Fao.
- Sousa, P. F. C. (2018). *Irrigação E Drenagem*. (Distribuidora Educacional S.A, Ed.) (1a Edição). Londrina.
- Sousa, F. De. (1981). *Nonlinear Hydrodynamic Model Of Furrow Irrigation*. Davis California: University Of California.
- Testezlaf, R. (2007). *Irrigação: Métodos, Sistemas E Aplicações*. (Unicamp, Ed.) (1a Ed.). Campinas: Feagri - Faculdade De Engenharia Agricola.
- Walker, W. R. (1989). *Irrigation And Dreinage. Guidelines For Designing And Evaluating Surface Irrigation Sistens*, 45. Retrieved From Utah State University
- Walker, W. (1989). *Fao Irrigation And Drainage. Departament Of Agricultural And Irrigation Engineering*, P. 45.
- Willebois, I. De. (2010). *Progresso Na África Oriental E Merridional. Fundo De Investimento De Desenvolvimento Agrário*. Roma - Italy.

ANEXOS

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Anexo 1: Mapas do Regadio com destaque para mapa dos blocos de Rega, de solos e de tipos de rega.

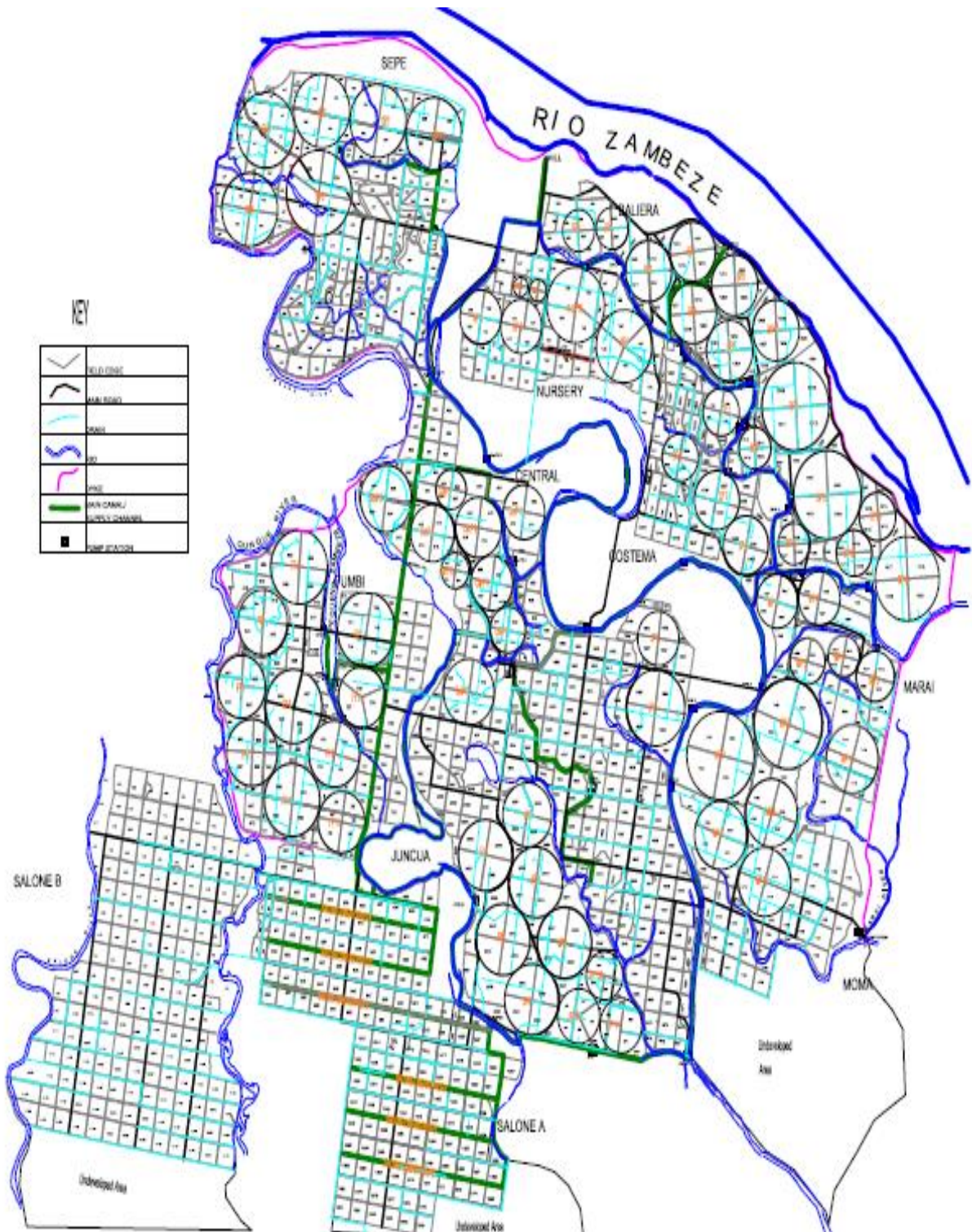
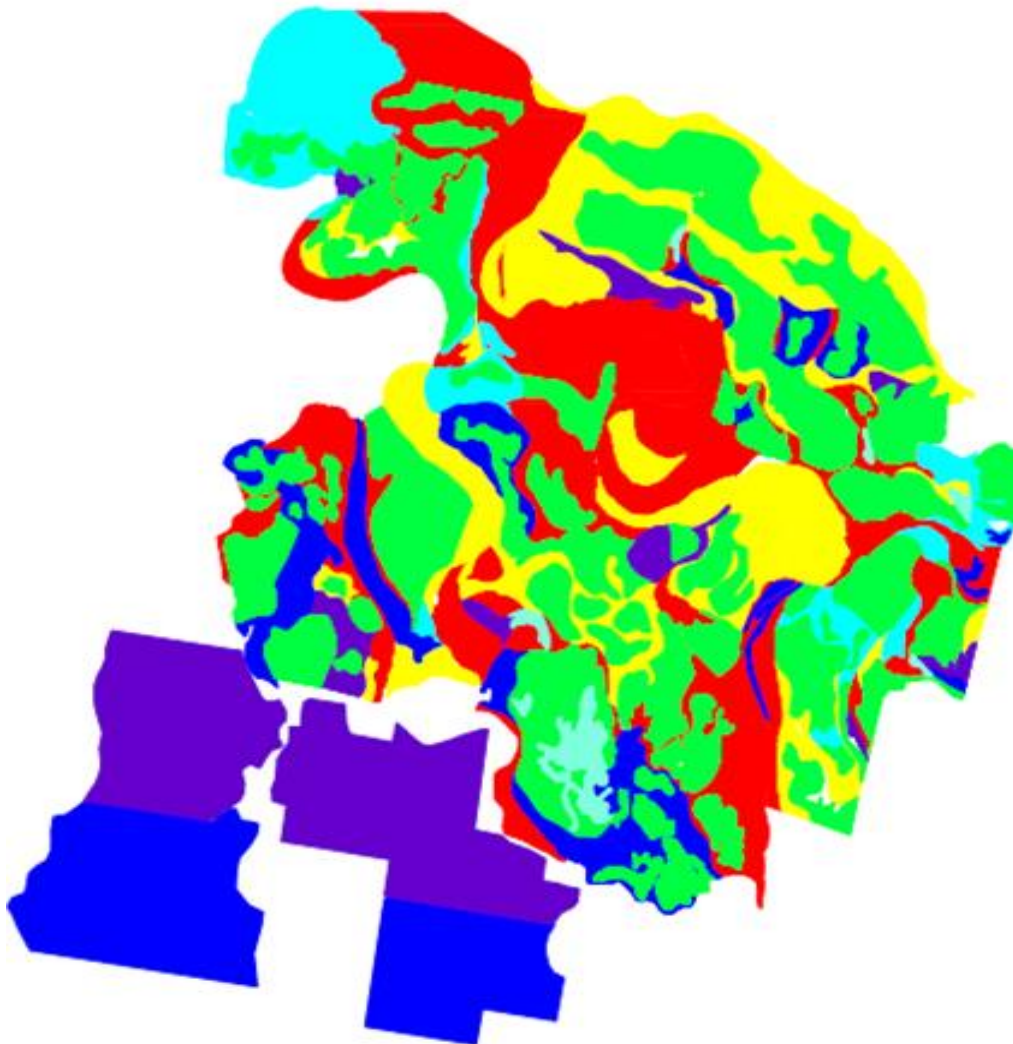









Figura 1.1: Mapa do regadio da Companhia de Sena

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.



LEGENDA

| | |
|---|--|
|  | Heavy clays homogeneous up to 120cm and more. |
|  | Heavy clays, but not too humid because of the topography. |
|  | Clays, clay loams of sand of 60cm and more, on alluvium |
|  | Clays, clay alluvium and sandy clays from 0 to 60cm over alluvium. |
|  | Clay, silty and sandy clay from 60 to 90 cm and more, |
|  | Rough alluvial clays up to 30cm over alluvial, alluvial sand and subsoil sands |
|  | Alluviums up to 30cm above sandy alluvial sands and sands |

NB: Soil Types in Salone A and B are based on reports from Agriculture observations and not from any soil survey.

Figura 1.2: Mapa de Solos do Regadio da Companhia de Sena

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.



KEY




| | | Area | | | Area |
|---|-----------|--------|--|------|--------|
|  | PIVOT | 7119ha |  | SECA | 7119ha |
|  | GRAVIDADE | 1381ha | | | |
| Total Developed Area: 15700ha | | | | | |
| Total Undeveloped Area: 2200ha | | | | | |

Figura 1.3: Mapa dos tipos de irrigação nos campos da Companhia de Sena

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Anexo 2: Medição do Caudal nos Canais e Sulcos

Medição do Caudal nos Canais

Tabela 2.1

**Canal: Primário
(início)
Canal 1**

**Caudal 4.499 m³/s
Velocidade 0.664 m/s
Àrea 6.774 m²**

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (Pi) (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média | Largura | Àrea | Caudal |
|-----------|--------------------|---------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-------------|---------|--------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.20 | 0.08 | 0.09 | 0.05 | 0.100 | 1.000 | 0.100 | 0.005 |
| 2 | 2.00 | 0.76 | 0.30 | 0.24 | 0.17 | 0.480 | 1.000 | 0.480 | 0.079 |
| 3 | 3.00 | 0.94 | 0.37 | 0.62 | 0.43 | 0.850 | 1.000 | 0.850 | 0.366 |
| 4 | 4.00 | 1.20 | 0.48 | 0.70 | 0.66 | 1.070 | 1.000 | 1.070 | 0.706 |
| 5 | 5.00 | 1.40 | 0.56 | 0.97 | 0.84 | 1.300 | 1.000 | 1.300 | 1.086 |
| 6 | 6.00 | 1.31 | 0.52 | 0.82 | 0.90 | 1.355 | 1.000 | 1.355 | 1.213 |
| 7 | 7.00 | 0.98 | 0.39 | 0.63 | 0.73 | 1.145 | 1.000 | 1.145 | 0.830 |
| MD | 7.60 | 0.60 | 0.24 | 0.28 | 0.46 | 0.790 | 0.600 | 0.474 | 0.216 |
| | | | | | | | | 6.774 | 4.499 |

Tabela 2.2.

**Canal: Primário
(início) (Meio)
Canal 1**

**Caudal 3.795 m³/s
Velocidade 0.504 m/s
Àrea 7.530 m²**

| Verticais | Dist. a Origem(m) | Prof (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical(m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média | Largura | Àrea | Caudal |
|-----------|-------------------|----------|--------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------|---------|--------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.60 | 0.24 | 0.22 | 0.11 | 0.300 | 1.000 | 0.300 | 0.033 |
| 2 | 2.00 | 1.10 | 0.44 | 0.38 | 0.30 | 0.850 | 1.000 | 0.850 | 0.255 |
| 3 | 3.00 | 1.30 | 0.52 | 0.62 | 0.50 | 1.200 | 1.000 | 1.200 | 0.600 |
| 4 | 4.00 | 1.60 | 0.24 | 0.70 | 0.66 | 1.450 | 1.000 | 1.450 | 0.957 |
| 5 | 5.00 | 1.58 | 0.63 | 0.59 | 0.65 | 1.590 | 1.000 | 1.590 | 1.026 |
| 6 | 6.00 | 0.70 | 0.28 | 0.47 | 0.53 | 1.140 | 1.000 | 1.140 | 0.604 |
| 7 | 7.00 | 0.51 | 0.20 | 0.37 | 0.42 | 0.605 | 1.000 | 0.605 | 0.254 |
| 8 | 8.00 | 0.20 | 0.04 | 0.00 | 0.19 | 0.355 | 1.000 | 0.355 | 0.066 |
| MD | 8.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.100 | 0.400 | 0.040 | 0.000 |
| | | | | | | | | 7.530 | 3.795 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela

2.3

Canal 1

Primário: (Fim)

Caudal 2.546 m³/s
 Velocidade 0.419 m/s
 Área 6.075 m²

| Verticais | Dist. a Origem(m) | Prof (Pi) (m) | Prof de observ (m/s) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média | Largura | Área | Caudal |
|-----------|-------------------|---------------|----------------------|------------------------------|--------------------------|-------------|---------|--------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.20 | 0.08 | 0.20 | 0.10 | 0.100 | 1.000 | 0.100 | 0.010 |
| 2 | 2.00 | 0.71 | 0.28 | 0.40 | 0.30 | 0.455 | 1.000 | 0.455 | 0.137 |
| 3 | 3.00 | 0.91 | 0.36 | 0.52 | 0.46 | 0.810 | 1.000 | 0.810 | 0.373 |
| 4 | 4.00 | 1.51 | 0.20 | 0.56 | 0.54 | 1.210 | 1.000 | 1.210 | 0.653 |
| 5 | 5.00 | 1.31 | 0.52 | 0.42 | 0.49 | 1.410 | 1.000 | 1.410 | 0.691 |
| 6 | 6.00 | 1.01 | 0.40 | 0.39 | 0.41 | 1.160 | 1.000 | 1.160 | 0.470 |
| 7 | 7.00 | 0.50 | 0.20 | 0.14 | 0.27 | 0.755 | 1.000 | 0.755 | 0.200 |
| MD | 7.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.250 | 0.700 | 0.175 | 0.012 |
| | | | | | | | | 6.075 | 2.546 |

Medições do Caudal no Canal primário 2

Tabela 2.4:

Canal Primário (início)

