



Jul.2024

Curso de Agronomia

Artigo Original

## **MANEJO DA IRRIGAÇÃO USANDO SENSOR IRRIGAS® EM FUNÇÃO DA TEXTURA DO SOLO, PARA AS PRINCIPAIS REGIÕES DO DISTRITO FEDERAL**

IRRIGATION MANAGEMENT USING IRRIGATION® SENSOR AS A FUNCTION OF SOIL TEXTURE, FOR THE MAIN CULTIVATED REGIONS OF THE FEDERAL DISTRICT, BRAZIL

**Thiago Rodrigues da Silva<sup>1</sup>, Christian Viterbo Maximiano<sup>2</sup>, Marcos Brandão Braga<sup>3</sup>.**

1 Acadêmico do Curso de Agronomia

2 Professor Mestre do Curso de Agronomia

3 Pesquisador da Embrapa Hortaliças

### **Resumo**

A determinação de quando e quanto irrigar é o aspecto mais importante relacionado ao manejo da água em irrigação. Em prática de irrigação, cada tipo de solo requer atenção e cuidados distintos, portanto, conhecer o tipo de solo é fundamental na otimização da agricultura e aumento de produtividade. No Distrito Federal, os latossolos predominam com grande aptidão para a agricultura/irrigação, porém podem variar de textura, estrutura e situação topográfica, o que deve ser considerado para se fazer qualquer prática de cultivo, como preparo de solo e manejo do sistema e da água de irrigação. O monitoramento do teor de umidade do solo é fator importante para que se tenha adequado manejo da irrigação, sendo que para isso, o mais comum e de menor custo é a utilização de sensores de umidade do solo a base de cápsulas porosas de cerâmica. No ano de 2000, a Embrapa patenteou o sistema gasoso de controle de irrigação (irrigas®), sensor de umidade baseado no estado da água e força de retenção. A força que a água é retida no solo, ou tensão matricial da água, influencia no desenvolvimento das plantas e na sua produção. Ciente disso, este trabalho teve como objetivo determinar a lâmina de irrigação a ser resposta, em três principais áreas de produção do Distrito federal (DF), com o uso do sensor de umidade irrigas®. Para a execução do trabalho, foram utilizados três tipos de solos, coletados em regiões de cultivo agrícola do Distrito Federal. Os solos foram submetidos a análises textural, umidade na capacidade de campo, ponto de murcha permanente e densidade aparente do solo. O ensaio foi conduzido em uma estufa agrícola, onde foram dispostas bancadas contendo 30 vasos de 5 litros cada, a cada 10 vasos com um tipo de solo coletado, estes continham igualmente instalados sensores Irrigas® de 15 kPa e 25kPa, totalizando um sensor por vaso. Observaram-se diferenças significativas entre os diferentes solos, que levaram à determinação de lâminas médias de irrigação distintas. Esses resultados demonstram que a fixação adequada das lâminas de irrigação depende da textura do solo e do sensor Irrigas® utilizado para o manejo.

**Palavras-Chave:** lâmina de irrigação, sensor de umidade, textura do solo, umidade do solo

### **Abstract**

Determining when and how much to irrigate is the most important aspect of water management in irrigation. Each type of soil requires specific attention and care; therefore, understanding the soil type is essential for optimizing agriculture and increasing productivity. In the Federal District, latosols predominate and have great potential for agriculture and irrigation. However, they can vary in texture, structure, and topographic situation, which must be considered for any cultivation practice, such as soil preparation and irrigation system management. Monitoring soil moisture content is important for proper irrigation management. The most common and cost-effective method is using soil moisture sensors based on porous ceramic capsules. In 2000, Embrapa patented the gas-based irrigation control system (irrigas®), a moisture sensor based on the water status and retention force. The force with which water is retained in the soil, or matric potential, influences plant development and production. The study aimed to determine the irrigation depth to be applied in three main production areas of the Federal District using the irrigas® moisture sensor. For the study, three types of soils were collected from agricultural regions in the Federal District. The soils were analyzed for texture, field capacity moisture, permanent wilting point, and bulk density. The experiment was conducted in an agricultural greenhouse, where benches held 30 pots of 5 liters each, with 10 pots for each type of soil collected. These pots had Irrigas® sensors set at 15 kPa and 25 kPa, totaling one sensor per pot. Significant differences were observed between the different soils, leading to the determination of different average irrigation depths. These results demonstrate that the appropriate setting of irrigation depths depends on soil texture and the Irrigas® sensor used for management.

**Keywords:** irrigation depth, moisture sensor, soil texture, soil moisture

**Contato:** sonicthiagorodrigues@gmail.com; christian.viterbo@icesp.edu.br; marcos.braga@embrapa.br

## Introdução

O manejo da irrigação é a implementação de uma série de procedimentos e medidas para que se tenha as respostas sobre quando e quanto irrigar (TOLENTINO JR, 2022). A determinação da quantidade correta e momento de quando realizar uma irrigação é o aspecto mais importante relacionado ao manejo da água, pois evita a perda de água por percolação e a lixiviação de nutrientes, quando se irriga em excesso, permitindo assim, que a planta expresse o seu potencial produtivo (BRAGA; FELTRIN; BORGES, 2022).

No Brasil existem diferentes tipos de solo, entre estes, os mais comuns são o latossolos, argissolos e neossolos (IPONIA, 2021). No Distrito Federal (DF) o latossolo é a classe de solo predominante, ocupando 54,40% da área e compreendem os latossolos vermelho com 38,92% e latossolos vermelho amarelo com 15,58%. São solos altamente intemperizados, podem ser excessivamente, fortemente ou acentuadamente drenados, conforme sua textura, estrutura e situação topográfica. Embora, muitos destes possuem teores de argila maiores que 40% (REATO *et al.*, 2004)

A textura do solo é uma das características relacionadas às partículas primárias (areia, silte e argila) e a sensação que estas partículas oferecem ao tato (atrito, sedosidade e pegajosidade) (CENTENO *et al.*, 2017). Os Latossolos têm grande aptidão para a agricultura, e para a irrigação, são excelentes em termos físicos, pois apresentam adequada distribuição de poros, favorecendo tanto a drenagem e difusão de gases quanto a retenção e armazenamento de água (RIBEIRO, 2019).

