



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

FACULDADE DE AGRICULTURA

CURSO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA AGRÍCOLA E ÁGUA RURAL

Monografia científica

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

Autor: Milton Boaventura Income

Tutor: Eng. Cesário Cambaza

Lionde, Outubro de 2021



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

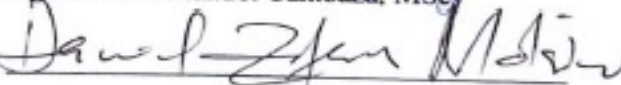
Monografia de investigação sobre Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega por meio da Instrumentação apresentado ao Curso de Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural na Faculdade de Agricultura do Instituto Superior Politécnico de Gaza, como requisito para o início de actividades de investigação de estágio no âmbito do Trabalho de Culminação do Curso em forma de Monografia em Engenharia Hidráulica Agrícola e Água Rural

Júri

Tutor

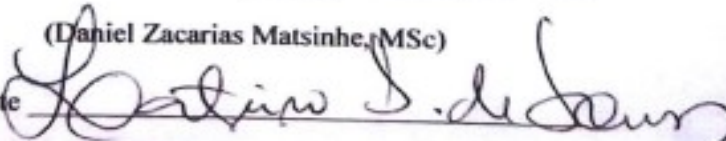

(Engo Cesário Manuel Cambaza, MSc)

Oponente



(Daniel Zacarias Matsinhe, MSc)

Oponente



(Lateiro de Souza, Ph.D.)

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus pelo dom da vida;

Aos meus pais, Boaventura Alfeu Income e Argentina Duarte Nhantumbo, pelo esforço, incentivo, confiança, dedicação e carinho; Ao Eng. Cesário Cambaza, pela orientação, sugestões, apoio e a amizade durante todo o curso;

A todos os professores do Departamento de Agricultura pelos ensinamentos;

A todos os colegas, amigos e companheiros que fizeram parte desta caminhada.



INSTITUTO SUPERIOR POLITÉCNICO DE GAZA

Declaração

Declaro por minha honra que esta Monografia de Trabalho de Culminação do Curso é resultado da minha investigação pessoal e das orientações do meu tutor, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para propósito semelhante ou obtenção de qualquer grau académico.

Lionde, Dezembro de 2022

Milton Boaventura Income

(Milton Boaventura Income)

Resumo

O manejo da irrigação tendo por base o potencial de água no solo é a maneira mais racional do uso da água. Objetiva-se avaliar a humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega. A pesquisa foi desenvolvida no Instituto Superior Politécnico de Gaza, *Campus* experimental. Foi avaliada a umidade do solo através de tensímetros instalados no campo, tendo-se instalados 8 tensiômetros no campo em duplas a 20 e 35 cm de profundidade em cada ponto (foram 4 no total).

As leituras foram realizadas pelas 10h durante todos dias durante um mês de estudo. Os três experimentos realizados, mostraram o mesmo comportamento em termos de tensão de água no solo, concluindo-se com a necessidade de reduzir-se a quantidade de água de rega aplicada nas culturas produzidas, como forma de evitar o estresse hídrico devido ao excesso de água e acúmulo de sais que danificam a produtividade da cultura. Tendo apresentado tensões de água no solo entre 2,94 a 28,88 Cbar (mínima e máxima respetivamente) num período de 30 dias de estudo para o experimento 1 e 3. Quanto ao experimento 2, durou apenas uma semana, devido a necessidade de interromper-se a rega, por que o milho estava na fase de maturação.

Palavra chave: Irrigação – Potencial matricial – Tensímetros – Tensão de Sucção - Curva pf

Summary

Irrigation management based on soil water potential is the most rational way to use water. The objective is to evaluate soil moisture as a function of the blade applied in different irrigation systems. The research was developed at the Instituto Superior Politécnico de Gaza, experimental Campus. Soil moisture was evaluated using tensimeters installed in the field, with 8 tensiometers installed in the field in pairs at 20 and 35 cm depth at each point (there were 4 in total).

Readings were taken at 10 am every day during a month of study. The three experiments carried out showed the same behavior in terms of water tension in the soil, concluding with the need to reduce the amount of irrigation water applied to the crops produced there, as a way to avoid water stress due to excess of water and accumulation of salts that damage the productivity of the crop. Having presented soil water tensions between 2.94 to 28.88 Cbar (minimum and maximum respectively) in a 30-day study period for experiment 1 and 3. As for experiment 2, it lasted only one week, due to the need for stop watering, because the corn was in the maturation stage.

Keyword: Irrigation – Matrix potential – Tensometers – Suction Voltage – pf curve

Índice

Declaração.....	IV
Resumo.....	V
I. INTRODUÇÃO.....	9
1.1.Problema	10
1.2.Justificativa	11
1.3.Objectivos	12
1.3.1. Geral.....	12
1.3.2. Específicos	12
II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1.Classificação dos sistemas de rega.....	13
2.1.1. Pivô central	14
2.1.1.1. Principais vantagens do Pivô Central.....	14
2.1.2. Irrigação por superfície	15
2.2.Perdas de água no solo	16
2.3.Humidade do solo	16
2.9.Determinação da granulometria	17
2.10. Infiltração.....	17
2.11. Eficiência de rega	18
2.13. Curva de Pf.....	18
2.14. Importância do monitoramento da humidade na agricultura.....	19
2.15. Descrição do material a ser usado no estudo	20
2.15.1. Tensímetros.....	20
2.15.2. Funcionamento e princípio de operação	20
2.15.3. Preparação de tensímetros para instalação.....	21
2.15.4. Instalação	22
2.15.5. Problemas comuns e medidas correctivas.....	23
2.15.6. Testes dos tensímetros	23
2.15.7. Uso do tensímetro para irrigação	23
2.15.8. Leituras dos tensímetros	24
2.16. Modelos matemáticos	24

III. MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1. Materiais.....	25
3.3.Solo	26
3. 4. Metodologia	27
3.4.1. Análises do solo	27
3.4.2. Monitorar a humidade do solo	27
3.4.3. Controlo da irrigação	28
3.4.3. Determinação da quantidade de água disponível.....	28
3.4.4. Pluviómetro e irrigação.....	28
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1. Levantamento topográfico	30
4.2. Análise granulométrica do solo.....	31
4.3. Teste de infiltração.....	31
4.4. Controlo da irrigação	32
5. Conclusão.....	34
Referências.....	35

I. INTRODUÇÃO

O acompanhamento do nível de humidade no solo, na zona de maior actividade das raízes, tem sido recomendado como uma das formas pertinentes para a verificação da efectividade das irrigações. O manejo da irrigação tendo por base o potencial de água no solo é a maneira mais racional do uso da água (KLEIN, 2001). Esse acompanhamento pode ser realizado, indirectamente, por meio de medidas da tensão em que a água se encontra retida no solo. Com essas medidas, tanto superficiais quanto em profundidade, é possível identificar se o solo esta suficientemente húmido para interromper sua aplicação.

Para o manejo das irrigações via solo existem vários métodos e instrumentos que podem ser utilizados, dentre eles: gravimétrico, sonda de neutrões, TDR, blocos de gesso, tensímetros, entre outros.

O tensímetro tem sido utilizado em várias culturas e locais com obtenção de bons resultados no manejo das irrigações e é um equipamento simples e económico. Após a realização de algumas irrigações, a leitura diária dos tensímetros, auxilia no ajuste da lâmina de irrigação (Hendrickson & Veihmeter, 1949)

Segundo Campbell & Mulla (1990), de todos os métodos disponíveis para o conhecimento dos potenciais de água no solo em irrigação, o tensímetro é o mais utilizado.

Em condições de campo o tensímetro é o equipamento mais utilizado e recomendado para a determinação do potencial matricial. Nesse sentido a utilização de tensímetros para determinar o momento exato de iniciar a irrigação, sem desperdício de água e energia, apresenta-se como uma ferramenta em sistemas de produção com adoção de alta tecnologia máxima produção com menores custos e preservação dos recursos hídricos (KLEIN, 2001) SAAD & LIBARDI (1992) e LIBARDI (1999) destacam a importância do tensímetro com manómetro de mercúrio, o qual, apesar da sua limitação de funcionamento até a tensão de 85 kPa, se adapta bem ao manejo da irrigação, pois normalmente o solo é irrigado antes de atingir essa tensão.

O trabalho apresentara a estrutura de acordo com as normas do regulamento interno da instituição, onde já na parti introdutora, apresentaremos de forma explicita e fundamentada o assunto a abordar no trabalho, assim como os objectivos, que de forma resumida apresentarão a ideia central o trabalho; no desenvolvimento do mesmo, contem de uma forma expositiva ordenada e pormenorizada o assunto tratado; as considerações finais, serão apresentadas de forma clara e objectiva, nua visão analítica do corpo do trabalho e, por fim as referenciais bibliográficas.

1.1.Problema

O manejo correcto de água deve proporcionar condições adequadas de aeração do sistema radicular além de disponibilizar essa água com o mínimo de tensão. Se excesso de água for aplicada o solo poderá ficar encharcado dificultando a troca de gases além de ocorrer perda de água por escoamento superficial ou por drenagem profunda.