Caudal 6.296 m³/s
 Velocidade 0.822 m/s
 Área 7.66 m²

Canal 2

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (Pi) (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Área (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|---------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 1.30 | 0.52 | 0.71 | 0.36 | 0.650 | 1.000 | 0.650 | 0.231 |
| 2 | 2.00 | 1.69 | 0.67 | 0.82 | 0.77 | 1.495 | 1.000 | 1.495 | 1.144 |
| 3 | 3.00 | 1.71 | 0.68 | 0.99 | 0.91 | 1.700 | 1.000 | 1.700 | 1.539 |
| 4 | 4.00 | 1.70 | 0.68 | 1.10 | 1.05 | 1.705 | 1.000 | 1.705 | 1.782 |
| 5 | 5.00 | 1.40 | 0.56 | 0.71 | 0.91 | 1.550 | 1.000 | 1.550 | 1.403 |
| MD | 5.80 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.36 | 0.700 | 0.800 | 0.560 | 0.199 |
| | | | | | | | | 7.660 | 6.296 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 2.5:

Canal Primário: (Meio) Caudal 4.244 m³/s
 Canal 2 Velocidade 0.484 m/s
 Área 8.77 m²

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|----------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.70 | 0.28 | 0.49 | 0.25 | 0.350 | 1.000 | 0.350 | 0.086 |
| 2 | 2.00 | 0.91 | 0.36 | 0.52 | 0.51 | 0.805 | 1.000 | 0.805 | 0.407 |
| 3 | 3.00 | 1.40 | 0.56 | 0.70 | 0.61 | 1.155 | 1.000 | 1.155 | 0.705 |
| 4 | 4.00 | 1.80 | 0.72 | 0.94 | 0.82 | 1.600 | 1.000 | 1.600 | 1.312 |
| 5 | 5.00 | 1.70 | 0.68 | 0.31 | 0.63 | 1.750 | 1.000 | 1.750 | 1.094 |
| 6 | 6.00 | 1.50 | 0.60 | 0.22 | 0.27 | 1.600 | 1.000 | 1.600 | 0.424 |
| 7 | 7.00 | 0.80 | 0.32 | 0.12 | 0.17 | 1.150 | 1.000 | 1.150 | 0.196 |
| MD | 7.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.400 | 0.900 | 0.360 | 0.022 |
| | | | | | | | | 8.770 | 4.244 |

Tabela 2.6:

Canal Primário: (Fim) Caudal 3.767 m³/s
 Canal 2 Velocidade 0.657 m/s
 Área 5.73 m²

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|----------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.80 | 0.32 | 0.69 | 0.35 | 0.400 | 1.000 | 0.400 | 0.138 |
| 2 | 2.00 | 1.20 | 0.48 | 0.70 | 0.70 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 0.695 |
| 3 | 3.00 | 1.40 | 0.56 | 0.99 | 0.85 | 1.300 | 1.000 | 1.300 | 1.099 |
| 4 | 4.00 | 1.28 | 0.51 | 0.61 | 0.80 | 1.340 | 1.000 | 1.340 | 1.072 |
| 5 | 5.00 | 1.40 | 0.56 | 0.42 | 0.52 | 1.340 | 1.000 | 1.340 | 0.690 |
| MD | 5.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 0.700 | 0.500 | 0.350 | 0.074 |
| | | | | | | | | 5.730 | 3.767 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Medições do Caudal no Canal Secundário 1

Tabela 2.7:

Canal: Sec (inicio)

Caudal 0.0462 m³/s
Velocidade 0.165 m/s
Àrea 0.28 m²

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (Pi) (m) | Prof de observ (m) | vel. Média na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|---------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.40 | 0.16 | 0.33 | 0.17 | 0.200 | 1.000 | 0.200 | 0.033 |
| MD | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.200 | 0.400 | 0.080 | 0.013 |
| | | | | | | | | 0.280 | 0.046 |

Tabela 2.8:

Canal: Sec (Fim)

Caudal 0.0203 m³/s
Velocidade 0.145 m/s
Àrea 0.14 m²

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (Pi) (m) | Prof de observ (m) | vel. Média na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|---------------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.20 | 0.08 | 0.29 | 0.15 | 0.100 | 1.000 | 0.100 | 0.015 |
| MD | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.15 | 0.100 | 0.400 | 0.040 | 0.006 |
| | | | | | | | | 0.140 | 0.020 |

Tabela

2.9

Canal: Sec (inicio)

Caudal 0.0462 m³/s
Velocidade 0.165 m/s
Àrea 0.28 m²

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (m) | Prof de observ (m) | vel. Média na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|----------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 1.00 | 0.40 | 0.16 | 0.33 | 0.17 | 0.200 | 1.000 | 0.200 | 0.033 |
| MD | 1.40 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.17 | 0.200 | 0.400 | 0.080 | 0.013 |
| | | | | | | | | 0.280 | 0.046 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Medições do Caudal no Canal Secundário 2

Tabela 2.10:

Canal:
Secundário (início) **Caudal** **0.0337** **m³/s**
Canal 2 **Velocidade** **0.135** **m/s**
Área **0.2496** **m²**

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|----------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 0.48 | 0.52 | 0.13 | 0.27 | 0.14 | 0.260 | 0.480 | 0.125 | 0.017 |
| MD | 0.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.260 | 0.480 | 0.125 | 0.017 |
| | | | | | | | | 0.250 | 0.034 |

Tabela:

2.11

Canal:
Secundário: (Fim) **Caudal** **0.0134** **m³/s**
Canal 2 **Velocidade** **0.11** **m/s**
Área **0.1215** **m²**

| Verticais | Dist. a Origem (m) | Prof (m) | Prof de observ (m) | vel. Media na vertical (m/s) | Med na sec parcial (m/s) | Prof. Média (m) | Largura (m) | Àrea (m ²) | Caudal |
|-----------|--------------------|----------|--------------------|------------------------------|--------------------------|-----------------|-------------|------------------------|--------|
| ME | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 0.00 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 1 | 0.40 | 0.30 | 0.12 | 0.22 | 0.11 | 0.150 | 0.400 | 0.060 | 0.007 |
| MD | 0.81 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.150 | 0.410 | 0.062 | 0.007 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 2.11: Medição de Caudal nos Sulcos

| Campos | Comprimento dos sulcos (m) | Sulcos | Tempo (s) | Volume (l) | Caudal (l/s) |
|-------------------|-----------------------------------|---------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Campo 210 | 290 | Sulco 1 | 6.16 | 18 | 2.92 |
| | | Sulco 2 | 6.97 | 17.5 | 2.51 |
| | | Sulco 3 | 5.80 | 16 | 2.76 |
| | | sulco 4 | 4.25 | 16 | 3.76 |
| Campo 311 | 250 | Sulco 1 | 4.41 | 14 | 3.17 |
| | | Sulco 2 | 5.12 | 18.5 | 3.61 |
| | | Sulco 3 | 6.45 | 19.5 | 3.02 |
| | | Sulco 4 | 3.13 | 15 | 4.8 |
| Campo 207 | 300 | Sulco 1 | 5.77 | 15 | 2.6 |
| | | Sulco 2 | 5.86 | 17 | 2.9 |
| | | Sulco 3 | 4.12 | 14 | 3.4 |
| | | Sulco 4 | 3.81 | 16 | 4.2 |
| Campo 1564 | 250 | Sulco 1 | 4.27 | 18 | 4.22 |
| | | Sulco 2 | 6.04 | 21 | 3.48 |
| | | Sulco 3 | 2.5 | 12 | 4.8 |
| | | Sulco 4 | 5.09 | 21 | 4.13 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Anexo 3: Medição das Frentes de Avanço e Recessão nos Sulcos

Medições no Campo 207

Tabela 3.1 - Sulco nº 1

$Q_s = 2.6 \text{ l/s}$ e $w = 0.27 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|----------------------------|------|----------|--------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 290 | 290 | 0.093 | 2.40 | | |
| 2 | 25 | 17 | 297 | 280 | 0.090 | 2.32 | 349.88 | 47.88 |
| 3 | 50 | 35 | 310 | 275 | 0.088 | 2.28 | 340.68 | 38.67 |
| 4 | 75 | 53 | 326 | 273 | 0.087 | 2.26 | 336.38 | 34.37 |
| 5 | 100 | 70 | 340 | 270 | 0.086 | 2.24 | 333.31 | 31.31 |
| 6 | 125 | 92 | 351 | 259 | 0.083 | 2.15 | 324.72 | 22.71 |
| 7 | 150 | 118 | 362 | 244 | 0.078 | 2.02 | 308.76 | 6.75 |
| 8 | 175 | 137 | 374 | 237 | 0.076 | 1.96 | 295.25 | 6.75 |
| 9 | 200 | 177 | 388 | 211 | 0.068 | 1.75 | 275.00 | 27.01 |
| 10 | 225 | 197 | 401 | 204 | 0.065 | 1.69 | 254.74 | 47.26 |
| 11 | 250 | 213 | 413 | 200 | 0.064 | 1.66 | 247.99 | 54.02 |
| 12 | 275 | 229 | 422 | 193 | 0.062 | 1.60 | 241.24 | 60.77 |
| 13 | 300 | 244 | 433 | 189 | 0.060 | 1.57 | 234.48 | 67.52 |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | 3125 | 1.000 | | 302.00 | 36.52 |
| Tempo de aplicação: | | | 229 | (min.) | | | 0.302 | |
| | | | 13740 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|----------------|------|----------------|---------------------------------|
| Vt | 35.7 | m ³ | $q \cdot T(\text{corte})$ |
| Vi | 25.9 | m ³ | $V_t - V_r$ |
| Vzr | 4.9 | m ³ | $L \cdot w \cdot d(\text{req})$ |
| Vper | 21.0 | m ³ | $V_t - V_r - V_{rz}$ |
| Vr | 9.8 | m ³ | $V_{apl.} - V_{inf.}$ |
| ea | 14 | % | |
| es | 100 | % | |
| eu | 99 | % | |
| epp | 58.9 | % | |
| erunoff | 27.5 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.2 - Sulco nº 2

$Q_s = 2.9 \text{ l/s}$ e $w = 0.29 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 160 | 160 | 0.079 | 1.03 | | |
| 2 | 25 | 7 | 176 | 169 | 0.083 | 1.08 | 145.65 | 1.77 |
| 3 | 50 | 16 | 181 | 165 | 0.081 | 1.06 | 147.86 | 3.98 |
| 4 | 75 | 24 | 190 | 166 | 0.082 | 1.07 | 146.53 | 2.66 |
| 5 | 100 | 31 | 198 | 167 | 0.082 | 1.07 | 147.42 | 3.54 |
| 6 | 125 | 40 | 207 | 167 | 0.082 | 1.07 | 147.86 | 3.98 |
| 7 | 150 | 53 | 214 | 161 | 0.079 | 1.03 | 145.20 | 1.33 |
| 8 | 175 | 61 | 222 | 161 | 0.079 | 1.03 | 142.55 | 1.33 |
| 9 | 200 | 72 | 228 | 156 | 0.077 | 1.00 | 140.33 | 3.54 |
| 10 | 225 | 80 | 236 | 156 | 0.077 | 1.00 | 138.12 | 5.76 |
| 11 | 250 | 99 | 242 | 143 | 0.070 | 0.92 | 132.37 | 11.51 |
| 12 | 275 | 118 | 251 | 133 | 0.065 | 0.85 | 122.18 | 21.69 |
| 13 | 300 | 133 | 262 | 129 | 0.063 | 0.83 | 115.99 | 27.89 |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | 2033 | 1.000 | | 143.88 | 3.76 |
| Tempo de aplicação: | | | 118 | (min.) | | | 0.144 | |
| | | | 7080 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|--------|----------------|----------------|
| Vt | 20.53 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 13.05 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 5.22 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 7.83 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 7.48 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 25.42 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.78 | % | |
| epp | 38.1 | % | |
| erunoff | 36.4 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.3 - Sulco nº 3.

$Q_s = 3.4 \text{ l/s}$ e $w = 0.3 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 184 | 184 | 0.079 | 0.88 | | |
| 2 | 25 | 9 | 193 | 184 | 0.079 | 0.88 | 116.87 | 2.38 |
| 3 | 50 | 17 | 203 | 186 | 0.079 | 0.89 | 117.51 | 3.02 |
| 4 | 75 | 28 | 211 | 183 | 0.078 | 0.87 | 117.19 | 2.70 |
| 5 | 100 | 40 | 220 | 180 | 0.077 | 0.86 | 115.28 | 0.79 |
| 6 | 125 | 51 | 229 | 178 | 0.076 | 0.85 | 113.70 | 0.79 |
| 7 | 150 | 60 | 240 | 180 | 0.077 | 0.86 | 113.70 | 0.79 |
| 8 | 175 | 68 | 249 | 181 | 0.077 | 0.86 | 114.65 | 0.16 |
| 9 | 200 | 78 | 259 | 181 | 0.077 | 0.86 | 114.97 | 0.48 |
| 10 | 225 | 90 | 268 | 178 | 0.076 | 0.85 | 114.01 | 0.48 |
| 11 | 250 | 96 | 278 | 182 | 0.078 | 0.87 | 114.33 | 0.16 |
| 12 | 275 | 111 | 286 | 175 | 0.075 | 0.83 | 113.38 | 1.11 |
| 13 | 300 | 129 | 298 | 169 | 0.072 | 0.81 | 109.25 | 5.24 |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | 2341 | 1.000 | | 114.49 | 0.79 |
| Tempo de aplicação: | | | 111 | (min.) | | | 0.114 | |
| | | | 6660 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|-------|----------------|----------------|
| Vt | 22.64 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 11.15 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 5.40 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 5.75 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 11.5 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 23.85 | % | |
| es | 100.0 | % | |
| eu | 99.94 | % | |
| epp | 25.4 | % | |
| erunoff | 50.8 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

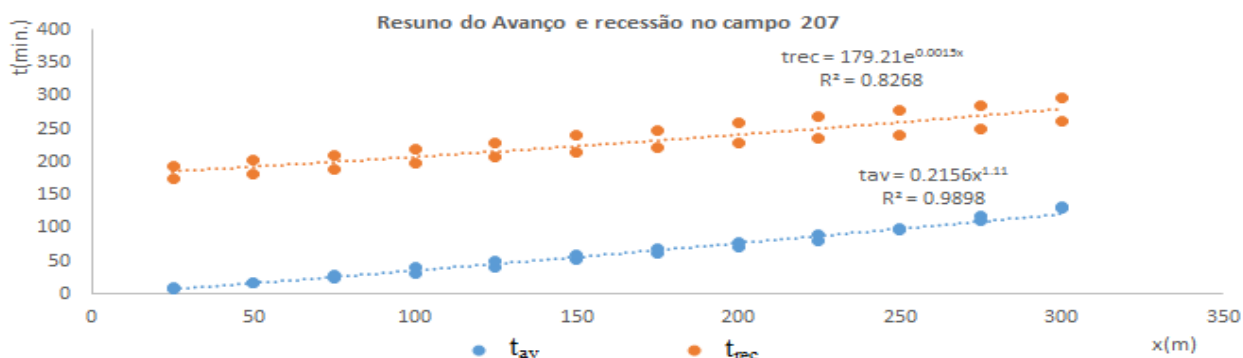
Tabela 3.4 - Sulco nº 4.