Conhecer o tipo de solo é crucial para otimizar a agricultura e aumentar a produtividade. Cada tipo de solo requer cuidados e atenção específicos, incluindo práticas de irrigação, a fim de maximizar o rendimento das culturas (IPONIA, 2021).

A umidade do solo é fundamental para se determinar a lâmina de irrigação. O manejo adequado depende da quantidade de água no solo e o conhecimento desse fator é necessário para a realização de operações mecanizadas e manejo da irrigação (SILVA; NEVES, 2020).

O monitoramento da umidade do solo envolve uma série de medidas em que se utilizam metodologias e equipamentos, para determinar a umidade (quantidade de água) na qual o solo se encontra. Tem - se que o monitoramento regular da umidade do solo (Us) é um fator primordial para o manejo racional da água de irrigação, pois estabelece o momento de irrigar e pode estimar a lâmina de água a ser aplicada (GUTIERRES; NEVES, 2021).

Os tipos de sensores de umidade do solo são classificados por sua tecnologia, sendo os de solo, aéreos e satélites (CHERLINKA, 2021). Dentre os equipamentos utilizados podemos citar: tensiômetro, sensores eletrométricos, sondas de umidade do solo e drones com

câmeras térmicas ou multiespectrais (CENTRAL IRRIGAÇÃO, 2018).

O sensor de umidade do solo mais utilizado é o tensiômetro (LOPES *et al.*, 2008). Ele mede a tensão de água no solo e é facilmente encontrado no mercado, possibilitando maior utilização por parte dos produtores (AZEVEDO; SILVA, 1999).

A Embrapa patenteou o "sistema gasoso de controle de irrigação" no ano 2000, conhecido como Irrigas®, usando cápsula de cerâmica porosa com granulometria distinta, onde a força da água retida nos poros correspondia a uma dada tensão matricial de água no solo, tensão essa que influencia a absorção de água pelas plantas (MAROUELLI; CALBO, 2009). O Irrigas® é uma tecnologia simples desenvolvida pela Embrapa com princípio básico de indicar se o solo está úmido ou seco, a uma dada tensão de irrigação. De fácil uso e manutenção, pois não necessita de acréscimo de água em seu interior nem de equipamento especial para fazer a leitura e a instalação. Assim, é uma tecnologia de grande ajuda ao agricultor no manejo diário da irrigação, podendo definir quando e quanto irrigar (BRAGA; FELTRIN; BORGES, 2022).

O Irrigas® é um sistema aberto que equilibra a água/ar no solo em uma cápsula de cerâmica porosa, que deve ser posicionada na zona radicular da planta. Após a instalação, a cápsula alcança o equilíbrio hídrico com o solo em poucas horas. Este sistema funciona com base na umidade do solo: quando o solo está úmido, a água preenche os poros da cápsula, tornando-a impermeável ao ar (Irrigas® "fechado"). Quando o solo seca, a água da cápsula se desloca para o solo, tornando a cápsula permeável ao ar. Durante um teste de imersão, a água do frasco sobe na cuba de leitura se o Irrigas® estiver "aberto", indicando solo seco. A irrigação deve ser realizada apenas quando a água entra na cuba. Após a irrigação ou chuva suficiente, a água do solo satura os poros da cápsula, bloqueando a passagem de ar (MAROUELLI; CALBO, 2009).

Determinar a Lâmina de irrigação em diferentes tipos de solo/textura é fundamental para otimizar o uso da água na agricultura (STOLBEN, M. 2021) . A determinação de lâmina de irrigação com o uso do sensor irrigas®, será uma grande ferramenta na agricultura irrigada, pois com uma lâmina média de irrigação proposta, teremos uma irrigação mais simplificada, fazendo com que produtores não tão familiarizados com cálculos complexos e tecnologias avançadas de irrigação, façam uma irrigação de qualidade, aumentando assim a produtividade e evitando desperdícios de água, adubos e energia.

A determinação da lâmina de irrigação real (IRN) é uma prática fundamental para a agricultura moderna. Ela permite que os produtores maximizem a eficiência do uso da água, aumentem a produtividade e a qualidade das culturas, preservem o meio ambiente e garantam a sustentabilidade econômica de suas

operações agrícolas. Portanto, investir em tecnologias e técnicas para determinar e aplicar a IRN de forma precisa é uma decisão estratégica essencial para o sucesso na agricultura (FERERES; SORIANO, 2007). A irrigação total necessária (ITN) considerada a lâmina bruta, que é a quantidade total de água a ser aplicado para que a IRN chegue para a planta/solo, é variável a depender a eficiência de irrigação do sistema utilizado para aplicar a água (BERNARDO *et al.*, 2019).

Assim, este trabalho teve como objetivo determinar as lâminas médias de irrigação a serem repostas para os principais solos cultivados do Distrito Federal (DF), utilizando sensor de umidade irrigas®, e considerando os parâmetros de textura do solo.

Na literatura não se encontra nenhum trabalho relacionado à lâmina de irrigação para diferentes texturas de solo utilizando o sensor de umidade irrigas®. Com este trabalho o irrigas® poderá auxiliar na definição de lâminas de irrigação a ser repostas para diferentes texturas de solo, criando-se uma metodologia com lâmina média de irrigação, independente da cultura e estágio fenológico, uma vez que quando o sensor indicar a irrigação será feita com a lâmina pré-definida, assim termos um manejo com lâminas fixas a depender da profundidade efetiva das raízes da cultura.

## Material e Métodos

O ensaio foi realizado no 1º semestre do ano de 2024, no laboratório de irrigação e em uma estufa agrícola da Embrapa Hortaliças, localizada na Rodovia BR-060, Km 09 (Brasília/Anápolis), Fazenda Tamanduá - Brasília/DF.

Neste estudo, utilizamos três tipos de solos coletados em diferentes regiões do Distrito Federal para um experimento conduzido em uma estufa agrícola, com o objetivo de determinar a umidade média dos solos, no momento em que o sensor Irrigas® indicar que o solo estava seco, com base em sua tensão matricial específica. Além disso, foram realizados uma série de testes com os solos utilizados no experimento, incluindo análises detalhadas de classe textural, densidade aparente, umidade volumétrica, umidade na capacidade de campo e ponto de murcha permanente. O experimento e os testes com os solos foram realizados com o intuito de definir a lâmina média de irrigação em razão de suas características físico-hídricas. (MAROUELLI *et al.*, 2015).