Como a lâmina de irrigação representa a capacidade de armazenamento de água no solo para uma dada situação em particular de solo e cultura, a utilização de lâminas variáveis pode não ser a melhor opção, principalmente para culturas sensíveis ao estresse hídrico, pois a planta fica submetida a diferentes níveis de estresse hídrico. A opção de lâminas constantes e intervalos fixos, não consideram a variação de demanda de água pela atmosfera, podendo ser opção em regiões onde o clima é uma constante e não em regiões que dias de elevada evaporação são sucedidos ou precedidos por dias nublados ou chuvosos (Hendrickson & Veihmeter, 1949)

O teor de água no solo é um parâmetro extremamente variável, principalmente com o tempo, influenciado pelas chuvas, irrigações, drenagem ou pela evaporação e demais práticas de manejo da cultura. Desta forma, o conhecimento do teor de água no solo, sua dinâmica temporal e também espacial, sob diferentes condições de solo e práticas culturais, torna-se importante para o melhor uso da água na agricultura. Neste sentido, existe uma necessidade constante por métodos que permitam acessá-la na condição local do solo, de forma precisa, instantânea e, continuamente.

O presente trabalho propõe-se aplicar sensores para o monitoramento e coleta de dados da humidade do solo, para alimentar sistemas de irrigação, regulando o início e o termino da irrigação e favorecendo o desenvolvimento um agricultura mais moderna e produtiva, tanto para o pequeno quanto para o grande produtor.

1.2. Justificativa

O solo, como reservatório de água para as plantas, é afectado pelo manejo e pelas práticas culturais podendo alterar a dinâmica e a retenção de água nos seus poros.

O adequado suprimento da água as plantas é um dos factores mais importantes para maximizar a produção agrícola. Esse suprimento, considerando a água armazenada no solo, é afectado pela energia de retenção da água na matriz do solo, denominado de potencial matricio. Para determinar o potencial da água no solo podem ser utilizados tensímetros. O manejo da irrigação tendo por base o potencial de água no solo é a maneira mais racional do uso da água.

O monitoramento do volume e tensão da água no solo é imprescindível o correcto manejo de irrigação, o que nos encaminha aos gotejadores que mantem a forma e tamanho do seu bulbo molhado constante em todo sistema após sucessivas irrigações, parâmetros importantes para projectos e manejo de sistemas de irrigação localizada. Pós a utilização de lâminas variáveis pode não ser melhor opção, principalmente para culturas sensíveis ao estresse hídrico.

O tensímetro tem sido utilizado em várias culturas e locais com obtenção de bons resultados no manejo das irrigações e é um equipamento simples e econômico. Após a realização de algumas irrigações, a leitura diária dos tensímetros, auxilia no ajuste da lâmina de irrigação (Hendrickson & Veihmeter, 1949)

1.3.Objectivos

1.3.1. Geral

- Avaliar através da monitoria do potencial matricial da água no solo, a melhor curva Pf, no que concerne a manter a humidade ideal de água para planta no solo.

1.3.2. Específicos

- Realizar análises no solo (filtração; condutividade eléctrica; granulometria do solo; condutividade eléctrica do solo), com intuito de conhecer o seu potencial e estrutura, para melhor relacionar solo-planta-água;
- Monitorar a humidade do solo, para o ajuste da lâmina de irrigação;
- Determinar a quantidade de água disponível para a planta no solo, através da curva de depressão do solo.

II. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Toda vez que o solo não estiver saturado, nele existe ar e, portanto existem interfaces água/ar que lhe conferem o estado de tensão (pressão negativa). Assim, a água no solo, via de regra, encontra-se sob tensões. A tensão, chamada de potencial matricial, é resultante da afinidade da água com a matriz do solo, devido as forças adsortivas e de capilaridade oriundas das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem no solo (Gomide)

A distribuição de água no bulbo molhado depende do volume, da vazão do gotejador, da posição, da disposição dos gotejadores, do número de gotejadores, das propriedades físicas do solo, como textura, densidade do solo e seu grau de compactação modificam o bulbo húmido, de sua distribuição espacial, da actividade do sistema radicular das plantas e do manejo da irrigação (COELHO & OR, 1996). Em solos argilosos, o bulbo tende a ser mais extenso lateralmente e pouco profundo, devido às forças capilares mais acentuadas nesses solos.

2.1. Classificação dos sistemas de rega

Há muitos séculos que o homem pratica a rega sem cuidados de maior, sem se preocupar em fornecer ao solo as dotações mais apropriadas. À medida que se vai verificando que as disponibilidades de água doce à superfície terrestre se tornam cada vez mais insuficientes, torna-se cada vez mais importante realizar as regas de forma racional, ou seja, de maneira a que se forneçam as quantidades exactas de água doce às plantas cultivadas. Actualmente existem vários processos de fornecimento de água ao solo sendo a sua selecção efectuada em função de diversos factores como a natureza das culturas, o investimento, a topografia e a textura do terreno, o clima e a mão-de-obra (VICENTE, Dezembro de 2015)

Em rigor, devido às características de cada processo de rega, não existe nenhuma classificação dos sistemas que seja perfeita. Na realidade existem várias classificações desenvolvidas por vários autores que tentam agrupar os sistemas de rega de acordo com as suas características comuns.

Para a realização deste trabalho optou-se por considerar a classificação descrita por (Raposo, 1996) onde divide em dois grandes grupos os sistemas de rega: Rega por gravidade; Rega sob pressão.

2.1.1. Pivô central

O Pivô Central é uma técnica de irrigação que é fundamental para agricultura, especialmente quando se fala em grandes escalas de produção. Apesar de demandar um orçamento maior para sua implantação, o retorno sobre o investimento é bastante atrativo.

O Pivô Central de irrigação é uma tecnologia na qual a irrigação é feita por meio de uma torre, com uma estrutura suspensa que gira de forma circular para a parte superior da plantação. A estrutura possui motor e rodas para que haja o deslocamento. Em um sistema com pivô central, uma área circular é projetada para receber uma estrutura suspensa que, em seu centro, recebe uma tubulação. Por meio de um raio que gira em toda área circular, a água é aspergida por cima da plantação. Assim, o pivô é a fonte fornecedora de água e de energia elétrica. Apesar de parecer uma máquina simples, o pivô central reúne uma estrutura bastante complexa, deve ser calibrada corretamente. Os aspersores e os componentes elétricos precisam trabalhar corretamente para garantir o funcionamento da máquina no campo.

A tubulação que recebe a água de um dispositivo central, sob pressão, chamado de ponto do pivô, se apoia em torres metálicas triangulares. As torres movem-se continuamente acionadas por dispositivos elétricos ou hidráulicos, descrevendo movimentos concêntricos ao redor do ponto do pivô.

2.1.1.1. Principais vantagens do Pivô Central

Não é novidade que a irrigação é essencial para garantir boa produtividade o ano inteiro, independente da falta de chuvas. Afinal, é um modo de manter o ambiente controlado, minimizando prejuízos causados pelo período de seca, principalmente quando ele não é esperado. O agricultor que pretende se tornar um irrigante tem diversas opções de sistemas de irrigação, softwares de gestão e marcas. Porém, antes de realizar qualquer escolha de equipamento, ele tem que entender quais os resultados ele pretende alcançar na fazenda.

Por permitir a aplicação de maneira precisa de água e fertilizante nas culturas, há uma grande aceitação entre os produtores rurais do pivô central, principalmente em grandes plantações.

Então, entre as principais vantagens dessa técnica, podemos destacar:

- Simplicidade na operação;
- Eficiência no uso de água e energia;
- Baixo custo com mão de obra, depois de instalado;
- Irrigação para longas distâncias;
- Facilidade de adaptação em fazenda com solo regular e grandes extensões;
- Eficiência e facilidade na aplicação de fertilizantes na aplicação.

Por outro lado, o pivô central possui algumas limitações como a impossibilidade de ser usado em áreas menores, alto investimento inicial, e o fato de não ser indicado para solos irregulares.

2.1.2. Irrigação por superfície

Na irrigação por superfície, a água é aplicada diretamente sobre a superfície do solo. Este método de irrigação predomina nas principais regiões irrigadas do mundo. Dentre as modalidades de aplicação superficial, destacam-se a irrigação por sulcos, por inundação, em faixas e em taças.

Para viabilização deste sistema de irrigação, é fundamental grande disponibilidade de água, terreno plano e solos com baixa capacidade de infiltração. A baixa taxa de infiltração dos solos é um parâmetro desejável para a utilização deste método, caso contrário ter-se-á uma grande rede de sulcos curtos, que dificultam ou até inviabilizam o manejo e a operação do sistema de irrigação no campo, além de reduzir drasticamente a eficiência de aplicação de água no sistema. Uma das razões da pouca utilização deste sistema no Estado de São Paulo é devido às características dos solos, pois os sulcos teriam comprimento reduzido e dificultariam sua operacionalização.

A irrigação por superfície é de baixo custo inicial, de fácil operação após a implantação, não é afetado pelo vento, com baixo consumo de energia, não interferindo no controle fitossanitário.

A uniformidade de aplicação do sistema é baixa, quando comparada com os métodos de irrigação pressurizados; a demanda de água é alta quanto a topografia do terreno; não se adapta bem a solos permeáveis e algumas vezes necessita de sistematização da área e controle das perdas por percolação profunda.

2.2. Perdas de água no solo

A evapotranspiração compreende as perdas de água provocadas por evaporação no solo e pela transpiração da planta.

Na irrigação localizada, as perdas por evaporação são menores comparativamente às perdas existentes em sistemas de rega que molham toda a superfície do solo, podendo, em contrapartida, a transpiração ser maior na rega localizada devido ao maior aquecimento do solo seco que provoca o aumento da temperatura da folhagem (Yagüe, 1996).

2.3. Humidade do solo

A água é um componente essencial para todos os seres vivos. Embora seja uma das mais simples substâncias químicas da natureza, possui propriedades únicas que promovem uma ampla variedade de processos físicos, químicos e biológicos. Estes processos influenciam consideravelmente quase todos os aspectos do desenvolvimento e comportamento do solo, desde o intemperismo dos minerais à decomposição da matéria orgânica e, do crescimento das plantas à contaminação do lençol freático.