$Q_s = 4.2 \text{ l/s}$ e $w = 0.28 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 236 | 236 | 0.072 | 1.28 | | |
| 2 | 25 | 13 | 245 | 232 | 0.071 | 1.26 | 181.08 | 14.70 |
| 3 | 50 | 28 | 256 | 228 | 0.070 | 1.24 | 177.98 | 17.80 |
| 4 | 75 | 39 | 304 | 265 | 0.081 | 1.44 | 190.75 | 5.03 |
| 5 | 100 | 47 | 315 | 268 | 0.082 | 1.45 | 206.23 | 10.45 |
| 6 | 125 | 58 | 326 | 268 | 0.082 | 1.45 | 207.39 | 11.61 |
| 7 | 150 | 69 | 337 | 268 | 0.082 | 1.45 | 207.39 | 11.61 |
| 8 | 175 | 81 | 348 | 267 | 0.082 | 1.45 | 207.00 | 11.22 |
| 9 | 200 | 96 | 359 | 263 | 0.080 | 1.42 | 205.07 | 9.29 |
| 10 | 225 | 112 | 367 | 255 | 0.078 | 1.38 | 200.42 | 4.64 |
| 11 | 250 | 140 | 379 | 239 | 0.073 | 1.29 | 191.14 | 4.64 |
| 12 | 275 | 152 | 390 | 238 | 0.073 | 1.29 | 184.56 | 11.22 |
| 13 | 300 | 166 | 411 | 245 | 0.075 | 1.33 | 186.88 | 8.90 |
| 15 | | | | 3272 | 1.000 | | 195.78 | 10.83 |
| Tempo de aplicação: | | | 152 | (min.) | | | 0.196 | |
| | | | 9120 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|-------|----------------|----------------|
| Vt | 38.3 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 17.7 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 5.0 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 12.7 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 20.6 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 13.2 | % | |
| es | 100.0 | % | |
| eu | 99.5 | % | |
| epp | 33.1 | % | |
| erunoff | 53.7 | % | |



Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Medições no Campo 210

Tabela 3.5 - Sulco nº1

$Q_s = 2.92 \text{ l/s}$ e $w = 0.3 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|----------------------------|------|----------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 224 | 224 | 0.084 | 0.980 | | |
| 2 | 25 | 11 | 232 | 221 | 0.083 | 0.967 | 129.8 | 11.372 |
| 3 | 50 | 29 | 241 | 212 | 0.080 | 0.927 | 126.3 | 7.873 |
| 4 | 75 | 38 | 249 | 211 | 0.079 | 0.923 | 123.3 | 4.957 |
| 5 | 100 | 49 | 257 | 208 | 0.078 | 0.910 | 122.2 | 3.791 |
| 6 | 125 | 59 | 268 | 209 | 0.079 | 0.914 | 121.6 | 3.208 |
| 7 | 150 | 73 | 276 | 203 | 0.076 | 0.888 | 120.1 | 1.750 |
| 8 | 175 | 87 | 284 | 197 | 0.074 | 0.862 | 116.6 | 1.750 |
| 9 | 200 | 101 | 299 | 198 | 0.075 | 0.866 | 115.2 | 3.208 |
| 10 | 225 | 113 | 312 | 199 | 0.075 | 0.870 | 115.8 | 2.624 |
| 11 | 250 | 127 | 326 | 199 | 0.075 | 0.870 | 116.1 | 2.333 |
| 12 | 275 | 141 | 335 | 194 | 0.073 | 0.849 | 114.6 | 3.791 |
| 13 | 290 | 162 | 344 | 182 | 0.068 | 0.796 | 109.6 | 8.748 |
| 15 | | | | 2657 | 1.000 | | 118.4 | 3.499 |
| Tempo de aplicação: | | | 127 | (min.) | | | 0.118 | |
| | | | 7620 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|----------------|--------|----------------|---------------------------------|
| Vt | 22.25 | m ³ | $q \cdot T(\text{corte})$ |
| Vi | 11.62 | m ³ | $V_t - V_r$ |
| Vzr | 5.22 | m ³ | $L \cdot w \cdot d(\text{req})$ |
| Vper | 6.40 | m ³ | $V_t - V_r - V_{rz}$ |
| Vr | 10.63 | m ³ | $V_{apl.} - V_{inf.}$ |
| ea | 23.46 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.75 | % | |
| epp | 28.77 | % | |
| erunoff | 47.77 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.6 - Sulco nº2

$Q_s = 2.51 \text{ l/s}$ e $w = 0.28 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - Imedl |
|----------------------------|------|----------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 192 | 192 | 0.077 | 0.361 | | |
| 2 | 25 | 9 | 201 | 192 | 0.077 | 0.361 | 51.61 | 0.336 |
| 3 | 50 | 19 | 209 | 190 | 0.077 | 0.358 | 51.34 | 0.067 |
| 4 | 75 | 27 | 217 | 190 | 0.077 | 0.358 | 51.08 | 0.202 |
| 5 | 100 | 34 | 229 | 195 | 0.079 | 0.367 | 51.75 | 0.470 |
| 6 | 125 | 45 | 237 | 192 | 0.077 | 0.361 | 52.02 | 0.739 |
| 7 | 150 | 58 | 247 | 189 | 0.076 | 0.356 | 51.21 | 0.067 |
| 8 | 175 | 66 | 256 | 190 | 0.077 | 0.358 | 50.94 | 0.336 |
| 9 | 200 | 80 | 265 | 185 | 0.075 | 0.348 | 50.40 | 0.874 |
| 10 | 225 | 88 | 278 | 190 | 0.077 | 0.358 | 50.40 | 0.874 |
| 11 | 250 | 96 | 289 | 193 | 0.078 | 0.363 | 51.48 | 0.202 |
| 12 | 275 | 114 | 302 | 188 | 0.076 | 0.354 | 51.21 | 0.067 |
| 13 | 290 | 122 | 317 | 195 | 0.079 | 0.367 | 51.48 | 0.202 |
| 15 | | | | 2481 | 1.000 | | 51.28 | 0.269 |
| Tempo de aplicação: | | | 96 | (min.) | | | 0.051 | |
| | | | 5760 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|----------------|-------|----------------|-------------------------------------|
| Vt | 14.5 | m ³ | $q \cdot T(\text{corte})$ |
| Vi | 4.70 | m ³ | $Vt - Vr$ |
| Vzr | 4.70 | m ³ | $L \cdot w \cdot d(\text{req})$ |
| Vper | 0.00 | m ³ | $Vt - Vr - Vr_z$ |
| Vr | 9.8 | m ³ | $V_{\text{apl.}} - V_{\text{inf.}}$ |
| ea | 32.51 | % | |
| es | 85% | % | |
| eu | 99.96 | % | |
| epp | 0.00 | % | |
| erunoff | 67.71 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.7 - Sulco nº 3

$Q_s = 2.7 \text{ l/s}$ e $w = 0.29 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 181 | 181 | 0.078 | 0.67 | | |
| 2 | 25 | 8 | 189 | 181 | 0.078 | 0.67 | 91.84 | 0.63 |
| 3 | 50 | 15 | 195 | 180 | 0.077 | 0.66 | 91.59 | 0.38 |
| 4 | 75 | 29 | 206 | 177 | 0.076 | 0.65 | 90.57 | 0.63 |
| 5 | 100 | 35 | 217 | 182 | 0.078 | 0.67 | 91.08 | 0.13 |
| 6 | 125 | 47 | 228 | 181 | 0.078 | 0.67 | 92.09 | 0.89 |
| 7 | 150 | 57 | 237 | 180 | 0.077 | 0.66 | 91.59 | 0.38 |
| 8 | 175 | 68 | 245 | 177 | 0.076 | 0.65 | 90.57 | 0.63 |
| 9 | 200 | 79 | 261 | 182 | 0.078 | 0.67 | 91.08 | 0.13 |
| 10 | 225 | 90 | 278 | 188 | 0.081 | 0.69 | 93.87 | 2.66 |
| 11 | 250 | 112 | 284 | 172 | 0.074 | 0.63 | 91.33 | 0.13 |
| 12 | 275 | 119 | 295 | 176 | 0.075 | 0.65 | 88.29 | 2.92 |
| 13 | 290 | 126 | 303 | 177 | 0.076 | 0.65 | 89.56 | 1.65 |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | 2334 | 1.000 | | 91.21 | 0.63 |
| Tempo de aplicação: | | | 112 | (min.) | | | 0.091 | |
| | | | 6720 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|-------|----------------|----------------|
| Vt | 18.1 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 8.6 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 5.0 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 3.5 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 9.6 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 27.8 | % | |
| es | 100.0 | % | |
| eu | 99.9 | % | |
| epp | 19.5 | % | |
| erunoff | 52.7 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

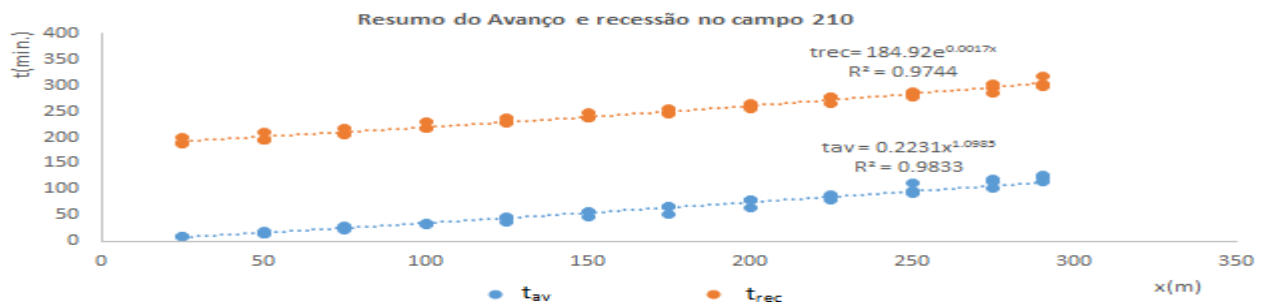
Tabela 3.8 - Sulco nº 4

$Q_s = 3.7 \text{ l/s}$ e $w = 0.28 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 181 | 181 | 0.075 | 0.49 | | |
| 2 | 25 | 8 | 187 | 179 | 0.074 | 0.49 | 69.81 | 2.52 |
| 3 | 50 | 14 | 196 | 182 | 0.075 | 0.49 | 70.00 | 2.33 |
| 4 | 75 | 21 | 208 | 187 | 0.077 | 0.51 | 71.55 | 0.78 |
| 5 | 100 | 31 | 217 | 186 | 0.077 | 0.50 | 72.33 | 0.00 |
| 6 | 125 | 36 | 231 | 195 | 0.080 | 0.53 | 73.88 | 1.55 |
| 7 | 150 | 48 | 239 | 191 | 0.079 | 0.52 | 74.85 | 2.52 |
| 8 | 175 | 52 | 247 | 195 | 0.080 | 0.53 | 74.85 | 2.52 |
| 9 | 200 | 65 | 255 | 190 | 0.078 | 0.52 | 74.66 | 2.33 |
| 10 | 225 | 79 | 266 | 187 | 0.077 | 0.51 | 73.10 | 0.78 |
| 11 | 250 | 91 | 277 | 186 | 0.077 | 0.50 | 72.33 | 0.00 |
| 12 | 275 | 102 | 285 | 183 | 0.075 | 0.50 | 71.55 | 0.78 |
| 13 | 290 | 115 | 299 | 184 | 0.076 | 0.50 | 71.17 | 1.16 |
| 15 | | | | 2426 | 1.000 | | 72.33 | 1.36 |
| Tempo de aplicação: | | | 91 | (min.) | | | 0.072 | |
| | | | 5460 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|-------|----------------|----------------|
| Vt | 20.2 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 6.6 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 4.9 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 1.7 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 13.6 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 24.1 | % | |
| es | 100.0 | % | |
| eu | 99.8 | % | |
| epp | 8.5 | % | |
| erunoff | 67.4 | % | |



Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Medições no Campo 311

Tabela 3.9 - Sulco nº 1

$Q_s = 3.17$ l/s e $w = 0.29$ m

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|----------------------------|------|----------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 181 | 181 | 0.098 | 1.39 | | |
| 2 | 25 | 13 | 192 | 179 | 0.097 | 1.38 | 191.34 | 11.96 |
| 3 | 50 | 31 | 205 | 174 | 0.094 | 1.34 | 187.62 | 8.24 |
| 4 | 75 | 48 | 219 | 171 | 0.092 | 1.32 | 183.37 | 3.99 |
| 5 | 100 | 59 | 230 | 171 | 0.092 | 1.32 | 181.77 | 2.39 |
| 6 | 125 | 72 | 243 | 171 | 0.092 | 1.32 | 181.77 | 2.39 |
| 7 | 150 | 93 | 255 | 162 | 0.088 | 1.25 | 176.99 | 2.39 |
| 8 | 175 | 105 | 267 | 162 | 0.088 | 1.25 | 172.20 | 7.18 |
| 9 | 200 | 118 | 279 | 161 | 0.087 | 1.24 | 171.67 | 7.71 |
| 10 | 225 | 128 | 288 | 160 | 0.086 | 1.23 | 170.61 | 8.77 |
| 11 | 250 | 140 | 299 | 159 | 0.086 | 1.23 | 169.55 | 9.83 |
| 14 | | | | 1851 | 1.000 | | 179.38 | 7.44 |
| 15 | | | | | | | 0.179 | |
| Tempo de aplicação: | | | 128 | (min.) | | | | |
| | | | 7680 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|----------------|-------|----------------|-------------------------------------|
| Vt | 24.3 | m ³ | $q \cdot T(\text{corte})$ |
| Vi | 14.3 | m ³ | $Vt - Vr$ |
| Vzr | 4.4 | m ³ | $L \cdot w \cdot d(\text{req})$ |
| Vper | 9.9 | m ³ | $Vt - Vr - Vr_z$ |
| Vr | 10.1 | m ³ | $V_{\text{apl.}} - V_{\text{inf.}}$ |
| ea | 17.9 | % | |
| es | 100.0 | % | |
| eu | 99.6 | % | |
| epp | 40.7 | % | |
| erunoff | 41.4 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.10 - Sulco nº 2

