

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE AGRONOMIA**

GUSTAVO FRIEDRICH

**UMIDADE NO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE CULTURAS AGRÍCOLAS
EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO**

**CERRO LARGO
2023**

GUSTAVO FRIEDRICH

**UMIDADE NO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE CULTURAS AGRÍCOLAS
EM DIFERENTES TIPOS DE SOLO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

CERRO LARGO

2023

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Friedrich, Gustavo

Umidade no ponto de murcha permanente de culturas agrícolas em diferentes tipos de solo / Gustavo Friedrich. -- 2023.

45 f.:il.

Orientador: Doutor Douglas Rodrigo Kaiser

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Agronomia, Cerro Largo,RS, 2023.

1. Umidade no ponto de murcha permanente. 2. Água no solo. 3. Métodos de determinação de umidade. I. Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

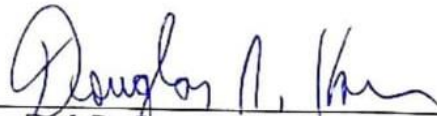
GUSTAVO FRIEDRICH

**UMIDADE NO PONTO DE MURCHA PERMANENTE DE CULTURAS
AGRÍCOLAS EM DIFERENTES TIPOS SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Graduação em Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 27/02/2023.

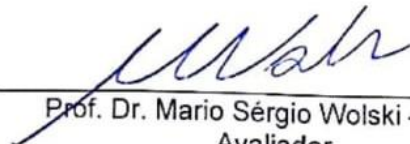
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS
Orientador



Prof. Dr. Renan Costa Beber – UFFS
Avaliador



Prof. Dr. Mario Sérgio Wolski – UFFS
Avaliador

Dedico este trabalho aos meus pais, que
não pouparam esforços para que eu
pudesse concluir meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter iluminado e guiado o meu caminho, por ter me ouvido nos momentos difíceis, me confortado e dado forças para chegar aonde estou.

Agradeço a minha família, especialmente meus pais Luiz Ricardo Friedrich e Bernadete Hoffman Friedrich, por não medir esforços para que este sonho se tornasse realidade. E meu irmão Fausto Friedrich por todo apoio e força durante este caminho.

Agradeço também a minha namorada, Nadine Klein dos Santos, por todo carinho, amor, paciência e incentivo, além é claro de toda a paciência nos momentos difíceis.

Quero deixar o meu agradecimento ao meu orientador, Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser, por ter aceitado o meu convite, por toda ajuda e orientação para que fosse capaz de realizar este trabalho.

Agradeço a todos os professores e servidores da Universidade Federal da Fronteira Sul, por todos os seus ensinamentos e serviços prestados durante este período.

Agradeço também a Cooperativa Tritícola Regional São-luisense LTDA, pela oportunidade de estágio e, também, ao supervisor Murilo Comassetto Queiroz por todo o suporte e conhecimento que me foi passado.

Por fim, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho e aos amigos que conquistei durante o curso. Obrigado a todos!

RESUMO

O solo é o responsável por armazenar e disponibilizar a água para as plantas e sua textura influencia diretamente na sua capacidade de reter água. Com isso, o trabalho objetivou-se em determinar a umidade retida em cada solo no ponto de murcha permanente (PMP) fisiológico nas culturas do trigo e do milho. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 tratamentos e 5 repetições. Os tratamentos foram compostos por 4 tipos de solo em vasos de 5 litros. Os solos utilizados foram um Latossolo Vermelho distroférico típico da unidade de mapeamento Santo Ângelo, Latossolo Vermelho distrófico típico da unidade de mapeamento Cruz Alta, Planossolo Háptico da unidade de mapeamento Vacacaí e Neossolo Quartzarênico da unidade de mapeamento Areais, coletados durante uma viagem de estudos. Uma amostra de 500g foi enviado para o laboratório da UFSM. Após a correção foi realizado a semeadura com 5 sementes para cada cultura, de maneira sequencial, onde manteve-se apenas 3 plantas por vaso após a germinação. Durante o estágio vegetativo a irrigação foi suspensa para o milho, para o trigo a irrigação foi suspensa durante a fase reprodutiva. Utilizou-se papel alumínio para cobrir a superfície do solo e as plantas passaram a perder água apenas por transpiração até que entrasse no ponto de murcha permanente, então uma amostra foi coletada para determinar a umidade gravimétrica e a umidade volumétrica no PMP de cada cultura, juntamente com os anéis montados para a determinação na mesa de tensão e câmara de Richards. Após a coleta dos dados o teste de Shapiro Wilk foi utilizado para verificar a distribuição dos dados, posteriormente foi realizado o teste de comparação de médias, utilizando Tukey a 5% de significância. O solo com maior umidade no ponto de murcha permanente fisiológico foi o Latossolo Vermelho distroférico típico da unidade de mapeamento Santo Ângelo em ambas as culturas para todos os métodos, apresentado uma umidade gravimétrica fisiológica de 0,148 $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ e uma umidade volumétrica fisiológica de 0,157 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para a cultura do milho, e uma umidade gravimétrica fisiológica de 0,154 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ e uma umidade volumétrica fisiológica de 0,140 $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ para o trigo. Estes valores são consideravelmente mais baixos que os encontrados pelo método laboratorial a -1500 kPa.