A retenção e o movimento da água no solo, sua absorção e translocação nas plantas, e sua perda para a atmosfera são fenômenos relacionados à energia. Diferentes tipos de energia estão envolvidos, incluindo energia potencial e cinética. A energia cinética é certamente um fator importante no movimento da água em um rio, mas o movimento da água nos solos é tão lento que o componente da energia cinética pode ser desprezado. A energia potencial é a mais importante na determinação do estado e movimento da água no solo.

Ao considerarmos a energia, devemos ter em mente que todas as substâncias, incluindo a água, tendem a se mover ou mudar de um estado de maior energia para um de menor. Portanto, se conhecermos os níveis de energia em diferentes pontos no solo, pode-se prever a direção do movimento. São as diferenças nos níveis de energia entre locais vizinhos que influenciam o movimento da água.

2.9. Determinação da granulometria

Determinar as dimensões das partículas e suas proporções relativas de ocorrência de forma a se obter o traçado da curva granulométrica de um determinado solo.

A curva granulométrica apresenta intervalos de variação do tamanho das partículas de cada um dos solos, sendo utilizada na classificação textural dos solos. Ela permite também, obter valores de diâmetros necessários ao cálculo de parâmetros como os coeficientes de uniformidade e curvatura do solo.

2.10. Infiltração

A infiltração é o nome dado ao processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. É um processo de muita importância prática, uma vez que afecta directamente o escoamento superficial. A infiltração tem duas grandes grandezas características, sendo elas (Carvalho e Silva, 2006):

- Capacidade de infiltração;
- Taxa de infiltração.

A capacidade de infiltração, expressa geralmente em mm.h^{-1} , é definida como a quantidade máxima de água que pode infiltrar no solo, num dado intervalo de tempo. Pode ser dividida em dois grandes regimes. Inicialmente, a absorção da água ocorre segundo um regime transitório onde a taxa de infiltração é elevada mas tende a diminuir até atingir o regime estacionário, onde a taxa de infiltração se mantém aproximadamente constante ao longo do tempo (VICENTE, 2015) A taxa de infiltração, também expressa em mm.h^{-1} , é entendida como o volume de água, por unidade de área, que efectivamente atravessa a superfície do solo, por unidade de tempo. Ou seja, é a velocidade com que a água se infiltra no solo e depende da quantidade de água disponível (precipitação) e da sua variação anterior (VICENTE, 2015)

No caso da irrigação, é fundamental conhecer o comportamento do solo em regime estacionário, pois idealmente, um sistema de rega nunca deve fornecer uma quantidade de água superior à que pode ser absorvida pelo solo. Se estes requisitos não forem cumpridos, resultam impactos negativos na eficiência da rega.

2.11. Eficiência de rega

A eficiência de rega (ES) é considerada como a fracção de água que, partindo do sistema abastecedor, chega à planta e depende principalmente da qualidade do projecto do sistema de rega e do modo como este é mantido e operado (Pereira, 2004).

A perda de água por fugas no sistema de transporte e distribuição está relacionada com a concepção e manutenção dos sistemas, devendo ser monitorizada e corrigida no âmbito do trabalho de gestão de rega

A eficiência de aplicação da água está directamente relacionada com a uniformidade de aplicação. A aplicação da água de maneira não uniforme, para além de aumentar a quantidade de água utilizada, origina problemas de saturação do solo, lixiviação de fertilizantes e erosão. De acordo com (Raposo, 1996), a gama de eficiência de rega por aspersão está compreendida entre 70% e 90%, sendo habitual considerar o valor médio para os cálculos.

A realização de regas a horas de muito calor, em zonas onde a radiação solar é muito intensa e a humidade relativa muito baixa, diminui a eficiência de rega e também a dotação de rega. Nestas circunstâncias, é preferível realizar as regas de manhã ou durante a noite.

2.13. Curva de Pf

A curva de retenção de água no solo expressa a relação entre o conteúdo de água, em base de massa ou volume, e o potencial matricial da água no solo (força de ligação entre as moléculas de água e as partículas de solo). A retenção da água no solo é afetada por uma série de fatores, mas principalmente pela distribuição relativa do tamanho (granulometria), da forma e do arranjo das partículas do solo.

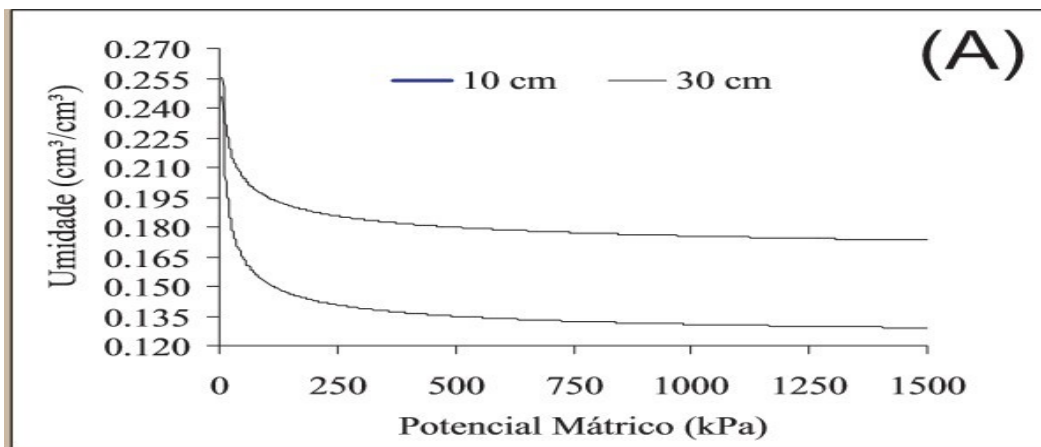


Figura1: Curva de retenção de água no solo - textura argilo-arenosa (Barbour, 1998).

A curva de retenção de água no solo, também conhecida como curva característica de água no solo, apresenta diversas aplicações práticas, técnicas e científicas, tais como: a determinação da capacidade de campo do solo, do ponto de murcha permanente e da disponibilidade total de água no solo, variáveis indispensáveis para um adequado manejo de irrigação e balanço hídrico de água no solo.

2.14. Importância do monitoramento da humidade na agricultura

Existem métodos diretos e indiretos para a sua obtenção. No método direto, o gravimétrico é o padrão, sendo preciso e de custo relativamente baixo. Entretanto, este método é destrutivo (uma amostra de solo deve ser removida para cada medida), e não pode ser automatizado, tornando-o assim pouco adequado para monitorar o teor de água no solo. Já os métodos indiretos são aqueles que estimam o teor de água no solo a partir de propriedades físicas do solo, permitindo assim, que se façam muitas leituras em um mesmo local, sem retirar nenhuma amostra de solo. Os imprevistos na área agrícola são muitos. Eles vão desde chuvas e geadas até o ataque de pragas e doenças nas plantas. Em um mercado cada vez mais competitivo, somente aqueles produtores que investem infra-estrutura e alta tecnologia é que se manterão na actividade.

Por ser inibidora de gastos com água e energia eléctrica, e por prevenir doenças, o monitoramento da umidade do solo tem sido cada vez mais importante na agricultura. Ao conhecer a quantidade de água disponível no solo, o produtor rural pode irrigar somente quando necessário. (BRANDERALI, 2018)

Mais importante ainda, é que o agricultor tenha a possibilidade de ter estudo diferenciado das áreas dentro de sua propriedade, mostrando quais têm maior facilidade ou dificuldade de reter água. Esse acompanhamento evita a incidência de doenças na plantação, decorrente da qualidade de água aplicada.

2.15. Descrição do material a ser usado no estudo

2.15.1. Tensímetros

O tensímetro é um aparelho empregado para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo e pode ajudar no controle da irrigação. O valor da tensão da água retida no solo é correlacionado com o teor de umidade existente no perfil, formando a curva de retenção de água no solo.

O tensímetro consiste em uma cápsula porosa, geralmente de cerâmica ou porcelana, conectada a um medidor de vácuo (que pode ser um vacuômetro metálico ou um manômetro de mercúrio) através de um tubo plástico ou de outro material, tendo todas as partes preenchidas com água. A cápsula porosa é permeável à água e aos solutos na solução do solo, sendo, entretanto, impermeável a gases e à matriz do solo, até determinado nível de tensão (EMBRaMPa, 1999) O tensímetro, aparelho desenvolvido por Gardner em 1922 (Camargo e tal., 1982), é empregado para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo, também conhecido por potencial matricial. Dispondo-se da relação entre o conteúdo de água no solo e a tensão em que ele se encontra pode-se estabelecer, indirectamente, o teor de água no solo a partir das leituras desse aparelho.

O tensímetro é constituído por um tubo de PVC ou acrílico, uma cápsula de porcelana porosa, um tampão e um vacuômetro. A cápsula de porcelana fica localizada na extremidade inferior do tubo e o tampão e o vacuômetro na parte superior. O vacuômetro pode ser metálico ou de coluna de mercúrio. No manejo de irrigação, o mais usual é a utilização do tensímetro com manômetro metálico. Estes instrumentos são instalados dois a dois, um atingindo o limite da profundidade efetiva das raízes, denominado tensímetro de controlo, e o outro, na metade dessa profundidade, denominado tensímetro de decisão.

Nogueira e tal. (2000) afirmam que, para efeito de cálculo dos limites do bulbo húmido, a expansão do bulbo é determinada pela isolinha de umidade mais próxima do emissor que permanece inalterada, após sucessivas irrigações.