$Q_s = 3.61 \text{ l/s}$ e $w = 0.27 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|----------------------------|------|----------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 180 | 180 | 0.093 | 1.40 | | |
| 2 | 25 | 9 | 191 | 182 | 0.094 | 1.42 | 208.57 | 0.86 |
| 3 | 50 | 16 | 202 | 186 | 0.096 | 1.45 | 212.03 | 2.59 |
| 4 | 75 | 27 | 213 | 186 | 0.096 | 1.45 | 214.33 | 4.90 |
| 5 | 100 | 39 | 221 | 182 | 0.094 | 1.42 | 212.03 | 2.59 |
| 6 | 125 | 50 | 233 | 183 | 0.094 | 1.42 | 210.30 | 0.86 |
| 7 | 150 | 63 | 246 | 183 | 0.094 | 1.42 | 210.88 | 1.44 |
| 8 | 175 | 78 | 257 | 179 | 0.092 | 1.39 | 208.57 | 0.86 |
| 9 | 200 | 102 | 269 | 167 | 0.086 | 1.30 | 199.35 | 10.08 |
| 10 | 225 | 121 | 279 | 158 | 0.081 | 1.23 | 187.25 | 22.18 |
| 11 | 250 | 134 | 288 | 154 | 0.079 | 1.20 | 179.76 | 29.67 |
| 14 | | | | 1940 | 1.000 | | 209.44 | 2.59 |
| 15 | | | | | | | 0.209 | |
| Tempo de aplicação: | | | 121 | (min.) | | | | |
| | | | 7260 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|--------|----------------|----------------|
| Vt | 26.21 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 15.09 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 4.05 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 11.04 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 11.12 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 15.45 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.88 | % | |
| epp | 42.1 | % | |
| erunoff | 42.4 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.11 – Sulco nº 3

$Q_s = 3.02 \text{ l/s}$ e $w = 0.28 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - ImedI |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 171 | 171 | 0.091 | 0.68 | | |
| 2 | 25 | 11 | 182 | 171 | 0.091 | 0.68 | 97.79 | 0.00 |
| 3 | 50 | 24 | 193 | 169 | 0.090 | 0.68 | 97.22 | 0.57 |
| 4 | 75 | 37 | 204 | 167 | 0.089 | 0.67 | 96.08 | 1.72 |
| 5 | 100 | 40 | 215 | 175 | 0.093 | 0.70 | 97.79 | - |
| 6 | 125 | 54 | 224 | 170 | 0.090 | 0.68 | 98.65 | 0.86 |
| 7 | 150 | 62 | 231 | 169 | 0.090 | 0.68 | 96.93 | 0.86 |
| 8 | 175 | 77 | 247 | 170 | 0.090 | 0.68 | 96.93 | 0.86 |
| 9 | 200 | 81 | 261 | 180 | 0.095 | 0.72 | 100.08 | 2.29 |
| 10 | 225 | 98 | 273 | 175 | 0.093 | 0.70 | 101.51 | 3.72 |
| 11 | 250 | 116 | 285 | 169 | 0.090 | 0.68 | 98.36 | 0.57 |
| 14 | | | | 1886 | 1.000 | | 97.79 | 0.86 |
| 15 | | | | | | | 0.098 | |
| Tempo de aplicação: | | | 98 | (min.) | | | | |
| | | | 5880 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|--------|----------------|----------------|
| Vt | 17.8 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 7.6 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 4.2 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 3.35 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 10.21 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 23.65 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.91 | % | |
| epp | 18.9 | % | |
| erunoff | 57.5 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

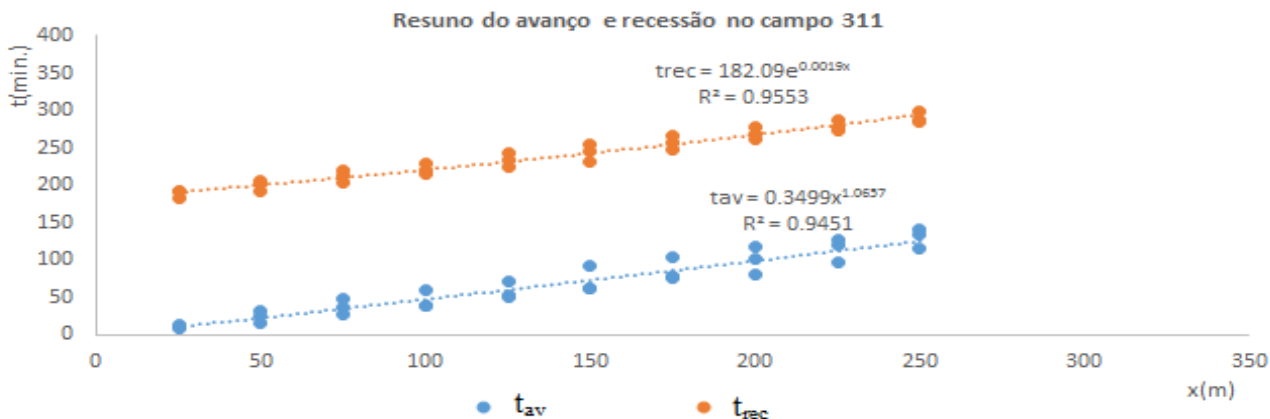
Tabela 3.12 – Sulco nº 4

$Q_s = 4.8 \text{ l/s}$ e $w = 0.26 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|----------------------------|------|----------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 201 | 201 | 0.091 | 1.46 | | |
| 2 | 25 | 19 | 214 | 195 | 0.088 | 1.42 | 221.30 | 4.75 |
| 3 | 50 | 28 | 226 | 198 | 0.089 | 1.44 | 219.62 | 6.43 |
| 4 | 75 | 35 | 238 | 203 | 0.091 | 1.47 | 224.09 | 1.96 |
| 5 | 100 | 46 | 249 | 203 | 0.091 | 1.47 | 226.89 | 0.84 |
| 6 | 125 | 59 | 260 | 201 | 0.091 | 1.46 | 225.77 | 0.28 |
| 7 | 150 | 70 | 281 | 211 | 0.095 | 1.53 | 230.24 | 4.19 |
| 8 | 175 | 88 | 296 | 208 | 0.094 | 1.51 | 234.15 | 8.10 |
| 9 | 200 | 102 | 307 | 205 | 0.092 | 1.49 | 230.80 | 4.75 |
| 10 | 225 | 121 | 321 | 200 | 0.090 | 1.45 | 226.33 | 0.28 |
| 11 | 250 | 139 | 334 | 195 | 0.088 | 1.42 | 220.74 | 5.31 |
| 14 | | | | 2220 | 1.000 | | 226.05 | 4.47 |
| 15 | | | | | | | 0.23 | |
| Tempo de aplicação: | | | 121 | (min.) | | | | |
| | | | 7260 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|--------|----------------|----------------|
| Vt | 34.8 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 16.13 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 3.9 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 12.2 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 18.72 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 11.19 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.8 | % | |
| epp | 35.1 | % | |
| erunoff | 53.7 | % | |



Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Medições no Campo 1564

Tabela 3.13 – Sulco nº 4

$Q_s = 4.2 \text{ l/s}$ e $w = 0.26 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 226 | 226 | 0.100 | 2.44 | | |
| 2 | 25 | 21 | 235 | 214 | 0.095 | 2.31 | 365.18 | 9.54 |
| 3 | 50 | 33 | 248 | 215 | 0.096 | 2.32 | 356.05 | 0.41 |
| 4 | 75 | 40 | 259 | 219 | 0.097 | 2.36 | 360.20 | 4.56 |
| 5 | 100 | 56 | 270 | 214 | 0.095 | 2.31 | 359.37 | 3.73 |
| 6 | 125 | 66 | 281 | 215 | 0.096 | 2.32 | 356.05 | 0.41 |
| 7 | 150 | 79 | 292 | 213 | 0.095 | 2.30 | 355.22 | 0.41 |
| 8 | 175 | 98 | 302 | 204 | 0.091 | 2.20 | 346.09 | 9.54 |
| 9 | 200 | 128 | 314 | 186 | 0.083 | 2.01 | 323.68 | 31.95 |
| 10 | 225 | 152 | 329 | 177 | 0.079 | 1.91 | 301.27 | 54.36 |
| 11 | 250 | 171 | 338 | 167 | 0.074 | 1.80 | 285.50 | 70.13 |
| 14 | | | | 2250 | 1.000 | | 355.63 | 7.05 |
| 15 | | | | | | | 0.356 | |
| Tempo de aplicação: | | | 152 | (min.) | | | | |
| | | | 9120 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|----------------|--------|----------------|-------------------------------------|
| Vt | 38.30 | m ³ | $q \cdot T(\text{corte})$ |
| Vi | 24.28 | m ³ | $V_t - V_r$ |
| Vzr | 3.9 | m ³ | $L \cdot w \cdot d(\text{req})$ |
| Vper | 20.38 | m ³ | $V_t - V_r - V_{rz}$ |
| Vr | 14.03 | m ³ | $V_{\text{apl.}} - V_{\text{inf.}}$ |
| ea | 10.18 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.80 | % | |
| epp | 53.20 | % | |
| erunoff | 36.62 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.14 – Sulco nº 2

$Q_s = 3.48 \text{ l/s}$ e $w = 0.28\text{m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 199 | 199 | 0.095 | 1.34 | | |
| 2 | 25 | 9 | 208 | 199 | 0.095 | 1.34 | 191.54 | 6.74 |
| 3 | 50 | 21 | 219 | 198 | 0.094 | 1.33 | 191.06 | 6.26 |
| 4 | 75 | 33 | 230 | 197 | 0.094 | 1.33 | 190.10 | 5.29 |
| 5 | 100 | 46 | 241 | 195 | 0.093 | 1.31 | 188.65 | 3.85 |
| 6 | 125 | 61 | 254 | 193 | 0.092 | 1.30 | 186.73 | 1.93 |
| 7 | 150 | 79 | 266 | 187 | 0.089 | 1.26 | 182.88 | 1.93 |
| 8 | 175 | 89 | 279 | 190 | 0.091 | 1.28 | 181.43 | 3.37 |
| 9 | 200 | 101 | 288 | 187 | 0.089 | 1.26 | 181.43 | 3.37 |
| 10 | 225 | 127 | 301 | 174 | 0.083 | 1.17 | 173.73 | 11.07 |
| 11 | 250 | 142 | 320 | 178 | 0.085 | 1.20 | 169.40 | 15.40 |
| 14 | | | | 2097 | 1.000 | | 184.80 | 4.57 |
| 15 | | | | | | | 0.185 | |
| Tempo de aplicação: | | | 127 | (min.) | | | | |
| | | | 7620 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|----------------|-------|----------------|-------------------------------------|
| Vt | 26.5 | m ³ | $q \cdot T(\text{corte})$ |
| Vi | 14.1 | m ³ | $V_t - V_r$ |
| Vzr | 4.2 | m ³ | $L \cdot w \cdot d(\text{req})$ |
| Vper | 9.9 | m ³ | $V_t - V_r - V_{rz}$ |
| Vr | 12.39 | m ³ | $V_{\text{apl.}} - V_{\text{inf.}}$ |
| ea | 15.8 | % | |
| es | 100.0 | % | |
| eu | 99.8 | % | |
| epp | 37.4 | % | |
| erunoff | 46.7 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 3.15 – Sulco nº 3

$Q_s = 4.8 \text{ l/s}$ e $w = 0.27 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|---------------------|------|----------|---------|------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 196 | 196 | 0.095 | 1.82 | | |
| 2 | 25 | 17 | 205 | 188 | 0.091 | 1.75 | 264.47 | 4.48 |
| 3 | 50 | 29 | 217 | 188 | 0.091 | 1.75 | 258.96 | 1.03 |
| 4 | 75 | 38 | 229 | 191 | 0.092 | 1.78 | 261.03 | 1.03 |
| 5 | 100 | 49 | 237 | 188 | 0.091 | 1.75 | 261.03 | 1.03 |
| 6 | 125 | 61 | 249 | 188 | 0.091 | 1.75 | 258.96 | 1.03 |
| 7 | 150 | 71 | 263 | 192 | 0.093 | 1.79 | 261.72 | 1.72 |
| 8 | 175 | 90 | 281 | 191 | 0.092 | 1.78 | 263.78 | 3.79 |
| 9 | 200 | 114 | 298 | 184 | 0.089 | 1.71 | 258.27 | 1.72 |
| 10 | 225 | 127 | 305 | 178 | 0.086 | 1.66 | 249.32 | 10.68 |
| 11 | 250 | 136 | 317 | 181 | 0.088 | 1.68 | 247.25 | 12.74 |
| 14 | | | | 2065 | 1.000 | | 259.99 | 1.72 |
| 15 | | | | | | | 0.260 | |
| Tempo de aplicação: | | | 127 | (min.) | | | | |
| | | | 7620 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|---------|--------|----------------|----------------|
| Vt | 36.58 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 19.20 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 4.05 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 15.15 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 17.38 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 11.07 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.93 | % | |
| epp | 41.42 | % | |
| erunoff | 47.51 | % | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