Primeiramente, realizou-se a coleta de três tipos de solos distintos, em três localidades do DF, que foram escolhidos devido ao tamanho e importância das áreas irrigadas para o DF. Foram coletados com auxílio de trados e cavadores, no perfil de solo de 0 a 20cm de profundidade, sendo indicados como solo 1, solo 2 e solo 3 respectivamente, para CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados) em Planaltina - DF; PAD-DF (Programa de

Assentamento Dirigido do Distrito Federal); e Brazlândia - DF. Em cada coleta, foi retirado cerca de 0,110m³ de solo, o suficiente para preencher 10 vasos de 5 dcm³ (5L), fazer análise de classe textural, densidade aparente do solo, testes de umidade na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP).

Para as análises de classe textural, foram retiradas amostras dos solos e enviadas para o laboratório de solos da Embrapa Cerrados (CPAC) em Planaltina- DF. Com os resultados em porcentagem de areia, silte e argila e utilizando o triângulo textural, foi definida a classe textural dos solos.

O ensaio foi montado em uma estufa agrícola sobre bancadas contendo 30 vasos, com 3 tipos de solo, 2 tipos de sensores e 5 repetições. Cada dez vasos continham um tipo de solo (textura); foram instalados os Irrigas® de 15 e 25 kPa. Em cinco vasos foram instalados o Irrigas® de 15kPa e nos outros cinco o de 25kPa. MAROUELLI *et al.*, (2015) indicam que os sensores de 15 e 25kPa são adequados para a maioria das hortaliças.

Os sensores foram instalados, previamente testados em laboratório, à uma profundidade de 8 cm. Em seguida, os solos dos vasos foram elevados à capacidade de campo (CC), pesados, e ao longo do tempo monitorados, realizando leituras do Irrigas® em intervalo de 2h ao longo do dia (com 4 leituras). Durante a noite, um plástico foi colocado sobre cada vaso para que o sensor não indicasse leitura nesse período. Assim, que os sensores indicaram a necessidade de irrigação (sensor "aberto"), foram retiradas amostras de solo e levadas à estufa de secagem para determinar a umidade do solo pelo método padrão gravimétrico. Esse método envolve a secagem da amostra de solo em estufa, à temperatura entre 105 e 110 °C, até que sua massa se estabilize (BERNARDO *et al.*, 2019).

A diferença entre a massa inicial e final da amostra foi utilizada para calcular a umidade do solo, em base de peso, conforme equação 1 (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

$$h = \frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

h representa a umidade do solo em (%).

Ph é a massa do solo úmido em gramas (g).

Ps é massa do solo seco em gramas (g).

Ao final, foi obtida a umidade média de cada solo (5 amostras) para cada tipo de sensor irrigas® (15Kpa e 25Kpa), quando este indicou irrigação.

O método utilizado para a determinação da densidade aparente do solo (Da) dos três tipos de solo foi o do anel volumétrico, onde se coleta o solo com anel volumétrico e é elevado para estufa de secagem à 105°C. Com o peso do solo seco, obteve-se a densidade aparente do solo pela equação 2 (BERNARDO *et al.*, 2019).

$$Da = \frac{M}{V} \quad (2)$$

Onde:

Da é a densidade aparente do solo em (g/cm<sup>3</sup>).

M é o peso do solo seco em gramas (g).

V é o volume do anel volumétrico em (cm<sup>3</sup>).

Com os resultados de umidade média dos solos, em base de peso, para quando os sensores de 15 e 25 kPa indicaram a necessidade de irrigação, e com a densidade aparente dos solos (Da), obteve-se a umidade volumétrica para cada solo. A umidade volumétrica é a relação entre o volume de água numa amostra do solo e o volume total da amostra. Conhecendo-se a densidade do solo e a umidade gravimétrica, pode-se calcular multiplicando a umidade com a densidade (SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS, 2011).

Para determinar a capacidade de campo (CC), foi realizado um ensaio no laboratório de irrigação, utilizando o mesmo tipo de vaso, sendo que a CC foi realizada pelo método direto em vasos (MD). Foi considerado como capacidade de campo (CC) o conteúdo de água retido pelo solo contra a aceleração gravitacional (DARDENDO *et al.*, 2005). A determinação foi desenvolvida utilizando três vasos para cada tipo de solo com capacidade de cinco litros. Aos vasos com solo foi aplicado um volume de água de 1,5 L, que preencheu toda a porosidade do solo. O excesso de água foi drenado por tempo que não mais se viu água drenando dos vasos. A superfície dos vasos com solo foi coberta com plástico para evitar a evaporação. Quando cessou a drenagem de água, entrando em equilíbrio, o que ocorreu em três dias, foram retiradas amostras do solo, contidos nos vasos, para determinação da umidade na capacidade de campo pelo método padrão gravimétrico, como visto na equação (1), esse processo foi repetido duas vezes (BERNARDO *et al.*, 2019).

Para a determinação do ponto de murcha permanente, foram retirados anéis volumétricos com os solos dos três locais estudados, enviados

para laboratório de solos e submetidos a uma pressão de 1500kPa, pesados e levados à estufa para determinar a umidade gravimétrica do solo (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Com os resultados de umidade do solo, umidade na capacidade de campo e densidade do solo, pode-se fazer a estimativa de lâmina de irrigação real necessária (IRN), proposta por (BERNARDO *et al.*, 2019), através da equação 3.

$$IRN = (Cc - Ui) \times Da \times Z \quad (3)$$

Onde:

IRN é a irrigação real necessária em (mm).

Cc é a capacidade de campo em (%).

Ui é a umidade do solo em (%).

Da é a densidade aparente do solo em (g/cm<sup>3</sup>).

Z é a profundidade efetiva do sistema radicular em (cm).

Nesse trabalho, os valores de Z foram de 10 e 20 cm. Também, foram estimadas a irrigação total necessária (ITN) considerando valores de eficiências de irrigação (Ei) encontrados a campo, em sistemas bem dimensionados (BERNARDO *et al.*, 2019).

## Resultados e Discussão

Os resultados de classe textural dos solos analisados pela unidade da Embrapa Cerrados de Planaltina – DF (CPAC) foram: Solo 1 - 36,8% de areia, 6,1% de silte e 57,1% de argila; Solo 2 - 16,9% de areia, 29,5% de silte e 53,6% de argila; Solo 3 - 30,2% de areia, 22,5% de silte e 47,3% de argila. Sendo assim, todos os solos coletados foram classificados como argilosos, variando as proporções de areia, silte e argila.