2.15.2. Funcionamento e princípio de operação

O funcionamento do tensímetro é simples. Após estar completamente cheio de água e em solo saturado, nenhuma água passará pela cápsula e não haverá vácuo. À medida que o solo seca, a água sai do tensímetro através da cápsula porosa, criando um vácuo no interior do tubo equivalente

à tensão da água no solo. A magnitude desse vácuo será indicada no manómetro conectado ao tensímetro. De forma inversa, após uma chuva ou irrigação, o teor de água no solo é aumentado e a água passa do solo para o tensímetro através da cápsula e as leituras de vácuo ficam mais baixas (Azevedo *et al.*, 1983a).

Em razão de seu princípio de operação, as leituras dos tensímetros são a expressão da energia necessária para a água ser liberada das superfícies das partículas do solo, onde se encontra retida. Considerando que o tensímetro mede energia, o tipo de solo não determina diferenças apreciáveis. Assim, por exemplo, uma leitura de 40 centibares (cbar) em solos argilosos e arenosos significa que as plantas aí cultivadas estarão sujeitas à mesma energia de retenção de água. No entanto, como os solos argilosos retêm, naturalmente, mais água que os arenosos, para o mesmo nível de tensão, o tempo para esgotamento da água armazenada no solo argiloso será maior que no arenoso. E, finalmente, como as leituras do tensímetro não dependem do tipo de solo, sua utilização é feita sem necessidade de calibração.

O funcionamento do tensímetro depende da formação de vácuo em seu interior. Por causa disto, seu limite de operação depende do ponto em que a água, sob vácuo, entra em processo de cavitação, ou seja, começa haver a formação acentuada de bolhas de vapor d'água dentro do sistema. Nesse momento, há pronunciada redução da sensibilidade das medidas do tensímetro. O limite superior de medidas do tensímetro diminui com a altitude do lugar e com a temperatura da água. No entanto, em geral, toma-se o valor de 80 cbar (80 kPa) como limite de leitura máxima de operação do tensímetro.

Normalmente, os tensímetros vêm com escalas de medidas correspondentes a uma variação de 0 a 100 cbar. Por exemplo, se o tensímetro vier com uma escala expressa em cbar, a faixa de medidas será de 0 a 100 cbar. Nessa escala, a leitura zero indica que o solo está saturado e que as raízes das plantas podem sofrer pela falta de oxigênio. De 20 a 60 cbar, o teor de água no solo é adequado à maioria das culturas.

2.15.3. Preparação de tensímetros para instalação

Na preparação dos tensímetros para instalação, deve-se observar os seguintes procedimentos (T. W. Prosser Company (s.d.):

- a) Normalmente, os instrumentos são recebidos vazios. Após retirá-los da embalagem de transporte, remova a proteção da cápsula e preencha todos os aparelhos com água destilada ou

filtrada, visando à eliminação de impurezas, use água fervida e fria para retirar os gases dissolvidos;

b) Depois da saturação, passe uma escova sobre a cápsula utilizando-se de escova de cerdas rígidas. Com um pano, limpe a cápsula;

c) Com os tensímetros sobre um suporte e no ar ambiente, observe a formação de gotículas de água sobre a cápsula, indicando que os aparelhos estão rigorosamente saturados;

d) Retorne as cápsulas para um recipiente com água livre de ar e permita que elas fiquem imersas durante uma semana. Mantenha nível de água no interior dos instrumentos para saturar todas as superfícies plásticas interiores;

e) Com as cápsulas submersas em água, aplique a bombinha manual de vácuo até que as bolhas de ar desapareçam, na subida, em direção ao medidor de vácuo. Mantenha o vácuo por dois ou três minutos com a cápsula submersa em água, visando à remoção de bolhas de ar dos poros da cápsula porosa;

f) Se necessário, encha o tensímetro com água, aperte a tampa e coloque-o no ar ambiente ou em uma caixa com solo seco. O ponteiro do vacuômetro elevar-se-á devido à saída de água através da cápsula para o ar ou solo seco;

h) Com um pano, elimine a água que está sobre a cápsula porosa e repita os passos de f a g. Leituras de 70 cbar ou maiores serão obtidas devido à remoção de ar. O movimento do ponteiro será mais rápido. Essa operação deverá ser repetida, caso a leitura de 70 ou mais cbar não seja obtida.

Cubra as cápsulas com papel toalha umedecido até que os buracos no local de instalação sejam preparados. Os tensímetros estão prontos para serem instalados.

2.15.4. Instalação

Geralmente, são escolhidos locais representativos da área para instalação dos tensímetros, devendo-se assinalar visivelmente suas posições para evitar danificá-los. A instalação do tensímetro deve ser feita de maneira que a cápsula fique na região de maior concentração do sistema radicular

Para uma boa instalação, a preparação do buraco, usando-se um trado ou um pedaço de cano de ferro ou PVC rígido, deve ser realizada com o solo húmido e no mesmo diâmetro do tubo do tensímetro. É importante colocar a cápsula na profundidade exata de instalação. Evite buracos maiores que a profundidade estabelecida, para impedir a acumulação de ar e de água nas

imediações da cápsula, afetando a acurácia das leituras. Deve-se comprimir levemente o solo da superfície ao redor do tensímetro, para que a água de irrigação ou de chuva não alcance a cápsula pelo espaço deixado entre o tubo do tensímetro e o solo. O contato da cápsula com o solo é fundamental para leituras precisas. Se o buraco for bem maior que o diâmetro do tubo, e a cápsula não ficar em contato perfeito com o solo, falsas leituras ocorrerão na faixa alta do vacuômetro.

Leituras inconsistentes na faixa baixa da escala do vacuômetro podem acontecer, quando a água de chuva ou de irrigações escorrer por entre o tubo e o solo, alcançando a cápsula.

O uso do tensímetro torna-se mais eficiente quando as leituras são anotadas e também colocadas em gráficos.

2.15.5. Problemas comuns e medidas correctivas

De acordo com Azevedo et al. (1983a), o tensímetro pode apresentar alguns problemas como:

- a) Manômetro enferrujado em virtude da penetração de água no seu interior;
- b) Vazamento na tampa, nas conexões ou no medidor, permitindo a entrada de ar para dentro do aparelho;
- c) A tampa rachada devido à exposição ao sol;
- d) Desafeição do ponteiro por causa da força com que este volta e bate no pino de aferição. Isto acontece em razão da retirada brusca da tampa quando a leitura é alta;
- e) Resposta lenta à variação de umidade em virtude da deposição de material do solo na superfície da cápsula.

2.15.6. Testes dos tensímetros

Antes de se proceder à instalação dos tensímetros no campo, deve-se realizar uma série de testes para verificar a integridade do instrumento em relação a possíveis vazamentos. É importante salientar que o tensímetro, em pleno funcionamento, opera à semelhança de uma câmara hermeticamente fechada e, portanto, a verificação de sua integridade funcional consiste em basicamente detectar possíveis pontos de entrada de ar na faixa normal de operação (0 a 80 cbar).

2.15.7. Uso do tensímetro para irrigação

O intervalo de medida do tensímetro é importante para o manejo da irrigação mesmo representando pequena fração do intervalo de potenciais de água no qual as plantas conseguem extrair a água do solo (Campbell & Mulla, 1990). Segundo esses autores isso é verdade, porque a absorção de água pelas plantas frequentemente começa a cair abaixo da taxa de absorção potencial antes que o

potencial de água no solo na zona radicular alcance valores fora do intervalo prático de medida do tensímetro.

2.15.8. Leituras dos tensímetros

As unidades de medidas utilizadas nos tensímetros são bastante variadas. Elas podem vir expressas em unidades como kilopascal (kPa), atmosfera (atm), bária (bar), centímetros de água (cmH₂O), centibária (cbar), centímetros de mercúrio (cmHg), milímetros de mercúrio (mmHg).

2.16. Modelos matemáticos

A partir dos dados obtidos nos ensaios para determinar a curva de retenção de água no solo, vários autores fizeram regressões numéricas para se chegar a um modelo matemático que melhor represente esta relação. Os modelos de Brooks e Corey (1964), van Genuchten (1980) e Fredlund e Xing (1994) são exemplos de modelos matemáticos importantes, que foram estudados neste trabalho.

Segundo Lu e Likos (2004), o modelo de van Genuchten (1980) permite que os parâmetros n' e m possam ser independentes ou não. Fazendo os ajustes das curvas considerando estes parâmetros independentes torna o modelo mais flexível (van GENUCHTEN et al., 1991).

A modelagem matemática consiste na arte de expressar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los, interpretando suas soluções na linguagem do mundo real. É um processo dinâmico, utilizado para a obtenção e validação de modelos matemáticos. A modelagem é eficiente a partir do momento que se tem consciência do fato de se estar sempre trabalhando com aproximações da realidade, ou seja, de estar sempre elaborando sobre representações de um sistema ou parte dele (BASSANEZI, 2004).