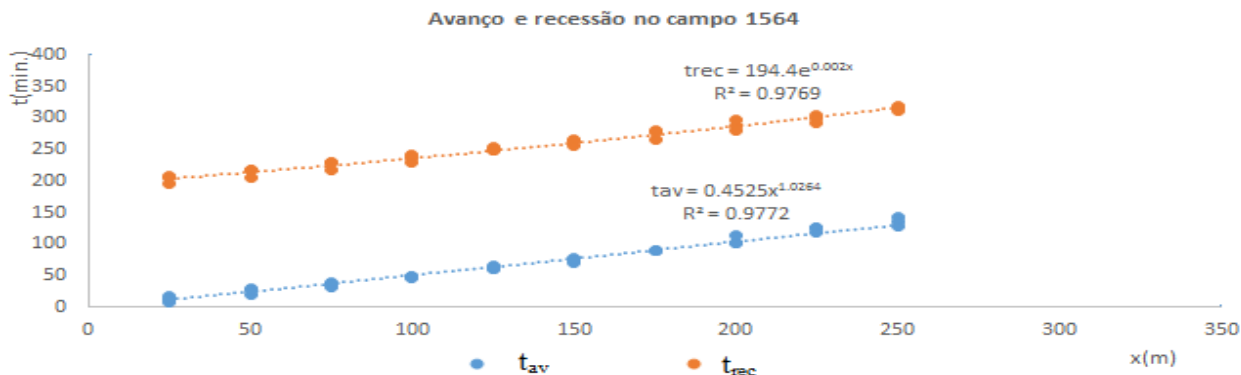
Tabela 3.16 – Sulco nº 4

$Q_s = 4.13 \text{ l/s}$ e $w = 0.28 \text{ m}$

| Estacas | x(m) | tav(min) | tr(min) | To(min) | % de ponderação | Vol. inf. no ponto (m ³) | Água Inf. (mm) | II - lmedl |
|----------------------------|------|----------|-------------|-------------------|-----------------|--------------------------------------|----------------|------------|
| 1 | 0 | 0 | 186 | 186 | 0.094 | 1.34 | | |
| 2 | 25 | 14 | 197 | 183 | 0.093 | 1.31 | 189.31 | 5.90 |
| 3 | 50 | 27 | 206 | 179 | 0.090 | 1.29 | 185.72 | 2.31 |
| 4 | 75 | 39 | 217 | 178 | 0.090 | 1.28 | 183.16 | 0.26 |
| 5 | 100 | 50 | 229 | 179 | 0.090 | 1.29 | 183.16 | 0.26 |
| 6 | 125 | 66 | 248 | 182 | 0.092 | 1.31 | 185.21 | 1.80 |
| 7 | 150 | 76 | 256 | 180 | 0.091 | 1.29 | 185.72 | 2.31 |
| 8 | 175 | 89 | 267 | 178 | 0.090 | 1.28 | 183.67 | 0.26 |
| 9 | 200 | 103 | 280 | 177 | 0.089 | 1.27 | 182.13 | 1.28 |
| 10 | 225 | 118 | 292 | 174 | 0.088 | 1.25 | 180.08 | 3.33 |
| 11 | 250 | 129 | 311 | 182 | 0.092 | 1.31 | 182.64 | 0.77 |
| 14 | | | | 1978 | 1.000 | | 183.41 | 1.54 |
| 15 | | | | | | | 0.183 | |
| Tempo de aplicação: | | | 118 | (min.) | | | | |
| | | | 7080 | (segundos) | | | | |

Cálculo das eficiências

| | | | |
|------|--------|----------------|----------------|
| Vt | 29.24 | m ³ | q · T(corte) |
| Vi | 14.21 | m ³ | Vt - Vr |
| Vzr | 4.2 | m ³ | L · w · d(req) |
| Vper | 10.01 | m ³ | Vt - Vr - Vzr |
| Vr | 15.03 | m ³ | Vapl.-Vinf. |
| ea | 14.36 | % | |
| es | 100.00 | % | |
| eu | 99.92 | % | |
| epp | 34.22 | % | |



Anexo 4: Dados do Levantamento Topográfico

DECLIVIDADE DOS CANAIS PRIMÁRIOS

Tabela 4.1: Canal Primário 1

| Estacas | L (m) | Cota (m) | Decliv (%) |
|------------------------------|---------|----------|------------|
| 1 | 0 | 13 | 0.00% |
| 2 | 406.25 | 11.7 | 0.32% |
| 3 | 812.5 | 10.8 | 0.22% |
| 4 | 1218.75 | 9.9 | 0.22% |
| 5 | 1625 | 9.4 | 0.12% |
| Declividade da estaca 1 à 5: | | | 0.22% |

Tabela 4.2: Canal Primário 2

| Estacas | L (m) | Cota (m) | Decliv (%) |
|------------------------------|--------|----------|------------|
| 1 | 0 | 12.7 | 0.00% |
| 2 | 562.25 | 11.3 | 0.25% |
| 3 | 1110.8 | 10.2 | 0.20% |
| 4 | 1644.8 | 9.1 | 0.21% |
| 5 | 1710 | 7.8 | 1.99% |
| Declividade da estaca 1 à 5: | | | 0.29% |

DECLIVIDADE DOS CANAIS SECUNDÁRIOS

Tabela 4.3: Canal Secundário 1

(Campo 1564)

| Estacas | L (m) | Cota (m) | Decliv (%) |
|-------------|-------|----------|------------|
| 1 | 0 | 13.81 | 0.00% |
| 2 | 40 | 13.72 | 0.23% |
| 3 | 80 | 13.66 | 0.15% |
| 4 | 120 | 13.58 | 0.20% |
| 5 | 160 | 13.5 | 0.20% |
| 6 | 200 | 13.42 | 0.20% |
| 7 | 240 | 13.34 | 0.20% |
| 8 | 286 | 13.23 | 0.24% |
| Declividade | | | 0.20% |

Tabela 4.4: Canal Secundário 2

(Campo 207)

| Estacas | L (m) | Cota (m) | Decliv (%) |
|-------------|-------|----------|------------|
| 1 | 0 | 12.8 | 0.00% |
| 2 | 35 | 12.76 | 0.11% |
| 3 | 70 | 12.66 | 0.29% |
| 4 | 105 | 12.58 | 0.23% |
| 5 | 140 | 12.46 | 0.34% |
| 6 | 175 | 12.32 | 0.40% |
| 7 | 215 | 12.18 | 0.35% |
| Declividade | | | 0.29 |

DECLIVIDADE DOS SULCOS

Tabela 4.5: Campo 207 – Sulco 3

| Estacas | x(m) | Cota(m) | Decliv (%) |
|-------------------------------|------|---------|------------|
| 1 | 0 | 12.20 | 0% |
| 2 | 25 | 12.08 | 0.48% |
| 3 | 50 | 11.91 | 0.68% |
| 4 | 75 | 11.88 | 0.12% |
| 5 | 100 | 11.81 | 0.28% |
| 6 | 125 | 11.74 | 0.28% |
| 7 | 150 | 11.60 | 0.56% |
| 8 | 175 | 11.56 | 0.16% |
| 9 | 200 | 11.50 | 0.24% |
| 10 | 225 | 11.48 | 0.08% |
| 11 | 250 | 11.45 | 0.12% |
| 12 | 275 | 11.41 | 0.16% |
| 13 | 300 | 11.35 | 0.24% |
| Declividade da estaca 1 à 13: | | | 0.28% |

Tabela 4.6: Campo 210 – Sulco 2

| Estacas | x(m) | Cota(m) | Decliv (%) |
|-------------------------------|------|---------|------------|
| 1 | 0 | 12.00 | 0.00% |
| 2 | 25 | 11.92 | 0.32% |
| 3 | 50 | 11.80 | 0.48% |
| 4 | 75 | 11.68 | 0.48% |
| 5 | 100 | 11.58 | 0.40% |
| 6 | 125 | 11.51 | 0.28% |
| 7 | 150 | 11.46 | 0.20% |
| 8 | 175 | 11.42 | 0.16% |
| 9 | 200 | 11.39 | 0.12% |
| 10 | 225 | 11.37 | 0.08% |
| 11 | 250 | 11.35 | 0.08% |
| 12 | 275 | 11.32 | 0.12% |
| 13 | 290 | 11.28 | 0.27% |
| Declividade da estaca 1 à 13: | | | 0.25% |

Tabela 4.7: Campo 311 – Sulco 1

| Estacas | x(m) | Cota(m) | Decliv (%) |
|------------------------------|------|---------|------------|
| 1 | 0 | 12.60 | 0% |
| 2 | 25 | 12.51 | 0.36% |
| 3 | 50 | 12.42 | 0.36% |
| 4 | 75 | 12.30 | 0.48% |
| 5 | 100 | 12.22 | 0.32% |
| 6 | 125 | 12.16 | 0.24% |
| 7 | 150 | 12.08 | 0.32% |
| 8 | 175 | 12.01 | 0.28% |
| 9 | 200 | 11.98 | 0.12% |
| 10 | 225 | 11.95 | 0.12% |
| 11 | 250 | 11.92 | 0.12% |
| Declividade da estaca 1 à 11 | | | 0.27% |

Tabela 4.8: Campo 1564 – Sulco 4

| Estacas | x(m) | Cota(m) | Decliv (%) |
|----------------------------------|------|---------|------------|
| 1 | 0 | 12.30 | 0% |
| 2 | 25 | 12.24 | 0.24% |
| 3 | 50 | 12.13 | 0.44% |
| 4 | 75 | 12.03 | 0.40% |
| 5 | 100 | 11.51 | 2.08% |
| 6 | 125 | 11.46 | 0.20% |
| 7 | 150 | 11.41 | 0.20% |
| 8 | 175 | 11.35 | 0.24% |
| 9 | 200 | 11.31 | 0.16% |
| 10 | 225 | 11.29 | 0.08% |
| 11 | 250 | 11.16 | 0.52% |
| Declividade da estaca de 1 à 11: | | | 0.46% |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Anexo 5: Medição da Infiltração nos Campos

Resultados da infiltração no Campo 207

Tabela 5.1 - Medição nº 1

| Ordem | Leituras | | | Cálculos | | | |
|-------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|----------|-------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | Tempo (min) | Icum. (cm) | cum (mm) | Vi (mm/min) |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 10 | 10 |
| 3 | 2.00 | 26.50 | 0.50 | 2.00 | 1.50 | 15 | 15 |
| 4 | 4.00 | 25.50 | 1.00 | 4.00 | 2.50 | 25 | 12.5 |
| 5 | 6.00 | 24.50 | 1.00 | 6.00 | 3.50 | 35 | 17.5 |
| 6 | 8.00 | 23.90 | 0.60 | 8.00 | 4.10 | 41 | 20.5 |
| 7 | 10.00 | 22.90 | 1.00 | 10.00 | 5.10 | 51 | 25.5 |
| 8 | 12.00 | 22.20 | 0.70 | 12.00 | 5.80 | 58 | 29 |
| 9 | 14.00 | 21.50 | 0.70 | 14.00 | 6.50 | 65 | 32.5 |
| 10 | 16.00 | 21.00 | 0.50 | 16.00 | 7.00 | 70 | 35 |
| 11 | 20.00 | 25.50 | 2.50 | 20.00 | 9.50 | 95 | 23.75 |
| 12 | 25.00 | 24.00 | 1.50 | 25.00 | 11.00 | 110 | 22 |
| 13 | 30.00 | 22.80 | 1.20 | 30.00 | 12.20 | 122 | 24.4 |
| 14 | 35.00 | 21.90 | 0.90 | 35.00 | 13.10 | 131 | 26.2 |
| 15 | 40.00 | 20.90 | 1.00 | 40.00 | 14.10 | 141 | 28.2 |
| 16 | 45.00 | 26.20 | 1.80 | 45.00 | 15.90 | 159 | 31.8 |
| 17 | 50.00 | 25.20 | 1.00 | 50.00 | 16.90 | 169 | 33.8 |
| 18 | 60.00 | 20.10 | 5.10 | 60.00 | 22.00 | 220 | 22 |
| 19 | 70.00 | 16.90 | 3.20 | 70.00 | 25.20 | 252 | 25.2 |
| 20 | 80.00 | 14.50 | 2.40 | 80.00 | 27.60 | 276 | 27.6 |

Tabela 5.2 - Medição nº 2

| Ordem | Leituras | | | Cálculos | | | |
|-------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|----------|-------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | Tempo (min) | Icum. (cm) | cum (mm) | Vi (mm/min) |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 28.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 10 | 10 |
| 3 | 2.00 | 27.50 | 0.50 | 2.00 | 1.50 | 15 | 15 |
| 4 | 4.00 | 26.40 | 1.10 | 4.00 | 2.60 | 26 | 13 |
| 5 | 6.00 | 25.50 | 0.90 | 6.00 | 3.50 | 35 | 17.5 |
| 6 | 8.00 | 24.60 | 0.90 | 8.00 | 4.40 | 44 | 22 |
| 7 | 10.00 | 22.90 | 1.70 | 10.00 | 6.10 | 61 | 30.5 |
| 8 | 12.00 | 21.60 | 1.30 | 12.00 | 7.40 | 74 | 37 |
| 9 | 14.00 | 20.50 | 1.10 | 14.00 | 8.50 | 85 | 42.5 |
| 10 | 16.00 | 28.50 | 0.50 | 16.00 | 9.00 | 90 | 45 |
| 11 | 20.00 | 25.50 | 3.00 | 20.00 | 12.00 | 120 | 30 |
| 12 | 25.00 | 21.60 | 3.90 | 25.00 | 15.90 | 159 | 31.8 |
| 13 | 30.00 | 17.50 | 4.10 | 30.00 | 20.00 | 200 | 40 |
| 14 | 35.00 | 25.00 | 4.00 | 35.00 | 24.00 | 240 | 48 |
| 15 | 40.00 | 21.10 | 3.90 | 40.00 | 27.90 | 279 | 55.8 |
| 16 | 45.00 | 17.00 | 4.10 | 45.00 | 32.00 | 320 | 64 |
| 17 | 50.00 | 25.10 | 3.90 | 50.00 | 35.90 | 359 | 71.8 |
| 18 | 55.00 | 21.10 | 4.00 | 55.00 | 39.90 | 399 | 79.8 |
| 19 | 60.00 | 17.10 | 4.00 | 60.00 | 43.90 | 439 | 87.8 |
| 20 | 65.00 | 24.00 | 4.00 | 65.00 | 47.90 | 479 | 95.8 |
| 21 | 70.00 | 20.00 | 4.00 | 70.00 | 51.90 | 519 | 103.8 |
| 22 | 74.00 | 15.30 | 4.70 | 74.00 | 56.60 | 566 | 141.5 |