A umidade média (%), em base de peso, foi medida para três tipos de solo utilizando os sensores Irrigas® de 15 e 25 kPa, respectivamente.

Para o solo 1, os sensores indicaram a necessidade de irrigação com valores de 28,65% e 26,84%, respectivamente (Figura 01).

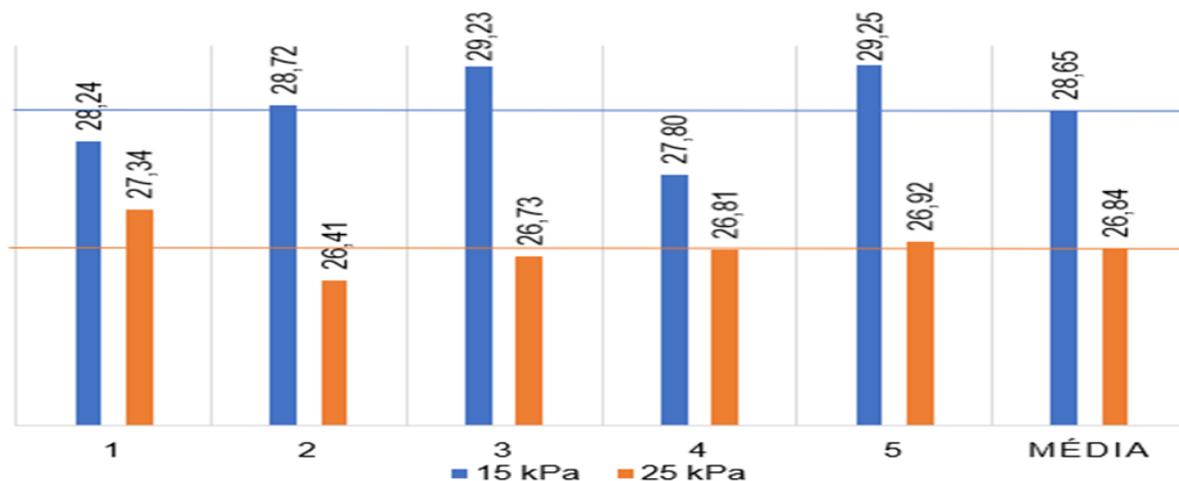


Figura 01. Umidade gravimétrica (%) no solo 01 nas amostras testadas, para os sensores de 15kPa a 25kPa.

No solo 2, os valores foram de 35,68% e 33,88%, respectivamente (Figura 02).

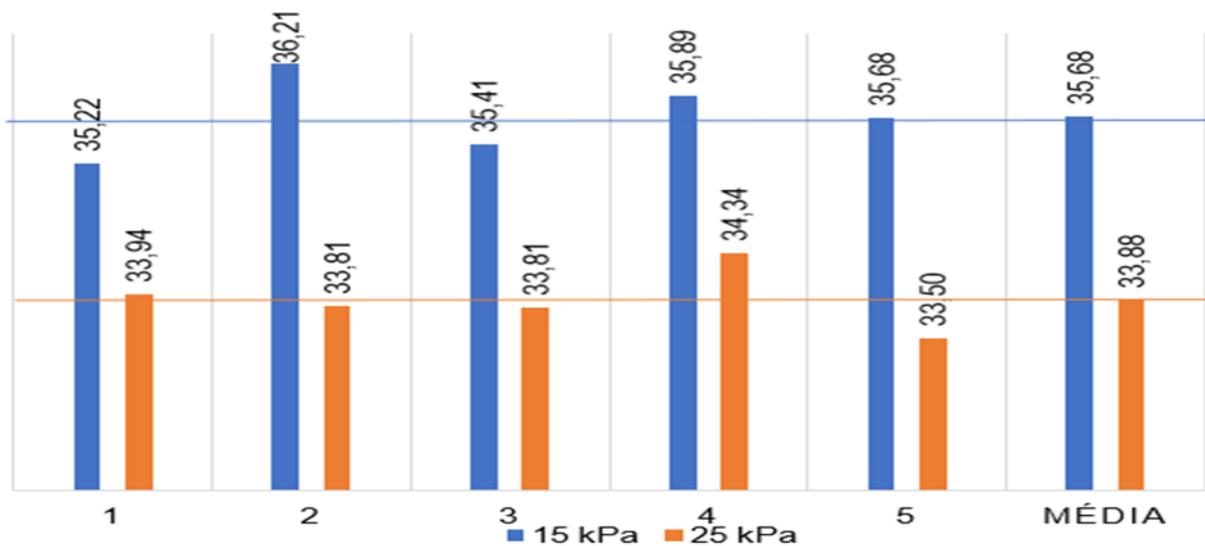


Figura 02. Umidade gravimétrica (%) no solo 02 nas amostras testadas, para os sensores de 15kPa a 25kPa.

No solo 3, a necessidade de irrigação foi indicada com umidade média de 36,53% e 33,92%, respectivamente (Figura 03).