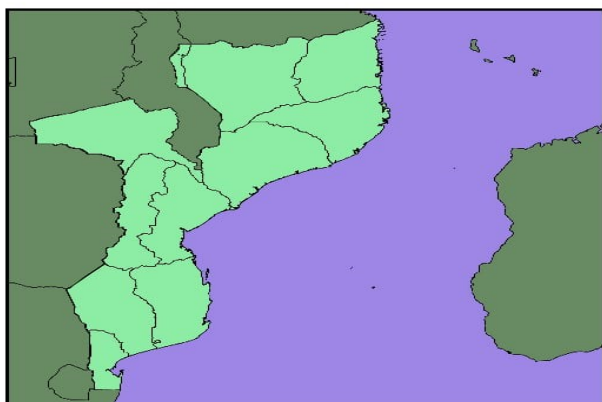
III. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Materiais

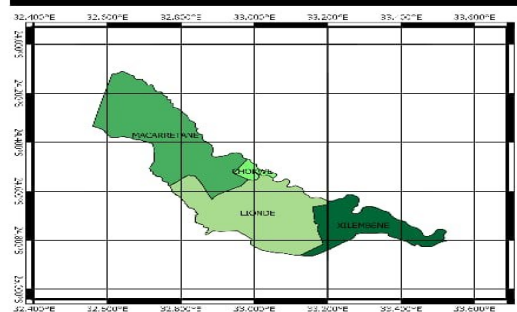
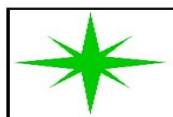
Item	Quantidade	Observação
Bloco de notas	1	Para realizar anotações diárias no campo.
Caneta	1	Para realizar anotações diárias no campo.
Computador	1	Armazenamento e análise de dados
Mira	2	Levantamento topográfico
Peneiras	6	Análise granulométrica
Estufa	1	Teste de humidade do solo
Infiltrómetros de anéis duplos	2	Para o teste de infiltração
Balde	2	Para levar água ao campus
Tensiómetros	8	Para leituras de tensão no solo

Fonte: Autor

3.2. Caracterização da área em estudo



Legenda	
	Distrito de Chokwe
	CHOKWE
	LJONDE
	MACARRETANE
	XILEMBENE
	Província de Gaza
	Mapa Mundial



Fonte: Autor



Fonte: Autor

3.3.Solo

De acordo com a carta de solos do distrito e perímetro irrigado de Chókwè o solo da região é o solo do tipo M2, pois satisfaz os requisitos:

Encontrar-se fora do regadio de Chókwè;

- Ocupar maior área no distrito;
- Estar próximo de uma fonte de água.

Os solos do tipo M2 são superficiais pouco profundos (0-25 cm), com uma cobertura arenosa de 25-50 cm de espessura acima de um horizonte B extremamente duro. Este último é desenvolvido em material de Mananga calcário, salino e sódico. Os solos são imperfeitamente drenados (INIA, 1993).

3. 4. Metodologia

A fase experimental deste trabalho foi desenvolvida em condições de campo, onde somente foram controlados a frequência e a quantidade de água de irrigação. A peculiaridade da proposta metodológica é porque os estudos prévios determinaram que a área é considerada homogênea com relação aos atributos físicos-hídricos e químicos do solo.

Os tratamentos culturais e insumos adotados foram adequadamente aplicados na área experimental e o controle efetivo da irrigação começou a ser realizado 24 horas após a semeadura e rega.

3.4.1. Análises do solo

Para efeitos do levantamento hidráulico, usou-se a mira e para a criação dos mapas o programa SARF. No que diz respeito ao material usado para obtenção da curva granulométrica, recorreu-se ao método de peneiramento no laboratório de solo e águas do ISPG e usando como metodologia a NBR e para o teste de infiltração da água do solo recorreu-se a normas usadas na instituição, que seria o uso de infiltrometros de anéis duplos.

3.4.2. Monitorar a humidade do solo

A profundidade do sistema radicular foi considerada fixa (20cm), para efeito do controle da umidade de água no solo e os tensímetros instalados a 20 de profundidade quantificaram o potencial matricial do perfil do solo, isto é 75% do valor da profundidade efetiva do sistema radicular. A camada de entre 20 a 35cm de profundidade, foi considerada domínio dos tensímetros localizados a 35cm de profundidade.

A escolha do horário, foi para evitar a influência da temperatura atmosférica, uma vez que os solos nessa região até as 10 horas da manhã é possível verificar a existência de cacimba em alguns períodos. Foram realizadas avaliações em um sistema de sulcos, pivô central e cegonha, utilizando a metodologia proposta por KELLER e KARMELI (1975). Concentrou-se nessa pesquisa em determinar as relações de teor de humidade versus o valor de sucção matricial, conhecidas por curvas características de sucção ou curvas de retenção, para o solo da camada superficial do campo Experimental do ISPG.

3.4.3. Controlo da irrigação

Uma fórmula geral para calcular o potencial de água no solo pode ser apresentada da seguinte forma:

$$Ym = L + 0,098 c$$

Onde: L é a leitura do manômetro em cbar ou kPa, e c é o comprimento do tensiômetro (distância do meio da cápsula porosa até o vacuômetro) em centímetros; o decimal 0,098 é fator de ajuste de unidades.

3.4.3. Determinação da quantidade de água disponível

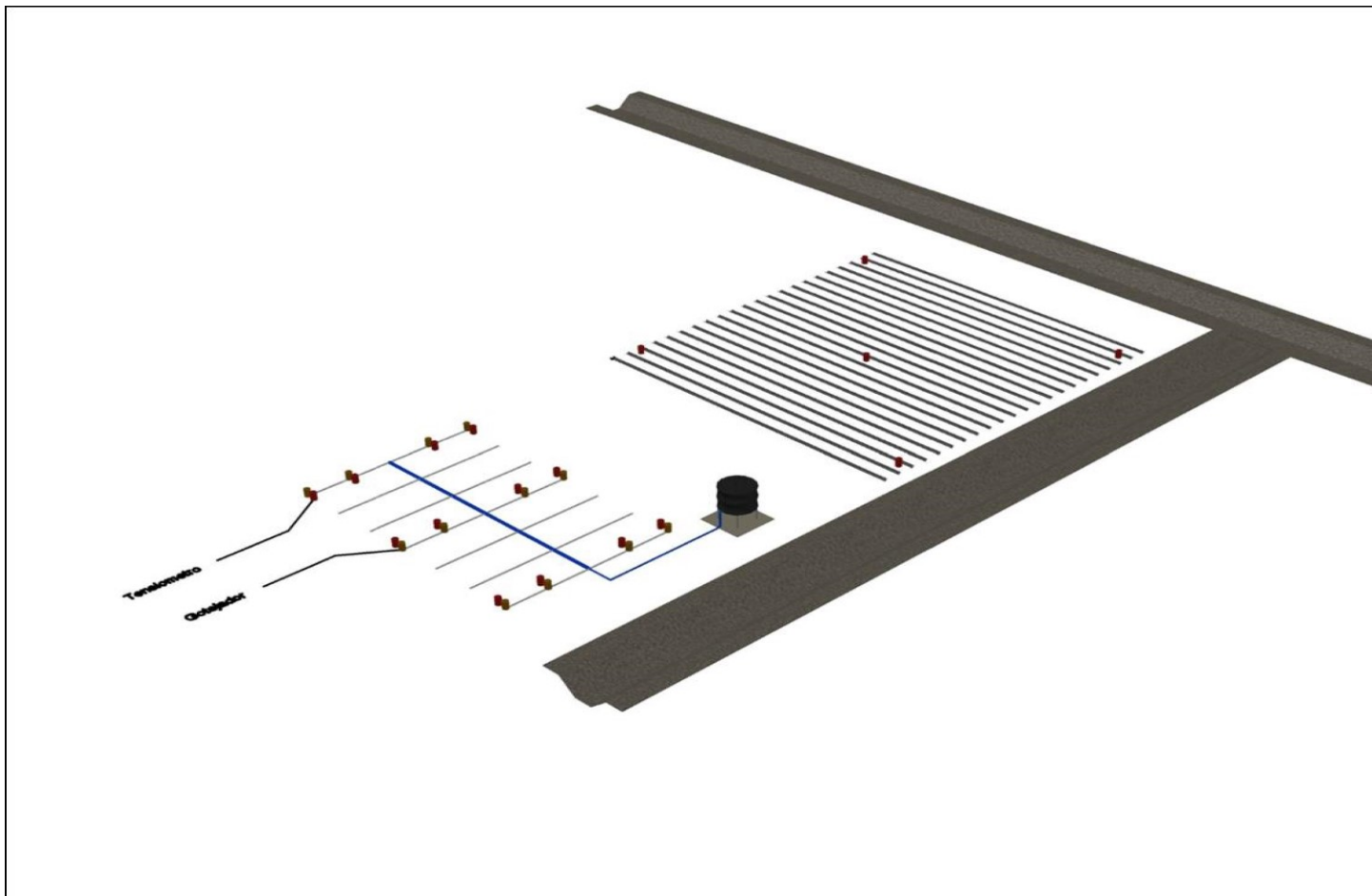
Para a determinação da água disponível, fez-se a curva de retenção da água no solo e para que esses dados expressassem a realidade local, recorreu-se ao modelo matemático de Van Genuchten.

$$\theta = \theta_r + \left\{ \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha\psi)^n\right]^m} \right\}$$

3.4.4. Pluviómetro e irrigação

A medida da precipitação pluvial e da irrigação (no pivô) foi feita através de 4 colectores com capacidade de um litro, apresentando área de captação de 53 cm^2 , resultando uma relação volume/lamina de 5.3 mL/mm .

Layout do sistema

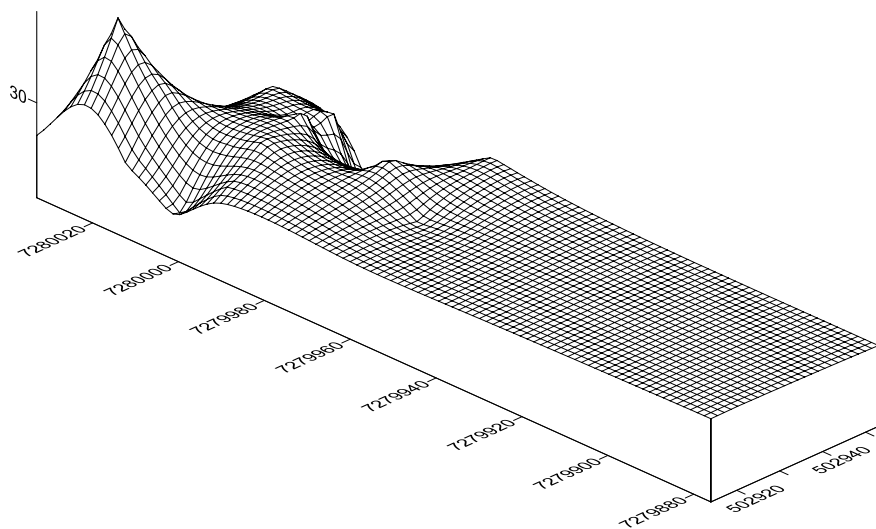


IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ensaio teve duração de um mês para o sistema de rega por sulco e cegonha e duração de uma semana para sistema de rega pivô-central, após a sementeira em função das condições ambientais reinantes e dos tratos culturais aplicados. No total foram três experimentos realizados (1º usando rega por cegonha, o 2º usando rega pelo pivô-central e o terceiro rega por sulco). Durante a realização dos ensaios, as temperaturas mínimas foram respetivamente, 17°C a 19°C e as máximas de 30°C a 37°C.