Tabela 5.3 - Medição nº 3

| Ordem | Leituras | | | Cálculos | | | |
|-------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|----------|-------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | Tempo (min) | Icum. (cm) | cum (mm) | Vi (mm/min) |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 28.10 | 0.90 | 1.00 | 0.90 | 9 | 9 |
| 3 | 2.00 | 27.10 | 1.00 | 2.00 | 1.90 | 19 | 9.50 |
| 4 | 4.00 | 26.00 | 1.10 | 4.00 | 3.00 | 30 | 7.50 |
| 5 | 6.00 | 25.10 | 0.90 | 6.00 | 3.90 | 39 | 6.50 |
| 6 | 8.00 | 24.10 | 1.00 | 8.00 | 4.90 | 49 | 6.13 |
| 7 | 10.00 | 23.00 | 1.10 | 10.00 | 6.00 | 60 | 6.00 |
| 8 | 12.00 | 21.90 | 1.10 | 12.00 | 7.10 | 71 | 5.92 |
| 9 | 14.00 | 20.70 | 1.20 | 14.00 | 8.30 | 83 | 5.93 |
| 10 | 16.00 | 19.70 | 1.00 | 16.00 | 9.30 | 93 | 5.81 |
| 11 | 18.00 | 18.80 | 0.90 | 18.00 | 10.20 | 102 | 5.67 |
| 12 | 20.00 | 28.20 | 0.80 | 20.00 | 11.00 | 110 | 5.50 |
| 13 | 25.00 | 24.20 | 4.00 | 25.00 | 15.00 | 150 | 6.00 |
| 14 | 30.00 | 20.10 | 4.10 | 30.00 | 19.10 | 191 | 6.37 |
| 15 | 35.00 | 16.10 | 4.00 | 35.00 | 23.10 | 231 | 6.60 |
| 16 | 40.00 | 25.00 | 4.00 | 40.00 | 27.10 | 271 | 6.78 |
| 17 | 45.00 | 21.10 | 3.90 | 45.00 | 31.00 | 310 | 6.89 |
| 18 | 50.00 | 17.10 | 4.00 | 50.00 | 35.00 | 350 | 7.00 |
| 19 | 55.00 | 24.00 | 4.00 | 55.00 | 39.00 | 390 | 7.09 |
| 20 | 60.00 | 20.00 | 4.00 | 60.00 | 43.00 | 430 | 7.17 |
| 21 | 65.00 | 16.00 | 4.00 | 65.00 | 47.00 | 470 | 7.23 |
| 22 | 70.00 | 24.00 | 4.00 | 70.00 | 51.00 | 510 | 7.29 |
| 23 | 75.00 | 20.00 | 4.00 | 75.00 | 55.00 | 550 | 7.33 |
| 24 | 80.00 | 16.10 | 3.90 | 80.00 | 58.90 | 589 | 7.36 |

Tabela 5.4 - Medição nº 4

| Ordem | Leituras | | | Cálculos | | | |
|-------|-------------|-------------|---------|-------------|------------|----------|-------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | Tempo (min) | Icum. (cm) | cum (mm) | Vi (mm/min) |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 27.10 | 0.90 | 1.00 | 0.90 | 9 | 9 |
| 3 | 2.00 | 26.00 | 1.10 | 2.00 | 2.00 | 20 | 20 |
| 4 | 4.00 | 24.90 | 1.10 | 4.00 | 3.10 | 31 | 15.5 |
| 5 | 6.00 | 23.90 | 1.00 | 6.00 | 4.10 | 41 | 20.5 |
| 6 | 8.00 | 22.80 | 1.10 | 8.00 | 5.20 | 52 | 26 |
| 7 | 10.00 | 21.70 | 1.10 | 10.00 | 6.30 | 63 | 31.5 |
| 8 | 12.00 | 20.30 | 1.40 | 12.00 | 7.70 | 77 | 38.5 |
| 9 | 14.00 | 18.70 | 1.60 | 14.00 | 9.30 | 93 | 46.5 |
| 10 | 16.00 | 16.90 | 1.80 | 16.00 | 11.10 | 111 | 55.5 |
| 11 | 18.00 | 27.10 | 0.90 | 18.00 | 12.00 | 120 | 60 |
| 12 | 20.00 | 26.10 | 1.00 | 20.00 | 13.00 | 130 | 65 |
| 13 | 25.00 | 22.10 | 4.00 | 25.00 | 17.00 | 170 | 34 |
| 14 | 30.00 | 18.00 | 4.10 | 30.00 | 21.10 | 211 | 42.2 |
| 15 | 35.00 | 14.10 | 3.90 | 35.00 | 25.00 | 250 | 50 |
| 16 | 40.00 | 25.10 | 3.90 | 40.00 | 28.90 | 289 | 57.8 |
| 17 | 45.00 | 21.10 | 4.00 | 45.00 | 32.90 | 329 | 65.8 |
| 18 | 50.00 | 17.00 | 4.10 | 50.00 | 37.00 | 370 | 74 |
| 19 | 55.00 | 25.00 | 4.00 | 55.00 | 41.00 | 410 | 82 |
| 20 | 60.00 | 21.00 | 4.00 | 60.00 | 45.00 | 450 | 90 |
| 21 | 65.00 | 17.00 | 4.00 | 65.00 | 49.00 | 490 | 98 |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Resultados da Infiltração no Campo 210

Tabela 5.5 - Medição nº 1

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|------------|----|----------------|----------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | l.cum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | 20 |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 2.00 | | 1.00 | 2.00 | 20 | 39 |
| 3 | 2.00 | 25.10 | 1.90 | | 2.00 | 3.90 | 39 | 30 |
| 4 | 4.00 | 23.00 | 2.10 | | 4.00 | 6.00 | 60 | 40 |
| 5 | 6.00 | 21.00 | 2.00 | | 6.00 | 8.00 | 80 | 49 |
| 6 | 8.00 | 19.20 | 1.80 | | 8.00 | 9.80 | 98 | 60 |
| 7 | 10.00 | 17.00 | 2.20 | | 10.00 | 12.00 | 120 | 40 |
| 8 | 15.00 | 25.10 | 3.90 | 29 | 15.00 | 15.90 | 159 | 31.8 |
| 9 | 20.00 | 21.00 | 4.10 | | 20.00 | 20.00 | 200 | 40 |
| 10 | 25.00 | 17.10 | 3.90 | | 25.00 | 23.90 | 239 | 47.8 |
| 11 | 30.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 30.00 | 27.90 | 279 | 55.8 |
| 12 | 35.00 | 21.00 | 4.00 | | 35.00 | 31.90 | 319 | 63.8 |
| 13 | 40.00 | 17.00 | 4.00 | | 40.00 | 35.90 | 359 | 71.8 |
| 14 | 45.00 | 24.20 | 3.80 | 28 | 45.00 | 39.70 | 397 | 79.4 |
| 15 | 50.00 | 20.20 | 4.00 | | 50.00 | 43.70 | 437 | 87.4 |
| 16 | 55.00 | 16.20 | 4.00 | | 55.00 | 47.70 | 477 | 95.4 |
| 17 | 60.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 60.00 | 51.70 | 517 | 103.4 |
| 18 | 65.00 | 21.00 | 4.00 | | 65.00 | 55.70 | 557 | 111.4 |
| 19 | 70.00 | 17.00 | 4.00 | | 70.00 | 59.70 | 597 | 119.4 |
| 20 | | | | | | | | |

Tabela 5.6 - Medição nº 2

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|------------|----|----------------|----------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | l.cum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | 20 |
| 2 | 1.00 | 26.00 | 2.00 | | 1.00 | 2.00 | 20 | 40 |
| 3 | 2.00 | 24.00 | 2.00 | | 2.00 | 4.00 | 40 | 40 |
| 4 | 4.00 | 22.10 | 1.90 | | 4.00 | 5.90 | 59 | 29.5 |
| 5 | 6.00 | 20.00 | 2.10 | | 6.00 | 8.00 | 80 | 40 |
| 6 | 8.00 | 18.20 | 1.80 | | 8.00 | 9.80 | 98 | 49 |
| 7 | 10.00 | 16.00 | 2.20 | | 10.00 | 12.00 | 120 | 60 |
| 8 | 15.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 15.00 | 16.00 | 160 | 32 |
| 9 | 20.00 | 21.00 | 4.00 | | 20.00 | 20.00 | 200 | 40 |
| 10 | 25.00 | 17.20 | 3.80 | | 25.00 | 23.80 | 238 | 47.6 |
| 11 | 30.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 30.00 | 27.80 | 278 | 55.6 |
| 12 | 35.00 | 21.00 | 4.00 | | 35.00 | 31.80 | 318 | 63.6 |
| 13 | 40.00 | 17.10 | 3.90 | | 40.00 | 35.70 | 357 | 71.4 |
| 14 | 45.00 | 25.20 | 3.80 | 29 | 45.00 | 39.50 | 395 | 79 |
| 15 | 50.00 | 21.20 | 4.00 | | 50.00 | 43.50 | 435 | 87 |
| 16 | 55.00 | 17.20 | 4.00 | | 55.00 | 47.50 | 475 | 95 |
| 17 | 60.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 60.00 | 51.50 | 515 | 103 |
| 18 | 65.00 | 20.00 | 4.00 | | 65.00 | 55.50 | 555 | 111 |
| 19 | 70.00 | 16.00 | 4.00 | | 70.00 | 59.50 | 595 | 119 |
| 20 | | | | | | | | |

Tabela 5.7 - Medição nº 3

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|------------|----|----------------|----------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | l.cum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | 30 |
| 2 | 1.00 | 26.00 | 3.00 | | 1.00 | 3.00 | 30 | 59 |
| 3 | 2.00 | 23.10 | 2.90 | | 2.00 | 5.90 | 59 | 45 |
| 4 | 4.00 | 20.00 | 3.10 | | 4.00 | 9.00 | 90 | 59.5 |
| 5 | 6.00 | 17.10 | 2.90 | | 6.00 | 11.90 | 119 | 39.75 |
| 6 | 10.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 10.00 | 15.90 | 159 | 41.8 |
| 7 | 15.00 | 19.00 | 5.00 | | 15.00 | 20.90 | 209 | 51.8 |
| 8 | 20.00 | 14.00 | 5.00 | | 20.00 | 25.90 | 259 | 59.8 |
| 9 | 25.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 25.00 | 29.90 | 299 | 75.6 |
| 10 | 30.00 | 20.00 | 4.00 | | 30.00 | 33.90 | 339 | 83.4 |
| 11 | 35.00 | 16.10 | 3.90 | | 35.00 | 37.80 | 378 | 91.4 |
| 12 | 40.00 | 25.10 | 3.90 | 29 | 40.00 | 41.70 | 417 | 99.6 |
| 13 | 45.00 | 21.10 | 4.00 | | 45.00 | 45.70 | 457 | 107.6 |
| 14 | 50.00 | 17.00 | 4.10 | | 50.00 | 49.80 | 498 | 115.6 |
| 15 | 55.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 55.00 | 53.80 | 538 | 123.6 |
| 16 | 60.00 | 21.00 | 4.00 | | 60.00 | 57.80 | 578 | |
| 17 | 65.00 | 17.00 | 4.00 | | 65.00 | 61.80 | 618 | |
| 18 | | | | | | | | |

Tabela 5.8 - Medição nº 4

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|------------|----|----------------|----------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | l.cum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | 15 |
| 2 | 1.00 | 26.50 | 1.50 | | 1.00 | 1.50 | 15 | 40 |
| 3 | 2.00 | 24.00 | 2.50 | | 2.00 | 4.00 | 40 | 27.5 |
| 4 | 4.00 | 22.50 | 1.50 | | 4.00 | 5.50 | 55 | 40 |
| 5 | 6.00 | 20.00 | 2.50 | | 6.00 | 8.00 | 80 | 47.5 |
| 6 | 8.00 | 18.50 | 1.50 | | 8.00 | 9.50 | 95 | 57 |
| 7 | 10.00 | 16.60 | 1.90 | | 10.00 | 11.40 | 114 | 28.8 |
| 8 | 15.00 | 26.00 | 3.00 | 29 | 15.00 | 14.40 | 144 | 34.6 |
| 9 | 20.00 | 23.10 | 2.90 | | 20.00 | 17.30 | 173 | 40.8 |
| 10 | 25.00 | 20.00 | 3.10 | | 25.00 | 20.40 | 204 | 46.8 |
| 11 | 30.00 | 17.00 | 3.00 | | 30.00 | 23.40 | 234 | 52.8 |
| 12 | 35.00 | 26.00 | 3.00 | 29 | 35.00 | 26.40 | 264 | 58.8 |
| 13 | 40.00 | 23.00 | 3.00 | | 40.00 | 29.40 | 294 | 64.6 |
| 14 | 45.00 | 20.10 | 2.90 | | 45.00 | 32.30 | 323 | 70.6 |
| 15 | 50.00 | 17.10 | 3.00 | | 50.00 | 35.30 | 353 | 76.6 |
| 16 | 55.00 | 25.00 | 3.00 | 28 | 55.00 | 38.30 | 383 | 82.6 |
| 17 | 60.00 | 22.00 | 3.00 | | 60.00 | 41.30 | 413 | 88.6 |
| 18 | 65.00 | 19.00 | 3.00 | | 65.00 | 44.30 | 443 | 94.6 |
| 19 | 70.00 | 16.00 | 3.00 | | 70.00 | 47.30 | 473 | |
| 20 | | | | | | | | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Resultados da Infiltração no Campo 311