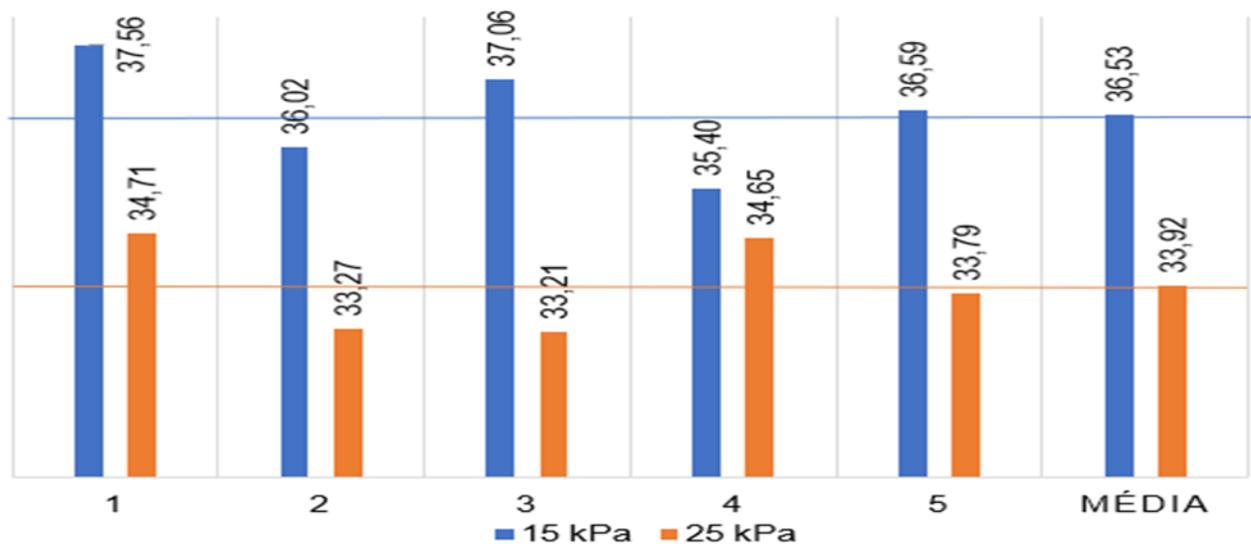


Figura 03. Umidade gravimétrica (%) no solo 03 nas amostras testadas, para os sensores de 15kPa a 25kPa.

Observa-se, em todas as figuras, que para os sensores de 15kPa em relação ao de 25kPa, existe maior variação das leituras de umidade do solo, fato que pode ser explicado devido ao solo com força de retenção de 15kPa ter mais água no solo disponível do que à 25kPa. Vale ressaltar que os sensores de 15kPa são indicados para irrigação de culturas menos tolerantes ao estresse hídrico, como as folhosas. Enquanto os sensores de 25kPa são indicados para a maioria das hortaliças frutos (MAROUELLI *et al.*, 2015)

As densidades obtidas através do

método do anel volumétrico foram: 1,15 g/cm<sup>3</sup>; 1,02 g/cm<sup>3</sup> e 1 g/cm<sup>3</sup> para os solos 1, 2 e 3, respectivamente. Conforme COOPER; MAZZA, (2015), determinar a densidade do solo permite avaliar drenagem, porosidade, condutividade hidráulica, permeabilidade, capacidade de saturação e armazenamento de água.

Os resultados de umidade volumétrica média, em %, para o solo 1, quando os sensores de 15 e 25 kPa indicaram a necessidade de irrigação, foram de 33,01% e 30,93%, respectivamente (Tabela 01).

Tabela 01. Resultados do teor de umidade gravimétrica e volumétrica, em função do Irrigas® usado no campo (15kPa e 25kPa), em porcentagem, para o solo 1 (CPAC. Planaltina – DF).

Amostra	15 kPa (g/g)	25 kPa (g/g)	15 kPa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	25 kPa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Diferença 15 kPa	Diferença 25 kPa
1	28,24	27,34	32,54	31,51	-0,41	0,50
2	28,72	26,41	33,10	30,43	0,08	-0,44
3	29,23	26,73	33,68	30,81	0,58	-0,11
4	27,80	26,81	32,03	30,90	-0,85	-0,03
5	29,25	26,92	33,70	31,02	0,60	0,08
Média	28,65	26,84	33,01	30,93	0,00	0,00

\*Amostras de solos coletados quando os sensores (15kPa e 25kPa) – indicou sensor aberto. Densidade do solo aparente do solo 1 usado de 1,15 g/cm<sup>3</sup>.

Para o solo 2, os resultados de umidade volumétrica média, em %, foram de 36,54% e 34,69% para os sensores de 15 e 25kPa, respectivamente (Tabela 02).

Tabela 02. Resultados do teor de umidade gravimétrica e volumétrica, em função do Irrigas® usado no campo (15kPa e 25kPa), em porcentagem, para o solo 2 (PAD – DF).

Amostra	15 kPa (g/g)	25 kPa (g/g)	15 kPa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	25 kPa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Diferença 15 kPa	Diferença 25 kPa
1	35,22	33,94	36,07	34,75	-0,46	0,06
2	36,21	33,81	37,08	34,62	0,53	-0,07
3	35,41	33,81	36,26	34,62	-0,27	-0,07
4	35,89	34,34	36,75	35,16	0,21	0,46
5	35,68	33,50	36,53	34,30	0,01	-0,38
Média	35,68	33,88	36,54	34,69	0,00	0,00

\*Amostras de solos coletados quando os sensores (15kPa e 25kPa) – indicou sensor aberto. Densidade do solo aparente do solo 2 usado de 1,02 g/cm<sup>3</sup>.

A umidade volumétrica média em %, para o solo 3, quando os sensores de 15 e 25 kPa indicaram “momento de irrigar”, foram 36,81% e 33,48%, respectivamente (Tabela 03).

Tabela 03. Resultados do teor de umidade gravimétrica e volumétrica, em função do Irrigas® usado no campo (15kPa e 25kPa), em porcentagem, para o solo 3 (Brazlândia - DF).

Amostra	15 kPa (g/g)	25 kPa (g/g)	15 kPa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	25 kPa (cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup> )	Diferença 15 kPa	Diferença 25 kPa
1	37,56	34,71	37,56	33,73	1,03	0,78
2	36,02	33,27	36,02	33,27	-0,51	-0,65
3	37,06	33,21	37,06	33,21	0,53	-0,71
4	35,40	34,65	36,81	33,42	-1,13	0,72
5	36,59	33,79	36,59	33,79	0,06	-0,14
Média	36,53	33,92	36,81	33,48	0,00	0,00

\*Amostras de solos coletados quando os sensores (15kPa e 25kPa) – indicou sensor aberto. Densidade do solo aparente do solo 3 usado de 1,00 g/cm<sup>3</sup>.

Os dados apresentados nas tabelas 1, 2 e 3 são relativamente consistentes, com pequenas variações entre as amostras. A umidade gravimétrica e volumétrica é ligeiramente maior para o sensor de 15 kPa em comparação com o sensor de 25 kPa e de acordo com SOUZA *et al.*, (2013), isso pode ser explicado pela maior sensibilidade do sensor de 15 kPa, que indica a necessidade de irrigação em uma umidade ligeiramente mais alta.

Os sensores Irrigas® são conhecidos por sua precisão e confiabilidade na medição da umidade do solo, mostrando pequenas variações entre leituras de diferentes amostras. MAROUELLI *et al.*, (2015) enfatizam que esses

sensores são eficazes para o manejo da irrigação, permitindo ajustes detalhados que otimizam o uso da água e aumentam a produtividade das culturas. A seleção entre sensores de 15 kPa e 25 kPa deve ser feita de acordo com as necessidades específicas das culturas, onde o sensor de 15 kPa é mais apropriado para culturas que necessitam de um nível de umidade mais alto, e o sensor de 25 kPa para aquelas que toleram um nível de umidade ligeiramente menor.