4.1. Levantamento topográfico

Para efeitos do levantamento hidráulico, usou-se a mira e para a criação dos mapas o programas SARF. Onde pode-se constatar que a área em questão, encontra-se em forma de uma rampa imperfeita, pois, na parte superior pode-se notar zonas mais baixas que as outras. Não houve necessidade de cálculo do volume de terra a se retirar para sistematização do terreno, pois o sistema não apresenta exigências de sistematização para o seu funcionamento. Em anexo, encontrar-se-á os dados usados para o desenho do mapa.



Fonte: Autor

4.2. Análise granulométrica do solo

Determinar as dimensões das partículas e suas proporções relativas de ocorrência de forma a se obter o traçado da curva granulométrica de um determinado solo.

A curva granulométrica apresenta intervalos de variação do tamanho das partículas de cada um dos solos, sendo utilizada na classificação textural dos solos. Ela permite também, obter valores de diâmetros necessários ao cálculo de parâmetros como os coeficientes de uniformidade e curvatura do solo.

De acordo com os resultados laboratoriais, o solo a ser usado para a realização deste trabalho é o solo do tipo M2. Os solos do tipo M2 são superficiais pouco profundos (0-25 cm), com uma cobertura arenosa de 25-50 cm de espessura acima de um horizonte B extremamente duro. Este último é desenvolvido em material de Mananga calcário, salino e sódico. Os solos são imperfeitamente drenados (INIA, 1993).

4.3. Teste de infiltração

Com os dados colectados procedeu-se com a determinação da equação característica da infiltração, da velocidade de infiltração e da velocidade de infiltração básica, de acordo com a metodologia de Nunes et. al, (2012).

O teste de infiltração levado a cabo no início das actividades permitiu pelos métodos empíricos a obtenção resultados, cuja velocidade de infiltração básica foi classificada como alta, por estar entre os $1,5 < VIB < 3,0$ cm/h

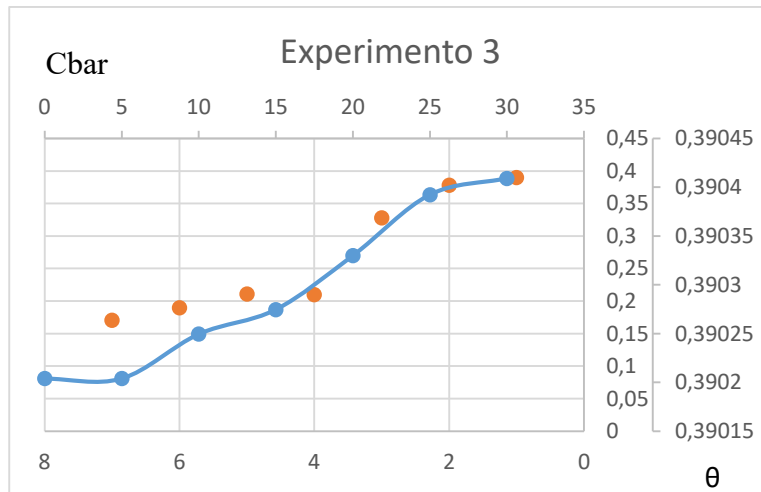
Parâmetros	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
A	0,06	0,13	-0,41	-0,07
K * 10³	1,16	1,33	0,39	0,96
A = b	0,47	0,35	0,67	0,50
I (cm)	8,08	5,66	5,96	6,57
VI (cm/h)	3,83	2,00	3,98	3,27
VIB (cm/h)	2,52	1,48	3,26	2,53

Fonte: Autor

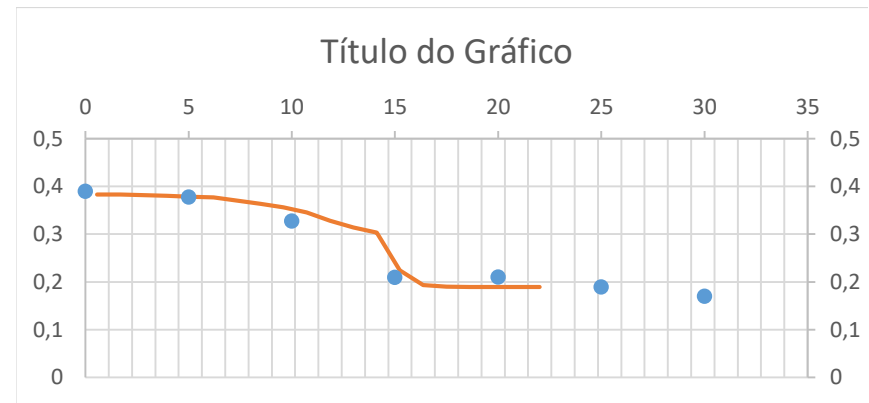
4.4. Controlo da irrigação

O controlo da irrigação realizado através de tensiometro indicou a primeira rega 30 dias depois da sementeira. A análise dos resultados do controlo foi desenvolvida com base a dois processos que se interrelacionam na Agricultura irrigada, ou seja, humedecimento do solo devido a aplicação da irrigação ou precipitação e a secagem relativa ao tempo em que a cultura absorve agua para as plantas, devido à demanda evapotranspirativa e à drenagem profunda.

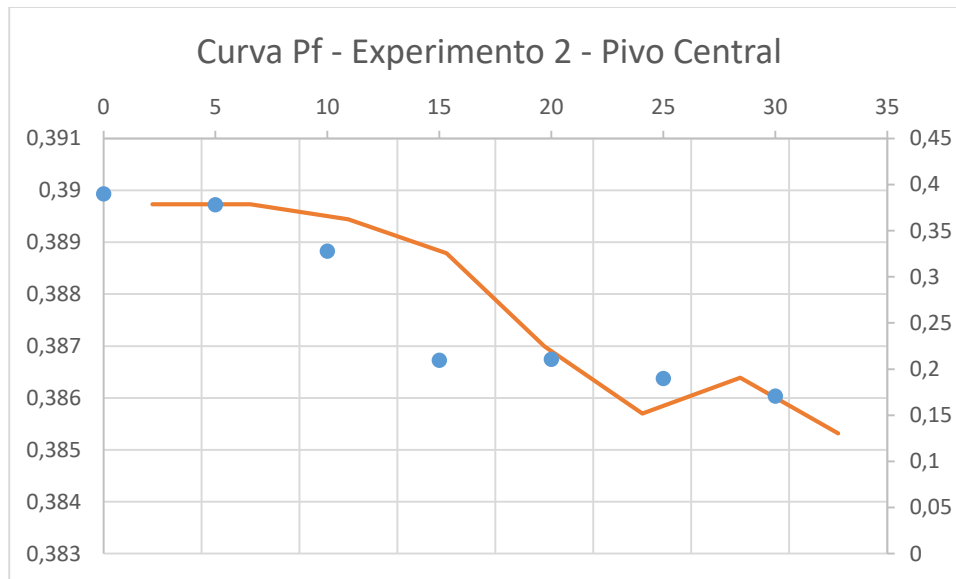
Os graficos a seguir mostram a variação do potencial matricial do solo a 20 e 35 cm de profundidade, mostrando a evidencia e a interação entre as leituras e os intervalos de das (Experimento 1, 2 e 3 respectivamente).



Curva Pf do experimento 3 – Rega por Gravidade



Curva Pf do experimento 1 – Rega por cegonha



Os gráficos de potencial matricial de água no solo, mostram claramente quando o conteúdo de água diminui e o solo fica mais seco, o potencial matricial torna-se maior e a leitura do tensiômetro torna-se mais negativa.

Em geral, os tensiômetros de fundo (T2) experimentaram maior carga de pressão do solo causada pelo fluxo de água para baixo em direção aos tensiômetros de fundo. Isso causou um aumento no teor de umidade do solo no copo de cerâmica do Tensiômetro. Isso ficou evidente após cada teste de infiltração. Devido ao declive suave da área no local do experimento, a água infiltrada migrou dos tensiômetros superiores em direção ao inferior devido ao fluxo de gravidade.

De acordo com esses dados, a leitura do Tensiômetro é 0 nos primeiros 2 dias e depois tornou-se estável e tornou-se cada vez mais negativa. Mas a parte inferior mostra uma tendência perfeita e normal, como esperávamos.

Os resultados mostram que existe uma necessidade grande de se construir um sistema de drenagem no campus, uma vez que o solo tem o poder de armazenamento muito grande de água e o solo em questão já mostra progressivos problemas de retenção de sais.

VI. CONCLUSÃO

O estudo com o tema Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega, foi conduzido no campus do Instituto Superior Politécnico de Gaza. O solo apresenta-se com textura argiloso com mais de 33% na sua composição, em um campo ligeiramente homogéneo em relação a topografia e velocidade de filtração.