Tabela 5.9 - Medição n° 1

Tabela 5.10 - Medição n° 2

| Ordem | Leituras | | | Tempo (min) | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | Icum (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | | |
| 2 | 1.00 | 28.10 | 0.90 | 1.00 | 0.90 | 9 | 9 | |
| 3 | 2.00 | 27.00 | 1.10 | 2.00 | 2.00 | 20 | 20 | |
| 4 | 4.00 | 26.00 | 1.00 | 4.00 | 3.00 | 30 | 15 | |
| 5 | 6.00 | 24.90 | 1.10 | 6.00 | 4.10 | 41 | 20.5 | |
| 6 | 8.00 | 24.00 | 0.90 | 8.00 | 5.00 | 50 | 25 | |
| 7 | 10.00 | 23.00 | 1.00 | 10.00 | 6.00 | 60 | 30 | |
| 8 | 12.00 | 22.20 | 0.80 | 12.00 | 6.80 | 68 | 34 | |
| 9 | 14.00 | 21.00 | 1.20 | 14.00 | 8.00 | 80 | 40 | |
| 10 | 16.00 | 20.10 | 0.90 | 16.00 | 8.90 | 89 | 44.5 | |
| 11 | 20.00 | 16.40 | 3.70 | 20.00 | 12.60 | 126 | 31.5 | |
| 12 | 25.00 | 24.00 | 5.00 | 29 | 25.00 | 176 | 35.2 | |
| 13 | 30.00 | 20.10 | 3.90 | 30.00 | 21.50 | 215 | 43 | |
| 14 | 35.00 | 16.10 | 4.00 | 35.00 | 25.50 | 255 | 51 | |
| 15 | 40.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 40.00 | 295 | 59 | |
| 16 | 45.00 | 21.00 | 4.00 | 45.00 | 33.50 | 335 | 67 | |
| 17 | 50.00 | 17.00 | 4.00 | 50.00 | 37.50 | 375 | 75 | |
| 18 | 55.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 55.00 | 415 | 83 | |
| 19 | 60.00 | 21.00 | 4.00 | 60.00 | 45.50 | 455 | 91 | |
| 20 | 65.00 | 17.00 | 4.00 | 65.00 | 49.50 | 495 | 99 | |
| 21 | | | | | | | | |

| Ordem | Leituras | | | Tempo (min) | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | Icum (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | | |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 10 | 10 | |
| 3 | 2.00 | 26.10 | 0.90 | 2.00 | 1.90 | 19 | 19 | |
| 4 | 4.00 | 25.00 | 1.10 | 4.00 | 3.00 | 30 | 15 | |
| 5 | 6.00 | 24.10 | 0.90 | 6.00 | 3.90 | 39 | 19.5 | |
| 6 | 8.00 | 23.20 | 0.90 | 8.00 | 4.80 | 48 | 24 | |
| 7 | 10.00 | 22.20 | 1.00 | 10.00 | 5.80 | 58 | 29 | |
| 8 | 12.00 | 21.20 | 1.00 | 12.00 | 6.80 | 68 | 34 | |
| 9 | 14.00 | 20.00 | 1.20 | 14.00 | 8.00 | 80 | 40 | |
| 10 | 16.00 | 19.10 | 0.90 | 16.00 | 8.90 | 89 | 44.5 | |
| 11 | 18.00 | 18.00 | 1.10 | 18.00 | 10.00 | 100 | 50 | |
| 12 | 20.00 | 17.10 | 0.90 | 20.00 | 10.90 | 109 | 54.5 | |
| 13 | 25.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 25.00 | 149 | 29.8 | |
| 14 | 30.00 | 20.00 | 4.00 | 30.00 | 18.90 | 189 | 37.8 | |
| 15 | 35.00 | 16.00 | 4.00 | 35.00 | 22.90 | 229 | 45.8 | |
| 16 | 40.00 | 25.10 | 3.90 | 29 | 40.00 | 268 | 53.6 | |
| 17 | 45.00 | 21.10 | 4.00 | 45.00 | 30.80 | 308 | 61.6 | |
| 18 | 50.00 | 17.10 | 4.00 | 50.00 | 34.80 | 348 | 69.6 | |
| 19 | 55.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 55.00 | 388 | 77.6 | |
| 20 | 60.00 | 21.00 | 4.00 | 60.00 | 42.80 | 428 | 85.6 | |
| 21 | 65.00 | 17.00 | 4.00 | 65.00 | 46.80 | 468 | 93.6 | |
| 22 | | | | | | | | |

Tabela 5.11 - Medição n° 3

Tabela 5.12 - Medição n° 4

| Ordem | Leituras | | | Tempo (min) | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | Icum (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | | |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 10 | 10 | |
| 3 | 2.00 | 26.00 | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 20 | 20 | |
| 4 | 4.00 | 24.90 | 1.10 | 4.00 | 3.10 | 31 | 15.5 | |
| 5 | 6.00 | 23.00 | 1.90 | 6.00 | 5.00 | 50 | 25 | |
| 6 | 8.00 | 22.00 | 1.00 | 8.00 | 6.00 | 60 | 30 | |
| 7 | 10.00 | 21.90 | 0.10 | 10.00 | 6.10 | 61 | 30.5 | |
| 8 | 12.00 | 20.00 | 1.90 | 12.00 | 8.00 | 80 | 40 | |
| 9 | 14.00 | 19.00 | 1.00 | 14.00 | 9.00 | 90 | 45 | |
| 10 | 16.00 | 18.00 | 1.00 | 16.00 | 10.00 | 100 | 50 | |
| 11 | 18.00 | 17.00 | 1.00 | 18.00 | 11.00 | 110 | 55 | |
| 12 | 20.00 | 26.90 | 1.10 | 28 | 20.00 | 121 | 60.5 | |
| 13 | 25.00 | 22.90 | 4.00 | 25.00 | 16.10 | 161 | 32.2 | |
| 14 | 30.00 | 18.70 | 4.20 | 30.00 | 20.30 | 203 | 40.6 | |
| 15 | 35.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 35.00 | 243 | 48.6 | |
| 16 | 40.00 | 21.10 | 3.90 | 40.00 | 28.20 | 282 | 56.4 | |
| 17 | 45.00 | 17.10 | 4.00 | 45.00 | 32.20 | 322 | 64.4 | |
| 18 | 50.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 50.00 | 362 | 72.4 | |
| 19 | 55.00 | 21.00 | 4.00 | 55.00 | 40.20 | 402 | 80.4 | |
| 20 | 60.00 | 17.00 | 4.00 | 60.00 | 44.20 | 442 | 88.4 | |
| 21 | 65.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 65.00 | 482 | 96.4 | |
| 22 | 70.00 | 21.00 | 4.00 | 70.00 | 52.20 | 522 | 104.4 | |
| 23 | 75.00 | 17.00 | 4.00 | 75.00 | 56.20 | 562 | 112.4 | |
| 24 | | | | | | | | |

| Ordem | Leituras | | | Tempo (min) | Cálculos | | | Vi (mm/min) |
|-------|----------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|----------------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | Icum (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0 | | |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 10 | 10 | |
| 3 | 2.00 | 26.00 | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 20 | 20 | |
| 4 | 4.00 | 25.00 | 1.00 | 4.00 | 3.00 | 30 | 15 | |
| 5 | 6.00 | 24.10 | 0.90 | 6.00 | 3.90 | 39 | 19.5 | |
| 6 | 8.00 | 23.00 | 1.10 | 8.00 | 5.00 | 50 | 25 | |
| 7 | 10.00 | 22.00 | 1.00 | 10.00 | 6.00 | 60 | 30 | |
| 8 | 12.00 | 21.10 | 0.90 | 12.00 | 6.90 | 69 | 34.5 | |
| 9 | 14.00 | 20.10 | 1.00 | 14.00 | 7.90 | 79 | 39.5 | |
| 10 | 16.00 | 19.10 | 1.00 | 16.00 | 8.90 | 89 | 44.5 | |
| 11 | 18.00 | 18.10 | 1.00 | 18.00 | 9.90 | 99 | 49.5 | |
| 12 | 20.00 | 17.00 | 1.10 | 20.00 | 11.00 | 110 | 55 | |
| 13 | 25.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 25.00 | 150 | 30 | |
| 14 | 30.00 | 21.00 | 4.00 | 30.00 | 19.00 | 190 | 38 | |
| 15 | 35.00 | 17.00 | 4.00 | 35.00 | 23.00 | 230 | 46 | |
| 16 | 40.00 | 25.10 | 3.90 | 29 | 40.00 | 269 | 53.8 | |
| 17 | 45.00 | 21.20 | 3.90 | 45.00 | 30.80 | 308 | 61.6 | |
| 18 | 50.00 | 17.20 | 4.00 | 50.00 | 34.80 | 348 | 69.6 | |
| 19 | 55.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 55.00 | 388 | 77.6 | |
| 20 | 60.00 | 21.00 | 4.00 | 60.00 | 42.80 | 428 | 85.6 | |
| 21 | 65.00 | 17.00 | 4.00 | 65.00 | 46.80 | 468 | 93.6 | |
| 22 | 70.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 70.00 | 508 | 101.6 | |
| 23 | 75.00 | 20.00 | 4.00 | 75.00 | 54.80 | 548 | 109.6 | |
| 24 | 80.00 | 16.00 | 4.00 | 80.00 | 58.80 | 588 | 117.6 | |
| 25 | | | | | | | | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Resultados da Infiltração no Campo 1564

Tabela 5.13 - Medição nº 1

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi |
|-------|-------------|-------------|---------|----|-------------|------------|----------|-------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | lcum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 4.00 | | 1.00 | 4.00 | 40 | 40 |
| 3 | 2.00 | 25.00 | 2.00 | | 2.00 | 6.00 | 60 | 60 |
| 4 | 4.00 | 23.00 | 2.00 | | 4.00 | 8.00 | 80 | 40 |
| 5 | 6.00 | 21.00 | 2.00 | | 6.00 | 10.00 | 100 | 50 |
| 6 | 8.00 | 19.10 | 1.90 | | 8.00 | 11.90 | 119 | 59.5 |
| 7 | 10.00 | 17.10 | 2.00 | | 10.00 | 13.90 | 139 | 69.5 |
| 8 | 15.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 15.00 | 17.90 | 179 | 35.8 |
| 9 | 20.00 | 21.00 | 4.00 | | 20.00 | 21.90 | 219 | 43.8 |
| 10 | 25.00 | 17.00 | 4.00 | | 25.00 | 25.90 | 259 | 51.8 |
| 11 | 30.00 | 24.10 | 3.90 | 28 | 30.00 | 29.80 | 298 | 59.6 |
| 12 | 35.00 | 20.00 | 4.10 | | 35.00 | 33.90 | 339 | 67.8 |
| 13 | 40.00 | 16.20 | 3.80 | | 40.00 | 37.70 | 377 | 75.4 |
| 14 | 45.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 45.00 | 41.70 | 417 | 83.4 |
| 15 | 50.00 | 20.00 | 4.00 | | 50.00 | 45.70 | 457 | 91.4 |
| 16 | 55.00 | 16.10 | 3.90 | | 55.00 | 49.60 | 496 | 99.2 |
| 17 | 60.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 60.00 | 53.60 | 536 | 107.2 |
| 18 | 65.00 | 21.00 | 4.00 | | 65.00 | 57.60 | 576 | 115.2 |
| 19 | 70.00 | 17.00 | 4.00 | | 70.00 | 61.60 | 616 | 123.2 |
| 20 | | | | | | | | |

Tabela 5.14 - Medição nº 2

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi |
|-------|-------------|-------------|---------|----|-------------|------------|----------|-------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | lcum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 26.10 | 1.90 | | 1.00 | 1.90 | 19 | 19 |
| 3 | 2.00 | 24.10 | 2.00 | | 2.00 | 3.90 | 39 | 39 |
| 4 | 4.00 | 22.10 | 2.00 | | 4.00 | 5.90 | 59 | 29.5 |
| 5 | 6.00 | 20.20 | 1.90 | | 6.00 | 7.80 | 78 | 39 |
| 6 | 8.00 | 18.10 | 2.10 | | 8.00 | 9.90 | 99 | 49.5 |
| 7 | 10.00 | 16.10 | 2.00 | | 10.00 | 11.90 | 119 | 59.5 |
| 8 | 15.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 15.00 | 15.90 | 159 | 31.8 |
| 9 | 20.00 | 19.00 | 5.00 | | 20.00 | 20.90 | 209 | 41.8 |
| 10 | 25.00 | 14.00 | 5.00 | | 25.00 | 25.90 | 259 | 51.8 |
| 11 | 30.00 | 25.10 | 3.90 | 29 | 30.00 | 29.80 | 298 | 59.6 |
| 12 | 35.00 | 21.10 | 4.00 | | 35.00 | 33.80 | 338 | 67.6 |
| 13 | 40.00 | 16.10 | 5.00 | | 40.00 | 38.80 | 388 | 77.6 |
| 14 | 45.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 45.00 | 42.80 | 428 | 85.6 |
| 15 | 50.00 | 21.00 | 4.00 | | 50.00 | 46.80 | 468 | 93.6 |
| 16 | 55.00 | 17.00 | 4.00 | | 55.00 | 50.80 | 508 | 101.6 |
| 17 | 60.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 60.00 | 54.80 | 548 | 109.6 |
| 18 | 65.00 | 21.00 | 4.00 | | 65.00 | 58.80 | 588 | 117.6 |
| 19 | 70.00 | 17.00 | 4.00 | | 70.00 | 62.80 | 628 | 125.6 |
| 20 | | | | | | | | |

Tabela 5.15 - Medição nº 3

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi |
|-------|-------------|-------------|---------|----|-------------|------------|----------|-------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | lcum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 28.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 26.50 | 1.50 | | 1.00 | 1.50 | 15 | 15 |
| 3 | 2.00 | 25.00 | 1.50 | | 2.00 | 3.00 | 30 | 30 |
| 4 | 4.00 | 24.50 | 0.50 | | 4.00 | 3.50 | 35 | 17.5 |
| 5 | 6.00 | 23.00 | 1.50 | | 6.00 | 5.00 | 50 | 25 |
| 6 | 8.00 | 22.50 | 0.50 | | 8.00 | 5.50 | 55 | 27.5 |
| 7 | 10.00 | 21.10 | 1.40 | | 10.00 | 6.90 | 69 | 34.5 |
| 8 | 12.00 | 19.60 | 1.50 | | 12.00 | 8.40 | 84 | 42 |
| 9 | 14.00 | 18.00 | 1.60 | | 14.00 | 10.00 | 100 | 50 |
| 10 | 16.00 | 17.60 | 0.40 | | 16.00 | 10.40 | 104 | 52 |
| 11 | 20.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 20.00 | 14.40 | 144 | 36 |
| 12 | 25.00 | 19.00 | 5.00 | | 25.00 | 19.40 | 194 | 38.8 |
| 13 | 30.00 | 14.10 | 4.90 | | 30.00 | 24.30 | 243 | 48.6 |
| 14 | 35.00 | 25.00 | 4.00 | 29 | 35.00 | 28.30 | 283 | 56.6 |
| 15 | 40.00 | 21.00 | 4.00 | | 40.00 | 32.30 | 323 | 64.6 |
| 16 | 45.00 | 17.00 | 4.00 | | 45.00 | 36.30 | 363 | 72.6 |
| 17 | 50.00 | 25.10 | 3.90 | 29 | 50.00 | 40.20 | 402 | 80.4 |
| 18 | 55.00 | 21.10 | 4.00 | | 55.00 | 44.20 | 442 | 88.4 |
| 19 | 60.00 | 17.10 | 4.00 | | 60.00 | 48.20 | 482 | 96.4 |
| 20 | 65.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 65.00 | 52.20 | 522 | 104.4 |
| 21 | 70.00 | 20.00 | 4.00 | | 70.00 | 56.20 | 562 | 112.4 |
| 22 | 75.00 | 16.00 | 4.00 | | 75.00 | 60.20 | 602 | 120.4 |
| 23 | | | | | | | | |