Na Tabela 04, foram apresentados os resultados de umidade na capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente dos diferentes solos. Também é possível verificar a determinação de IRN para os três tipos de solo, utilizando sensores de 15 e 25 kPa e profundidades radiculares de 10 e 20 cm, onde se observa uma IRN distinta entre a tensão matricial (kPa) e os tipos de solo.

Os valores de ponto de murcha foram incluídos para indicar a umidade mínima que deve ser evitada, ou seja, a irrigação deve ser realizada antes que o solo atinja esse ponto (REICHARDT, KLAUS, 2012).

Observa-se ainda na tabela 04, que

existem variações de umidade de solo para o mesmo tipo de sensor (15 ou 25kPa) quando comparados os tipos de solo, visto que a capacidade de retenção de água destes são distintas. Apesar dos solos serem da mesma classe textural, apresentaram disponibilidade de água diferentes e conforme (AGROTÉCNICO, 2023), isso é possível pois, podem conter variações em microagregação de argila, macro/microporos e textura (areia, silte e argila).

Obviamente os valores de umidade do solo para o sensor de 15kPa estão mais próximos a CC dos solos, indicando uma lâmina de irrigação menor.

Tabela 04. Teores de água no solo, em percentagem (base de peso), e a irrigação real necessária (IRN) a ser reposta em função das leituras do Irrigas® para uma irrigação as profundidades de 10 cm e 20 cm.

Solos	1 características físico-hídricas dos solos testados			Teor de água no solo (%)		IRN (15kPa) – (mm)		IRN (25kPa) – (mm)	
	CC (%)	PMP (%)	Da (g/cm³)	Irrigas®		Profundidade		Profundidade	
				15 kPa	25 kPa	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
1	34,27	19,75	1,15	28,65	26,84	6,48	12,95	8,56	17,12
2	42,03	20,67	1,02	35,68	33,88	6,50	13,00	8,34	16,69
3	43,21	19,41	1,00	36,53	33,92	6,68	13,36	9,29	18,58

<sup>1</sup> Em base de peso (g/g<sup>1</sup>).

A Tabela 5 apresenta simulações das lâminas totais de água necessárias (ITN) para irrigação, levando em conta a eficiência média dos sistemas de irrigação locais e o uso dos sensores de umidade Irrigas® a 15 e 25 kPa. Os resultados indicam um aumento progressivo nas lâminas brutas para reposição da água nos tipos de solo 1 a 3 e para diferentes configurações de sensores Irrigas®, facilitando o manejo da irrigação. Por exemplo, utilizando o sensor Irrigas® a 15 kPa a uma profundidade de 5-6 cm

em solo tipo 3, com sistema de irrigação de  $E_i = 70\%$  e aspersores de 10 mm/h, um tempo de irrigação de aproximadamente 60 minutos atenderia às demandas hídricas da cultura, elevando o solo à capacidade de campo a 10 cm de profundidade. Esses resultados destacam a eficácia do manejo preciso via Irrigas® na otimização do uso da água e no suporte ao crescimento das culturas.

Tabela 05. Simulações de irrigação, lâmina bruta a ser aplicada – ITN (mm) em função dos tipos de irrigas® utilizado, e da eficiência de irrigação ( $E_i$ ) média para os diferentes sistemas de irrigação presentes nas áreas de coleta das amostras de solo.

Tipo de solo	Irrigação total necessária (ITN) (mm) (Irrigas® 15 kPa)							
	Eficiência de irrigação de 90%		Eficiência de irrigação de 85%		Eficiência de irrigação de 75%		Eficiência de irrigação de 70%	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	10 cm	20cm	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
1	7,20	14,39	7,62	15,24	8,63	17,27	9,25	18,50
2	7,22	14,45	7,65	15,30	8,67	17,34	9,29	18,58
3	7,42	14,84	7,86	15,72	8,91	17,81	9,54	19,09
Tipo de solo	Irrigação total necessária (ITN) (mm) (Irrigas® 25 kPa)							
	Eficiência de irrigação de 90%		Eficiência de irrigação de 85%		Eficiência de irrigação de 75%		Eficiência de irrigação de 70%	
	Profundidade		Profundidade		Profundidade		Profundidade	
	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
1	9,51	19,03	10,07	20,14	11,42	22,83	12,23	24,46
2	9,27	18,54	9,82	19,63	11,13	22,25	11,92	23,84
3	10,32	20,64	10,93	21,86	12,39	24,77	13,27	26,54

Os dados apresentados são essenciais para entender como diferentes solos respondem à umidade e podem orientar estratégias de manejo de irrigação.

A redução na eficiência de irrigação resultou no aumento da ITN necessária para alcançar as necessidades hídricas da cultura, evidenciando a importância de sistemas de irrigação eficientes para minimizar o uso excessivo de água. O uso dos sensores Irrigas® permitiram ajustes precisos na aplicação de água, otimizando o manejo hídrico conforme as características específicas de cada tipo de solo (GUTIERRES; NEVES, 2021).

Assim, ao determinar a lâmina bruta de irrigação com esse sistema, facilita muito que os produtores possam otimizar o uso de água, e com isso, aumentem a produtividade das culturas e promova a sustentabilidade dos recursos hídricos. Isso ajudará a evitar desperdícios, reduzir custos operacionais, melhorar o crescimento das plantas e prevenir problemas como a lixiviação de nutrientes e a erosão do solo (STONE; SILVA, 2023).

De acordo com GUTIERRES; NEVES, (2021), o uso de sensores de umidade é fundamental na implantação de sistemas de irrigação, independentemente do método utilizado nas culturas selecionadas. Segundo ele, as vantagens são diversas, pois os produtores buscam alta produtividade e qualidade dos produtos agrícolas. O conhecimento preciso da umidade do solo é crucial para melhorar o manejo da irrigação, garantindo que o quanto, quando e como irrigar seja mais adequado para as culturas.

Tornar os cálculos de lâmina de irrigação mais acessíveis e compreensíveis para os produtores rurais não só facilita suas operações diárias, mas também contribui significativamente para o sucesso geral de suas atividades agrícolas, promovendo uma gestão sustentável e eficiente dos recursos naturais (SILVA *et al.*, 2018).