Os tensiômetros, foram instalados de modo que, o tensiômetro raso fosse usado para determinar quando a irrigação é necessária e o tensiômetro mais profundo usado para ajustar a quantidade de água a aplicar. Foram registadas leituras dos tensiômetros diariamente, na mesma hora do dia.

Observou-se que não há lixiviação de sais abaixo da zona de enraizamento e os sais podem se acumular e danificar a colheita. O solo em estudo, demonstra grandes capacidades de reter água por muito tempo, culminando assim com a falta da necessidade de se realizar a segunda rega até ao final dos 30 dias, como mostram as leituras nos tensiômetros. Pode-se observar também, que em todo campo manifesta-se a percolação profunda na direção oposta do canal principal de rega.

Os três experimentos realizados, mostraram o mesmo comportamento em termos de tensão de água no solo, concluindo-se com a necessidade de reduzir-se a quantidade de água de rega aplicada nas culturas lá produzidas, como forma de evitar o estresse hídrico devido ao excesso de água e acúmulo de sais que danificam a produtividade da cultura. Tendo apresentado tensões de água no solo entre 2,94 a 28,88 cBar (mínima e máxima respetivamente) num período de 30 dias de estudo. Há possibilidade no uso do algoritmo, de maneira satisfatória, para modelagem matemática sobre a equação de Van Genuchten. De acordo com os coeficientes de correlação, calculados entre a umidade observada e ajustada, há boa confiabilidade na representação da curva através da modelagem. Percebe-se o impacto causado pela textura predominante do solo em estudo, condicionando uma relativa alta capacidade de retenção de água no solo, pois prevalece a presença de microporos em solos argilosos.

Por fim, há possibilidade no uso do algoritmo, de maneira satisfatória, para modelagem matemática sobre a equação de Van Genuchten.

Referências

- Hendrickson, Abonovici, H. Veihmeter F. G. (1949). Methods of measuring field capacity and wilting percentages of soils. Baltimore: SoilSci.
- Bernert, M. R. (2015). Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. Brasi: Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science, Guarapuava-PR, v.8, n.1.
- BRANDERALI, M. (2018). Importancia do monitoramento da umidade do solo na agricultura. Brasil: jornal dia de campo.
- BLANCO, F. F.; FOLEGATTI, M. V. (2002). Manejo da água e nutrientes para o pepino em ambiente protegido sob fertirrigação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 6, n. 2.
- Carvalho, D. F., Silva, L. D. B. (2006). Hidrologia. Capítulo 5 – Infiltração. Universidade Estadual Paulista, p. 60-80.
- CAMEIRA, M.R.; PEREIRA, A.; AHUJA, L., MA, L. (2014). Sustainability and environmental assessment of fertigation in an intensive olive grove under Mediterranean conditions. Agricultural Water Management.
- EMBRaMPa. (1999). Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação. Planaltina-DF.
- EBRAHIMIAN, H.; KESHAVARZ, M. R.; PLAYÁN, E. (2014). Surface fertigation: a review, gaps and needs. Spanish Journal of Agricultural Research, v.12, n. 3.
- Embrapa. (2010). pH e condutividade elétrica do solo sob lâminas de irrigação e doses de adubação nitrogenada em bananeira. Brasil: Embrapa.
- FAO (1974). Soil Map of the World. Volume 5. Food and Agriculture Organization of the United Nations and UNESCO, Paris
- FASSBENDER, H. W. (1986). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San Jose, CR: Instituto Interamericano de Cooperacion para la Agricultura.
- MOTA, P.R.D.; BOAS, R.L.V.; SOUSA, V.F.; RIBEIRO, V.Q. (2007). Desenvolvimento de plantas de crisântemo cultivadas em vaso em resposta a níveis de condutividade elétrica.

Engenharia Agrícola, v.27.

OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. K.T.; SILVA, R. C. P.; LIMA, K. S. (2015). Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. Horticultura Brasileira, v. 33.

Pereira, L.S. (2004). Necessidades de Água e Métodos de Rega. Mem Martins: Publicações Europa-América, Lda, pp. 312.

Raposo, J. R. (1994). A Rega por Aspersão. 2ª ed. Lisboa: Clássica Editora, pp. 358.

Raposo, J. R. (1996). A Rega. Dos Primitivos Regadios às Modernas Técnicas de Rega. 2ª ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 469.

KLEIN, V. .. (2001). UMA PROPOSTA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA CONTROLADO POR TENSÍÔMETROS. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo.

LIBARDI, P. (1999). Dinâmica da água no solo. Piracicaba.

SAAD, A. P. (2002). Uso prático do tensiômetro pelo agricultor irrigante. São Paulo.

VICENTE, S. L. (Dezembro de 2015). Projecto de um sistema de rega para uma exploração agrícola na Beira Interior. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA.

Anexo

1. Leituras dos tensímetros no ensaio 1

Dia	Hora	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
2	10:00	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0	0.0
3	10:00	0.4	0.0	0.3	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0
4	10:00	0.6	0.0	0.5	0.0	0.4	0.0	0.6	0.0
5	10:00	1	0.1	0.8	0.0	0.9	0.1	1.2	00
6	10:00	0.8	0.2	0.6	0.1	1.0	0.3	1.0	00
7	10:00	1.2	0.4	1.6	0.3	1.5	0.5	1.6	0.2
8	10:00	2	0.6	2.1	0.5	1.9	0.7	2.0	0.5
9	10:00	2.5	1.2	2.6	0.8	2.3	1.4	2.4	0.9
10	10:00	3.0	2.0	3.2	1.9	2.7	2	3.7	1.8
11	10:00	4.0	4.3	4.0	3.6	3.3	4.9	4.6	4.0
12	10:00	4.7	5.1	4.6	4.0	4.3	5.0	4.8	4.6
13	10:00	7.4	6.6	5.0	6.7	5.8	7.0	6.9	6.8
13	10:00	9	8	8.4	8.2	9	8.6	9.3	8.0
14	10:00	11	10	12	9.0	13	10	12	9.0
15	10:00	14	13	14	12	15	13	15	12
16	10:00	18	16	17	15	18	17	17	16
17	10:00	21	19	18	17	21	18	19	19
18	10:00	20	18	19	16	20	15	21	18
19	10:00	22	18	20	19	23	17	24	20
20	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
21	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
22	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
23	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
24	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
25	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
26	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

27	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
28	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
29	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00
30	10:00	00	00	00	00	00	00	00	00

2. Tensão no solo no experimento 1

Experimento 1 - (Rega por Cegonha)

Dia	Hora	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	10:00	5.88	2.94	5.88	2.94	5.88	2.94	5.88	2.94
2	10:00	6.08	2.94	5.98	2.94	5.88	2.94	5.88	2.94
3	10:00	6.28	2.94	6.18	2.94	6.08	2.94	6.38	2.94
4	10:00	6.48	2.94	6.38	2.94	6.28	2.94	6.48	2.94
5	10:00	6.88	5.98	6.68	2.94	6.78	3.04	7.08	2.94
6	10:00	6.68	6.08	6.78	5.98	6.88	3.24	6.88	2.94
7	10:00	7.08	6.28	7.48	6.18	7.38	3.44	7.48	3.14
8	10:00	7.88	6.48	7.98	6.38	7.88	3.64	7.88	3.44
9	10:00	8.38	7.08	8.48	6.68	8.18	4.34	8.28	3.84
10	10:00	8.88	7.88	9.08	7.78	8.58	4.94	9.58	4.74
11	10:00	9.88	10.18	9.88	9.48	9.18	7.84	10.48	6.94
12	10:00	10.58	10.98	10.48	9.88	10.18	7.94	10.68	7.54
13	10:00	13.28	12.48	10.88	12.58	11.68	9.94	12.78	9.74
13	10:00	14.88	13.88	14.28	14.08	14.88	11.54	15.18	10.94
14	10:00	22.76	15.88	17.88	14.88	18.88	12.94	17.88	11.94
15	10:00	25.76	18.88	19.88	17.88	20.88	15.94	20.88	17.88
16	10:00	23.88	21.88	22.88	20.88	23.88	19.94	22.88	21.88
17	10:00	26.88	24.88	23.88	22.88	26.88	20.94	24.88	24.88
18	10:00	26.88	23.88	24.88	21.88	25.88	17.94	26.88	23.88
19	10:00	27.88	23.88	25.88	24.88	28.88	19.94	29.88	25.88
20	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
21	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
22	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
23	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
24	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
25	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0

26	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
27	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
28	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
29	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
30	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0

3. Dados das leituras dos tensiometro no experimento 2

Experimento 2 (Pivo-Central)

Dia	Hora	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	10:00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
2	10:00	0.4	0.3	0.5	0.3	0.4	0.2	0.3	0.1
3	10:00	0.6	0.4	0.6	0.5	0.5	0.3	0.5	0.2
4	10:00	0.8	0.6	0.8	0.7	0.7	0.5	0.8	0.4
5	10:00	1.2	1.1	1.3	1.0	0.9	1.0	1.2	0.8
6	10:00	1.6	1.5	1.7	1.4	1.5	1.2	1.4	1.0
7	10:00	2.0	1.8	1.9	1.7	2.0	1.6	2.0	1.4
8	10:00	2.7	2.5	2.4	2.2	2.5	2.1	2.6	2.0

4. Dados das leituras dos tensiometro no experimento 3

Dia	Hora	Grupo 1		Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4	
		T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1	T2
1	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
2	10:00	0	0	0	0	0	0	0	0
3	10:00	0.4	0	0.3	0	0	0	0.5	0
4	10:00	0.6	0	0.5	0	0.4	0	0.6	0
5	10:00	1	0	0.8	0	0.9	0	1.2	0
6	10:00	1.4	0	1.3	0	1.2	0	1.2	0
7	10:00	1.5	0.3	1.4	0	1.5	0.5	1.6	0.2
8	10:00	1.9	0.6	2	0.4	2	0.7	2.1	0.5
9	10:00	2.4	1.2	2.6	0.8	2.5	1	2.4	0.7
10	10:00	3	2	3.2	1.5	2.9	1.3	3	1.2