Tabela 5.16 - Medição nº 4

| Ordem | Leituras | | | | Cálculos | | | Vi |
|-------|-------------|-------------|---------|----|-------------|------------|----------|-------|
| | Tempo (min) | Altura (cm) | Δh (cm) | | Tempo (min) | lcum. (cm) | cum (mm) | |
| 1 | 0.00 | 29.00 | 0.00 | | 0.00 | 0.00 | 0 | |
| 2 | 1.00 | 27.00 | 2.00 | | 1.00 | 2.00 | 20 | 20 |
| 3 | 2.00 | 25.10 | 1.90 | | 2.00 | 3.90 | 39 | 39 |
| 4 | 4.00 | 23.00 | 2.10 | | 4.00 | 6.00 | 60 | 30 |
| 5 | 6.00 | 21.00 | 2.00 | | 6.00 | 8.00 | 80 | 40 |
| 6 | 8.00 | 19.20 | 1.80 | | 8.00 | 9.80 | 98 | 49 |
| 7 | 10.00 | 17.00 | 2.20 | | 10.00 | 12.00 | 120 | 60 |
| 8 | 15.00 | 24.00 | 5.00 | 29 | 15.00 | 17.00 | 170 | 34 |
| 9 | 20.00 | 19.10 | 4.90 | | 20.00 | 21.90 | 219 | 43.8 |
| 10 | 25.00 | 14.10 | 5.00 | | 25.00 | 26.90 | 269 | 53.8 |
| 11 | 30.00 | 24.00 | 5.00 | 29 | 30.00 | 31.90 | 319 | 63.8 |
| 12 | 35.00 | 19.00 | 5.00 | | 35.00 | 36.90 | 369 | 73.8 |
| 13 | 40.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 40.00 | 40.90 | 409 | 81.8 |
| 14 | 45.00 | 20.00 | 4.00 | | 45.00 | 44.90 | 449 | 89.8 |
| 15 | 50.00 | 16.00 | 4.00 | | 50.00 | 48.90 | 489 | 97.8 |
| 16 | 55.00 | 24.10 | 3.90 | 28 | 55.00 | 52.80 | 528 | 105.6 |
| 17 | 60.00 | 20.10 | 4.00 | | 60.00 | 56.80 | 568 | 113.6 |
| 18 | 65.00 | 16.10 | 4.00 | | 65.00 | 60.80 | 608 | 121.6 |
| 19 | 70.00 | 24.00 | 4.00 | 28 | 70.00 | 64.80 | 648 | 129.6 |
| 20 | 75.00 | 20.00 | 4.00 | | 75.00 | 68.80 | 688 | 137.6 |
| 21 | | | | | | | | |

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Anexo 6: Determinação das Eficiências de Rega

Tabela 6.1: Cálculo das eficiências de rega

| Parâmetros | Unidades | Campo 207 | | | | | Campo 210 | | | | |
|-----------------------------------|----------|-----------|---------|---------|---------|--------------|-----------|---------|---------|---------|-------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Comprimento do sulco | m | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 290 | 290 | 290 | 290 | 290 |
| Tempo de aplicação | min. | 229 | 118 | 111 | 152 | 152.5 | 127 | a) | 112 | 91 | 110 |
| Eficiência de aplicação | % | 14 | 25.4 | 23.9 | 13.2 | 19.1 | 23.5 | a) | 27.8 | 24.1 | 25.1 |
| Eficiência de armazenamento | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | a) | 100 | 100 | 100 |
| Eficiência de uniformidade | % | 99 | 99.8 | 99.9 | 99.5 | 99.6 | 99.8 | a) | 99.9 | 99.8 | 99.8 |
| Perdas por percolação profunda | % | 58.9 | 38.1 | 25.4 | 33.1 | 38.9 | 28.8 | a) | 19.5 | 8.5 | 18.9 |
| Perdas por escoamento superficial | % | 27.5 | 36.1 | 50.8 | 53.7 | 42.0 | 47.8 | a) | 52.7 | 67.4 | 56.0 |

| Parâmetros | Unidades | Campo 311 | | | | | Campo 1564 | | | | |
|-----------------------------------|----------|-----------|---------|---------|---------|-------------|------------|---------|---------|---------|-------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Comprimento do sulco | m | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Tempo de aplicação | min. | 128 | 121 | 98 | 121 | 117 | 152 | 127 | 127 | 118 | 131 |
| Eficiência de aplicação | % | 17.9 | 15.5 | 23.7 | 11.2 | 17.1 | 10.18 | 15.8 | 11.07 | 14.36 | 12.9 |
| Eficiência de armazenamento | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eficiência de uniformidade | % | 99.6 | 99.8 | 99.9 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.9 | 99.9 | 99.9 |
| Eficiência de percolação profunda | % | 40.7 | 42.1 | 18.9 | 35.1 | 34.2 | 53.2 | 37.4 | 41.4 | 34.2 | 41.6 |
| Eficiência runoff | % | 41.4 | 42.4 | 57.5 | 53.7 | 48.8 | 36.6 | 46.7 | 47.5 | 51.4 | 45.6 |

a) Os dados do sulco 2, campo 210 foram retirados da análise de dados por este oferecer uma dotação muito abaixo das dotações determinadas em campo.

Tabela 6.2: Volumes de água usados na rega

| Volume | Unidades | Campo 207 | | | | | Campo 210 | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------|---------|---------|---------|--------------|-----------|---------|---------|---------|-------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Volume aplicado/total | m ³ | 35.7 | 20.5 | 22.6 | 38.3 | 29.28 | 22.25 | a) | 18.1 | 20.2 | 15.1 |
| Volume infiltrado | m ³ | 25.9 | 13.05 | 11.1 | 17.7 | 16.94 | 11.6 | a) | 8.6 | 6.6 | 6.7 |
| Volume da zona radicular | m ³ | 4.9 | 5.2 | 5.4 | 5 | 5.13 | 5.2 | a) | 5 | 4.9 | 3.8 |
| Volume percolado | m ³ | 21 | 7.8 | 5.8 | 12.7 | 11.83 | 6.4 | a) | 3.5 | 1.7 | 2.9 |
| Volume runoff | m ³ | 9.8 | 7.5 | 11.5 | 20.6 | 12.35 | 10.6 | a) | 9.6 | 13.6 | 8.5 |

| Volume | Unidades | Campo 311 | | | | | Campo 1564 | | | | |
|--------------------------|----------------|-----------|---------|---------|---------|--------------|------------|---------|---------|---------|-------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Volume aplicado/total | m ³ | 24.3 | 26.2 | 17.8 | 34.8 | 25.78 | 38.3 | 26.5 | 36.6 | 29.24 | 32.7 |
| Volume infiltrado | m ³ | 14.3 | 15.09 | 7.6 | 16.13 | 13.28 | 24.2 | 14.1 | 19.2 | 14.21 | 17.9 |
| Volume da zona radicular | m ³ | 4.4 | 4.05 | 4.2 | 3.9 | 4.14 | 3.9 | 4.2 | 4.05 | 4.2 | 4.1 |
| Volume percolado | m ³ | 9.9 | 11.04 | 3.35 | 12.2 | 9.12 | 20.3 | 9.9 | 15.15 | 10.01 | 13.8 |
| Volume runoff | m ³ | 10.1 | 11.12 | 10.21 | 18.7 | 12.53 | 14.03 | 12.3 | 17.38 | 15.03 | 14.7 |

a) Os dados do sulco 2, campo 210 foram retirados da análise de dados por este oferecer uma dotação muito abaixo das dotações determinadas em campo.

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 6.3: Eficiência de rega globais por campo optimizados

| Parâmetros | Unidades | Campo 207 | | | | | Campo 210 | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|---------|---------|---------|-------------|-----------|---------|---------|---------|-------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Comprimento do sulco | m | 300 | 300 | 300 | 300 | 300 | 290 | 290 | 290 | 290 | 290 |
| Tempo de aplicação | min. | 65 | 60 | 60 | 69 | 63.5 | 60 | 65 | 65 | 50 | 60 |
| Eficiência de aplicação | % | 64 | 61.6 | 55.2 | 45.7 | 56.6 | 65 | 47.6 | 54.6 | 60 | 56.8 |
| Eficiência de armazenamento | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eficiência de uniformidade | % | 99 | 99.8 | 99.9 | 99.5 | 99.6 | 99.8 | 99.9 | 99.9 | 99.8 | 99.9 |
| Perdas por percolação profunda | % | 3.7 | 2.6 | 4.5 | 3.6 | 3.6 | 8.33 | 9.58 | 6.5 | 7.3 | 7.9 |
| Perdas por escoamento superficial | % | 32.3 | 35.8 | 40.2 | 50.7 | 39.8 | 25.7 | 42.9 | 38.9 | 32.8 | 35.1 |
| Caudal | m ³ /s | 1.3 | 1.45 | 1.7 | 2.1 | 1.6 | 1.46 | 1.26 | 1.35 | 1.85 | 1.5 |

| Parâmetros | Unidades | Campo 311 | | | | | Campo 1564 | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|-----------|---------|---------|---------|-------------|------------|---------|---------|---------|-------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Comprimento do sulco | m | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| Tempo de aplicação | min. | 70 | 62 | 60 | 60 | 63 | 65 | 60 | 54 | 63 | 60.5 |
| Eficiência de aplicação | % | 61.6 | 54.9 | 48.1 | 54.09 | 54.7 | 60.27 | 52.8 | 52.08 | 53.07 | 54.6 |
| Eficiência de armazenamento | % | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Eficiência de uniformidade | % | 99.6 | 99.9 | 99.9 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.8 | 99.9 | 99.9 | 99.9 |
| Perdas por percolação profunda | % | 6 | 3.7 | 5 | 5.3 | 5 | 3.02 | 4.9 | 0.03 | 5.66 | 3.4 |
| Perdas por escoamento superficial | % | 32.4 | 41.4 | 46.9 | 40.6 | 40.3 | 36.7 | 42.4 | 47.8 | 41.27 | 42.0 |
| Caudal | m ³ /s | 1.59 | 1.81 | 1.51 | 2.4 | 1.8 | 1.05 | 1.74 | 2.4 | 2.06 | 1.8 |

Tabela 6.4: Parâmetros usados no cálculo das eficiências de rega

| Parâmetros | Unidades | Campo 207 | | | | | Campo 210 | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------|---------|---------|---------|--------------|-----------|---------|---------|---------|--------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Volume infiltrado no início | m ³ | 2.4 | 1.0 | 0.9 | 1.3 | 1.40 | 1.0 | a) | 0.7 | 0.49 | 0.7 |
| Volume infiltrado no fim | m ³ | 1.6 | 0.8 | 0.8 | 1.3 | 1.14 | 0.8 | a) | 0.7 | 0.5 | 0.6 |
| Caudal | l/s | 2.6 | 2.9 | 3.4 | 4.2 | 3.28 | 2.9 | a) | 2.7 | 3.7 | 3.1 |
| Tempo de corte | min. | a) | 118 | 111 | a) | 114.5 | a) | a) | 112 | 96 | 104.0 |
| Dotação média | mm | 302 | 143.8 | 114.5 | 195.8 | 189.0 | 118.4 | a) | 91.2 | 72.3 | 94.0 |

| Parâmetros | Unidades | Campo 311 | | | | | Campo 1564 | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------|---------|---------|---------|--------------|------------|---------|---------|---------|--------------|
| | | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média | Sulco 1 | Sulco 2 | Sulco 3 | Sulco 4 | Média |
| Volume infiltrado no início | m ³ | 1.39 | 1.4 | 0.7 | 1.5 | 1.2 | 2.4 | 1.3 | 1.8 | 1.3 | 1.7 |
| Volume infiltrado no fim | m ³ | 1.23 | 1.2 | 0.7 | 1.4 | 1.1 | 1.8 | 1.2 | 1.7 | 1.3 | 1.5 |
| Caudal | l/s | 3.17 | 3.61 | 3.02 | 4.8 | 3.7 | 4.2 | 3.5 | 4.8 | 4.1 | 4.2 |
| Tempo de corte | min. | 128 | 121 | 98 | a) | 115.7 | a) | 127 | 127 | 118 | 124 |
| Dotação média | mm | 179.3 | 209.4 | 97.8 | 226.1 | 178.1 | 355.6 | 184.8 | 259.9 | 183.4 | 245.9 |

Anexo 7: Tabelas de Consulta para Velocidade máxima nos canais e eficiências na rega

Tabela 7.1: Velocidade máxima de água permitida em canais de terra

| Material | Velocidade de água |
|----------------|--------------------|
| Areia fina | 0.45 |
| Franco arenoso | 0.55 |
| Franco limoso | 0.60 |
| franco | 0.75 |
| argiloso | 1.10 |

Fonte: Meijer (1993)

Tabela 7.2: Valores de Km recomendados

| Tipo de superfície | Km | n |
|---|---------|------------|
| Canais de betão | | |
| bem acabado | 70 | 0,014 |
| Medianamente acabado | 65 | 0,015 |
| mal acabado | 65 | 0,017 |
| Canais de terra | | |
| baixo crescimento da vegetação, $Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$ | 40 - 50 | 0,02-0,025 |
| Com vegetação curta, $Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$ | 36 | 0,028 |
| Com vegetação curta, $Q < 0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ | 24 | 0,042 |

Fonte: Meijer (1993)

Avaliação do sistema de irrigação por sulcos nos Campos de produção da cana-de-açúcar na Companhia do Sena, distrito de Marromeu.

Tabela 7.3: Eficiências de transporte, de canal de campo, de distribuição e de aplicação

| | | |
|---|--------------------------|-----------|
| Eficiência de transporte (Ec): | | |
| Abastecimento contínuo sem grande variação no caudal | | 0,9 |
| Abastecimento rotativo em projectos de 3 000 a 7 000 ha | | 0,8 |
| Abast. rotativo em áreas grandes (>10 000 ha) | | 0,65-0,7 |
| Eficiência de canal de campo (Eb): | | |
| Blocos maiores que 20 ha | - canais não revestidos | 0,8 |
| | - revestido | 0,9 |
| Blocos menores que 20 ha | - canais não revestidos | 0,7 |
| | - revestido | 0,8 |
| Eficiência de distribuição (Ed=Ec.Eb): | | |
| Valores médios para abastecimento rotativo com manejo e comunicações: | | |
| | - adequada | 0,65 |
| | - suficiente | 0,55 |
| | - insuficiente | 0,40 |
| | - muito fraca | 0,30 |
| Eficiência de aplicação (Ea): | | |
| Método superficial: | | |
| - tipo de solo | - solos leves | 0,55 |
| | - solos de textura média | 0,70 |
| | - solos pesados | 0,60 |
| - Método de rega | - faixas niveladas | 0,60-0,75 |
| | - sulcos | 0,55-0,70 |
| Aspersão | - clima quente e seco | 0,60 |
| | - clima moderado | 0,70 |
| | - clima húmido e frio | 0,80 |
| Arroz | | 0,32 |

Fonte: FAO 24 (1984)