A metodologia proposta pode avançar no uso do irrigas® pelos produtores uma vez que será um complemento para o guia prático do uso do Irrigas® atualmente proposto (MAROUELLI *et al.*, 2015)

## Conclusão

Neste estudo, foi explorado a definição de lâmina média de irrigação em função da textura do solo, utilizando o sensor irrigas® para as principais regiões de cultivo do Distrito Federal, onde a metodologia proposta mostrou-se viável tecnicamente, porém necessita de testes a campo para validação prática e com isso adicionar percepções sobre a eficácia das práticas de manejo hídrico propostas e fortalecer a base para futuras recomendações agrícolas.

## Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus, que me permitiu saúde e determinação para a realização deste trabalho.

A minha família, principalmente para a minha esposa Cássia Gomes Silva, minha mãe Iolângela Rodrigues da Silva, meus sogros Pedro Gomes da Silva e Delzuita Fernandes Silva e minhas cunhadas Creuza Gomes Silva e Cristina Gomes Silva Caires Santos, por todo o apoio e pela ajuda, que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos meus professores do curso de agronomia do centro universitário ICESP, que com seus ensinamentos guiaram o meu aprendizado. Ao professor Christian Viterbo Maximiano por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade; A professora Rayane Balsamo com seus ensinamentos de trabalhos científicos; Ao professor Ricardo Meneses Sayd que formou a banca anterior e me trouxe correções construtivas para o meu trabalho. Agradeço à banca avaliadora atual pela atenção e dedicação à análise do meu trabalho. Suas contribuições serão fundamentais para o desenvolvimento deste estudo.

Ao pesquisador da Embrapa Marcos Brandão Braga, pela oportunidade de estágio na Embrapa Hortaliças na área de irrigação, pelos ensinamentos gerais sobre clima, solo, planta e irrigação, pelo uso do laboratório de irrigação e demais instalações da para a realização deste trabalho, pela ideia do trabalho e por todo o apoio para a realização dele.

Aos servidores da Embrapa Hortaliças: José Carlos e Samuel Silva de Santana; aos colegas de estágio do laboratório de irrigação: Leonardo Cortez Romano, Hiago Rodrigues Chaves e Camila Maria da Silva, que ajudaram na parte executiva, atuando na montagem, execução e manutenção do experimento.

Por fim, agradeço às instituições do Distrito Federal: Centro universitário ICESP e Embrapa Hortaliças, pois sem elas a realização deste trabalho não seria possível.

## Referências

AGROTÉCNICO. **Solo Argiloso: Como Manejar para Altas Produtividades.** Disponível em: <<https://www.agrotecnico.com.br/solo-argiloso-como-manejar-para-altas-produtividades/>>. Acesso em: 21 mai. 2024.

AZEVEDO, J. A; SILVA, E. M. **Tensiômetro: dispositivo prático para controle da irrigação.** EMBRAPA CERRADOS, Brasília. DF. 1999. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/554991/tensiometro-dispositivo-pratico-para-controle-da-irrigacao#:~:text=O%20momento%20de%20aplicar%20as%20irriga%C3%A7%C3%B5es%20para%20culturas,frequentes%20apresentadas%20por%20usu%C3%A1rios%20de%20tensi%C3%B4metros%20s%C3%A3o%20descritas>>. Acesso em: 9 mai, 2024.

BERNARDO, S; MANTOVANI, E.C; SILVA, D.D; SOARES,A.A. **Manual de irrigação. 9°.ed.atual.ampl.** Viçosa,MG: UFV,2019. P.19

BRAGA, M.B; FELTRIN, A.L; BORGES, L.C. Capítulo 7. Irrigação. In Z, I.; D, M.Q. **Produção Integrada do Tomateiro Tutorado. Subsídios para a produção integrada.** Editoração Eletrônica: Stéfany Peron e Juliana Dias. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2022. p. 102-116. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1149470/producao-integrada-do-tomateiro-tutorado-subsidios-para-producao-integrada>>. Acesso em: 23 fev. 2024.

CENTENO, L.N; GUEVARA, M.D.F; CECCONELLO, S.T; SOUSA, R.O.D; TIMM, L.C. **Textura do solo: Conceitos e aplicações em solos arenosos.** Pelotas, RS. Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade (RBES). Jul, 2017. ISSN 2448-1661. v.4, n.1, p. 31-37. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/333903291\\_TEXTURA\\_DO\\_SOLO\\_CONCEITOS\\_E\\_APLICACOES\\_EM\\_SOLOS\\_ARENOSOS\\_SOIL\\_TEXTURE\\_CONCEPTS\\_AND\\_APPLICATIONS\\_IN\\_SANDY\\_SOILS/link/5d0ba179299bf1f539d34dbd/download?\\_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmtpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmtpY2F0aW9uIn19](https://www.researchgate.net/publication/333903291_TEXTURA_DO_SOLO_CONCEITOS_E_APLICACOES_EM_SOLOS_ARENOSOS_SOIL_TEXTURE_CONCEPTS_AND_APPLICATIONS_IN_SANDY_SOILS/link/5d0ba179299bf1f539d34dbd/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmtpY2F0aW9uliwicGFnZSI6InB1YmtpY2F0aW9uIn19)>. Acesso em: 15 mai.2024.

CENTRAL IRRIGAÇÃO. **Equipamentos de monitoramento.** Central Irrigação. 2018. Disponível em: <<https://centralirrigacao.com.br/equipamentos-de-monitoramento/>> Acesso em: 25 out. 2023.

COOPER, M; MAZZA, J.A. **Densidade do Solo e Densidade de Partículas.** São Paulo – SP, 2015. LSO 310 - Física do Solo. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/300387/mod\\_resource/content/0/Aula%20Te%c3%b3rica%203%20-%20Densidade%20do%20Solo%20e%20Densidade%20de%20Part%c3%adcula.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/300387/mod_resource/content/0/Aula%20Te%c3%b3rica%203%20-%20Densidade%20do%20Solo%20e%20Densidade%20de%20Part%c3%adcula.pdf)>. Acesso em: 21 mai. 2024.