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

11	10:00	2.7	2	3.1	1.3	2.4	1.1	2.8	1
12	10:00	3.2	2.6	3.5	1.8	2.9	1.7	3.4	1.6
13	10:00	3.9	3.2	5	2.4	4.1	2.9	4	2.5
13	10:00	4.2	3.8	5.1	2.6	4.8	3.4	4.7	3
14	10:00	5	4.3	5.5	3	4.6	4.4	5.1	3.9
15	10:00	5.2	4.8	5.4	3.7	5	4.9	5.6	4.3
16	10:00	5.8	5.3	5.7	4.2	5.4	5.1	6	4.9
17	10:00	5.9	5.6	6	4.4	5.6	5.8	6.2	5.4
18	10:00	6.1	6	6.3	5.2	6	6.4	6.6	5.8
19	10:00	6.5	6.4	6.5	5.8	6.3	6.5	6.7	6
20	10:00	6.9	6.6	6.7	6.2	6.5	6.8	6.8	6.4
21	10:00	7.1	7	6.9	6.8	7.2	7.3	7	6.9
22	10:00	7.5	6	7.2	6.4	7.6	6.9	7.4	6.6
23	10:00	7.6	6.4	7.2	6.7	7.9	7	7.5	7
24	10:00	8	7	7.5	7	8.1	7.4	7.9	7.3
25	10:00	8.4	7.6	7.8	7.4	8.3	7.7	8.2	7.8
26	10:00	8.6	8	8.2	7.9	8.5	8.3	8.6	8.4
27	10:00	9	8.6	8.8	8.3	9	8.9	9.1	8.7
28	10:00	9.5	9.2	9.4	8.9	9.3	9.2	9.5	9.9
29	10:00	9.9	9.8	10	9.5	9.7	9.8	10.1	10
30	10:00	10.3	10.2	10.6	9.9	10.4	10.6	10.5	10.3

5. Tensão no solo no experimento 3

Experimento 3 - (Rega por Sulco)

Column1	Column2	Column3	Column4	Column5	Column6	Column7	Column8	Column9
				Grupo 2		Grupo 3		Grupo 4
Dia	Hora	T1	T2	T1	T2	T1	T2	T1
1	10:00	5,88	2,94	5,88	2,94	5,88	2,94	5,88
2	10:00	5,88	2,94	5,88	2,94	5,88	2,94	5,88
3	10:00	6,28	2,94	6,18	2,94	5,88	2,94	6,38
4	10:00	6,48	2,94	6,48	2,94	6,28	2,94	6,48
5	10:00	6,88	2,94	6,68	2,94	6,78	2,94	7,08

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

6	10:00	7,28	2,94	7,18	2,94	7,08	2,94	7,08
7	10:00	7,38	3,24	7,28	2,94	7,38	3,44	7,48
8	10:00	7,78	3,54	7,88	3,34	7,88	3,64	7,98
9	10:00	8,28	4,14	8,48	3,74	8,38	3,94	8,28
10	10:00	8,88	4,94	9,08	4,44	8,78	4,24	8,88
11	10:00	8,58	4,94	8,98	4,24	8,28	4,04	8,64
12	10:00	9,08	5,54	9,38	4,74	8,78	4,64	9,28
13	10:00	9,78	6,14	10,88	5,34	9,98	5,84	9,88
13	10:00	10,08	6,74	10,98	5,54	10,68	6,34	10,58
14	10:00	10,88	7,24	11,38	5,94	10,48	7,34	10,98
15	10:00	11,08	7,74	11,28	6,64	10,88	7,84	11,48
16	10:00	11,68	8,24	11,58	7,14	11,28	8,04	11,88
17	10:00	11,78	8,54	11,88	7,34	11,48	8,74	12,08
18	10:00	11,98	8,94	12,18	8,14	11,88	9,34	12,48
19	10:00	12,38	9,34	12,38	8,74	12,18	9,44	12,58
20	10:00	12,78	9,54	12,58	9,14	12,38	9,74	12,68
21	10:00	12,98	9,94	12,78	9,74	13,08	10,24	12,88
22	10:00	13,38	8,94	13,08	9,34	13,48	9,84	13,28
23	10:00	13,48	9,34	13,08	9,64	13,78	9,94	13,38
24	10:00	13,88	9,94	13,38	9,94	13,98	10,34	13,78
25	10:00	14,28	10,54	10,74	13,28	11,24	13,58	11,14
26	10:00	14,54	10,94	14,08	10,84	14,38	11,24	14,48
27	10:00	14,88	11,54	14,68	11,24	14,88	11,84	14,98
28	10:00	15,38	12,14	15,28	11,84	15,18	12,14	15,38
29	10:00	15,78	12,74	15,88	12,44	15,58	12,74	15,98
30	10:00	16,18	13,14	16,48	12,84	16,28	13,54	16,38

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

Dados de levantamento topografico									
L. Re	L. Interm	L. Vante	Elevacao	UTM			Ascecao	Queda	
1.431			30	728003 2	36j05002921				30
	1.670		30	728003 3	36j0502934			0.239	29.761
	1.850		30	728002 1	36j0502934			0.18	29.82
	1.410		29	728002 2	36j0502922	0.44			30.44
	1.469		29	728002 4	36j0502936			0.059	29.941
	1.814		29	728002 5	36j0502947			0.345	29.655
	1.920		27	728001 2	36j0502914			0.106	29.894
	1.762		28	728001 3	36j0502924	0.158			30.158
	1.689		28	728001 4	36j0502939			0.073	29.927
	1.723		28	728001 2	36j0502948			0.034	29.966
	1.970		27	728000 1	36j0502916			0.247	29.753
	1.960		27	728000 0	36j0502925	0.01			30.01

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

	2.040		27	727999 9	36j0502941		0.08	29.92
	1.963		27	727999 7	36j0502940	0.077		30.077
	1.991		26	727999 8	36j0502948		0.028	29.972
	2.042		26	727999 2	36j0502917		0.051	29.949
	1.975		26	727999 3	36j0502927	0.067		30.067
	1.829		26	727999 4	36j0502942		0.146	29.854
	2.285		26	727999 4	36j0502951		0.456	29.544
	2.338		26	727987 6	36j0502920		0.053	29.947
	2.285		25	727997 5	36j0502938	0.053		30.053
	2.346		25	727998 0	36j0502938		0.061	29.939
	2.350		25	727996 3	36j0502933		0.096	29.904
	2.381		25	727996 4	36j0502940		0.031	29.969
		2.379	24	727996 6	36j0502953		0.002	29.998

Teste de Filtração

X = Log Tac	Y = Log Iac	X ²	XY
-0.77	-0.22	0.59	0.17
-0.47	-0.10	0.22	0.05
-0.30	-0.25	0.09	0.02
-0.17	0	0.03	0
-0.08	0.04	6.4 x 10 ⁻³	-3.2 x 10 ⁻³
0	0.08	0	0
0.07	0.11	4.9 x 10 ⁻³	7.7 x 10 ⁻³
0.12	0.15	0.01	0.02
0.26	0.18	0.07	0.05
0.37	0.23	0.14	0.09
0.45	0.28	0.20	0.13
0.52	0.30	0.27	0.16
0.58	0.32	0.34	0.19
0.68	0.38	0.46	0.26
0.77	0.40	0.59	0.31
0.83	0.41	0.69	0.34
0.89	0.45	0.79	0.40
0.95	0.48	0.90	0.46
0.99	0.51	0.98	0.50
1.05	0.53	1.10	0.56
1.11	0.56	1.23	0.62
1.16	0.58	1.35	0.67
1.20	0.60	1.44	0.72
1.24	0.61	1.54	0.76
1.29	0.64	1.66	0.83
1.33	0.66	1.77	0.88
1.37	0.68	1.88	0.93

Avaliação da humidade do solo em função da lâmina aplicada em diferentes sistemas de rega

1.40	0.69	1.96	0.97
1.44	0.72	2.07	1.04
1.47	0.74	2.16	2.09
1.51	0.76	2.28	1.15
1.54	0.78	2.37	1.20
1.57	0.79	2.46	1.24
1.61	0.81	2.59	1.30
1.67	0.85	2.79	1.42
1.69	0.86	2.86	1.45
1.73	0.89	2.99	1.54
1.76	0.91	3.10	1.60
1.79	0.93	3.20	1.66
1.82	0.95	3.31	1.73
1.84	0.96	3.39	1.77
1.87	0.98	3.50	1.83
1.90	0.99	3.61	1.88
1.93	1	3.72	1.93
1.95	1.02	3.80	1.99
1.97	1.04	3.88	2.05
2	1.05	4	2.10
2.02	1.06	4.08	2.14
2.04	1.07	4.16	2.18
2.06	1.08	4.24	2.22
2.08	1.09	4.33	2.27
2.09	1.10	4.37	2.30
2.11	1.11	4.45	2.34
$\sum x = 63.94$	$\sum y = 33.87$	$\sum x^2 = 106.71$	$\sum x = 56.80$
$m = 54$	$A = -0.01$	$K = 0.98$	$B = a = -0.20$

$$A = \frac{\sum x * \sum xy - \sum x^2 * \sum y}{(\sum x)^2 - m \sum x^2} \quad K = 10^A \quad B = \frac{\sum x * \sum y - m \sum xy}{(\sum x)^2 - m \sum x^2} \quad a = B$$

$$I = K * T^a \quad VI = K * a * T^{a-1} \quad VI_m = K * T^{a-1}$$