DARDENGO, M, C, J, D; EFFGEN, T, A, M; TATAGIBA, S, D; REIS, E, F; PASSOS, R, R. **Avaliação da Capacidade de Campo em Dois Solos da Região Sul do Estado do Espírito Santo por Diferentes Métodos de Determinação.** Vale do Paraíba, PB. 2005. IX Encontro Latino-Americano de Iniciação Científica e V Encontro Latino-Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba. Disponível em: <[https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2005/epg/EPG5/EPG5-6corrigido.pdf](https://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2005/epg/EPG5/EPG5-6corrigido.pdf)>. Acesso em: 09 mai. 2024.

FERERES, E; SORIANO, M.A. **Deficit irrigation for reducing agricultural water use.** 2007. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159. Disponível em: <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17088360/>>. Acesso em: 21 mai. 2024.

GUTIERRES, M.I.A; NEVES, E. **A importância do monitoramento da umidade do solo através de sensores para otimizar a irrigação nas culturas.** Nova Mutum, MT. Enciclopédia Biosfera. DOI: 10.18677/EnciBio\_2021A1. Disponível em: <<https://conhecer.org.br/enciclop/2021A/a%20importancia.pdf>>. Acesso em: 8 mai. 2024.

IPONIA. **Solo: características, origem e a influência na irrigação.** IPONIA, 2021. Disponível em: <<https://iponia.com.br/irrigacao-solo#:~:text=A%20pedologia%20estuda%20as%20caracter%C3%ADsticas%20que%20influenciam%20nas>>

, impacta%20diretamente%20na%20agricultura%20e%20consequentemente%20na%20irriga%C3%A7%C3%A3o> . Acesso em: 22 out. 2023.

MARQUELLI, W.A; CALBO, A.G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema irrigas®**. Brasília, DF. Embrapa Hortaliças. set, 2009. Circular Técnica n.69. ISSN 1415-3033. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/782937/manejo-de-irrigacao-em-hortalicas-com-sistema-irrigas>> Acesso em: 26out. 2023.

MARQUELLI, W.A; SILVA, W.L.C; SILVA, L.B.arouelli, W. A., Silva, W. L. C., & Silva, L. B. **Avaliação de sensores de tensão de água no solo para o manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília, DF. 2015. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 19(1), 63-68. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/756333/manejo-da-irrigacao-em-hortalicas>>. Acesso em: 05 jul. 2024.

MARQUELLI, E. A.; FRITAS V.M.T.; COSTA JÚNIOR, A. D.; CALBO, A.G. **Guia prático para uso do Irrigas® na produção de hortaliças**. 2ed. rev. atual. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 36p. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1017645>>. Acesso em: 05 jul.2024.

REATTO, A; MARTINS, E.S; FARIAS, M.F.R; SILVA, A.V; JR, O.A.C. **Mapa Pedológico Digital – SIG Atualizado do Distrito Federal Escala 1:100.00 e uma Síntese do Texto Explicativo**. Embrapa Cerrados - DF. ISSN 1517-511. p. 9 -10. jun. 2004. Disponível em: <[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26344/1/doc\\_120.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26344/1/doc_120.pdf)>. Acesso em: 07 out. 2023.

REICHARDT, KIAUS. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações [apresentação]**. Solo, planta e atmosfera : conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole. 2022. Disponível em: <<https://repositorio.usp.br/item/003103881>>. Acesso em: 06 jul. 2024.

RIBEIRO, P.L. **Latossolo: principais características e dicas de manejo**. INSTITUTO AGRO. Excelência no agronegócio. 2019. Disponível em: <<https://institutoagro.com.br/latossolos/>>. Acesso em: 8 mai.2024.

SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. (Scimago Institutions Rankings, ano). **Padrão espaço-temporal da umidade volumétrica do solo em uma bacia hidrográfica com predominância de latossolos**. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rbcs/a/pyCLQ6ryMCp9XQMLK4W9DNR/>>. Acesso em: 21 mai. 2024

SIGALES, M.S; FONSECA, M.B. **Sensor de umidade para solos**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 2018. p.16 Disponível em: <<file:///C:/Users/flor-OneDrive/%C3%81rea%20de%20Trabalho/Sensordeumidadeparasolos.pdf>>. Acesso em: 5 Out. 2023.

SILVA, J.R; SANTOS, M.A; OLIVEIRA, F.G. **Determinação da lâmina de irrigação: métodos simplificados e sua aplicabilidade na agricultura brasileira**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2018. Vol. 22, Nº 11, p. 803-809. Disponível em: <<https://www.agriambi.com.br/>>. Acesso em: 16 jun. 2024.

SILVA, S. N; NEVES, E. **Importância do Manejo da Irrigação**. Nova Mutum, MT. 2020. Enciclopédia Biosfera. DOI: 10.18677/EnciBio\_2020D21. Disponível em: <<https://www.conhecer.org.br/enciclop/2020D/importancia.pdf>>. Acesso em: 21 mai. 2024.

SOUZA, C.F; COELHO, E.F; COELHO FILHO, M.A(2013). **Manejo da irrigação com diferentes tensiômetros em solos arenosos**. 2013. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 17(5), 515-522. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/915574/1/IRRIGACAOeFERTIRRIGACAOcap5.pdf>>. Acesso em: 06 jul. 2024.

STOLBEN, M. **Lâminas adequadas de irrigação: quanto e quando irrigar?** Irriga Global, 2021. Disponível em: <<https://irrigaglobal.com/br/laminas-adequadas-de-irrigacao-quanto-e-quando-irrigar/>>. Acesso em: 9 mai. 2024.

STONE, L. F; SILVA, P.M. **Manejo da Irrigação**. Parque Estação Biológica - PqEB, s/nº, Brasília, DF, 2023. Embrapa Arroz e Feijão. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/manejo-de-irrigacao>>. Acesso em: 06 jun. 2024.

TEIXEIRA, P, C; DONAGEMMA, G, K; FONTANA, A; TEIXEIRA, W, G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, RJ. 2017. Embrapa Solos do Rio de Janeiro. Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1087262/1/Pt1Cap10Analisegranulometrica.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2024.

TOLENTINO JR, J.B. **Irrigação Pressurizada**. CCR (Centro de Ciências Rurais) Santa Catarina. 2022. Disponível em: <<https://irrigacao.tolentino.pro.br/>> Acesso em: 28 mar. 2024.

VASYL, C. **Sensor de Umidade do Solo e seu Funcionamento**. EOS DATA ANALYTICS. Disponível em: <<https://eos.com/pt/blog/sensor-de-umidade-do-solo/>>. Acesso em: 15 mai. 202