Palavras-chave: ponto de murcha permanente; retenção; solo; água

ABSTRACT

The soil is responsible for storing and providing water to plants, and its texture directly influences its water retention capacity. Therefore, the objective of this study was to determine the moisture retained in each soil at the physiological permanent wilting point (PWP) in wheat and corn crops. The design used was completely randomized with 4 treatments and 5 replications. The treatments were composed of 4 types of soil in 5-liter pots. The soils used were a Hapludox from the Santo Ângelo mapping unit, a Hapludox from the Cruz Alta mapping unit, a Abaqualf from the Vacacaí mapping unit, and a Quartzipsament from the Areais mapping unit, collected during a study trip. A 500g sample was sent to the UFSM laboratory. After correction, 5 seeds were sown for each crop sequentially, and only 3 plants per pot were kept after germination. During the vegetative stage, irrigation was suspended for corn, and for wheat, irrigation was suspended during the reproductive phase. Aluminum foil was used to cover the soil surface, and the plants lost water only through transpiration until they reached the permanent wilting point. Then, a sample was collected to determine the gravimetric and volumetric moisture content at the PWP of each crop, along with the rings mounted for determination on the tension table and Richards chamber. After data collection, the Shapiro-Wilk test was used to verify the data distribution, and then the mean comparison test was performed using Tukey at a 5% significance level. The soil with the highest moisture content at the physiological permanent wilting point was the typical dystroferric Red Latosol from the Santo Ângelo mapping unit in both crops for all methods, with a physiological gravimetric moisture content of $0.148 \text{ cm}^3\text{cm}^{-3}$ and a physiological volumetric moisture content of $0.157 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ for corn and a physiological gravimetric moisture content of $0.154 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ and a physiological volumetric moisture content of $0.140 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$ for wheat. These values are considerably lower than those found by the laboratory method at -1500 kPa .

Keywords: permanent wilting point; retention; soil; water.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Croqui do experimento..... | 24 |
| Figura 2 - Dose de carbonato de cálcio sendo aplicada e homogeneizada. | 27 |
| Figura 3 - Doses NPK armazenadas em recipientes de alumínio. | 27 |
| Figura 4 - Aplicação das doses de NPK para a cultura do trigo. | 28 |
| Figura 5 - Vasos com sonda de TDR instaladas para o monitoramento da água no solo para a cultura do trigo. | 29 |
| Figura 6 - Plantas de trigo no ponto de corte da irrigação..... | 30 |
| Figura 7 - Vaso com três plantas de milho coberto com papel alumínio. | 30 |
| Figura 8 - Câmara escura onde as plantas foram alocadas..... | 31 |
| Figura 9 - Coleta de amostras para a determinação da umidade gravimétrica fisiológica..... | 31 |
| Figura 10 - Amostras saturadas antes de ir para a mesa de tensão. | 32 |
| Figura 11 - Mesa de tensão utilizada no experimento para determinar a umidade nos potenciais de -6kPa e -10kPa..... | 32 |
| Figura 12 - Câmara de Richards utilizada no experimento para a determinação da umidade em potencial matricial de -1500 kPa..... | 33 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Caracterização dos solos de acordo com a análise granulométrica e o tipo de solo do ZARC. | 25 |
| Tabela 2 - Análise química diagnóstico para acidez do solo e calagem. | 26 |
| Tabela 3 - Análise química, diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S..... | 26 |
| Tabela 4 - Umidade gravimétrica fisiológica (UGF) das culturas do trigo e do milho no ponto de murcha permanente nos diferentes tipos de solo utilizados no experimento. | 34 |
| Tabela 5 - Umidade volumétrica fisiológica (UVF) no ponto de murcha permanente na cultura do trigo nos diferentes tipos de solo utilizados no experimento..... | 36 |
| Tabela 6 - Umidade volumétrica fisiológica do TDR (UVTDR) no ponto de murcha permanente nas culturas do milho e do trigo nos diferentes tipos de solo utilizados no experimento..... | 37 |
| Tabela 7 - Umidade no ponto de murcha permanente nos diferentes métodos de determinação na cultura do trigo e do milho..... | 38 |
| Tabela 8 - Correlação de Pearson entre a textura e a umidade do solo no ponto de murcha permanente. | 41 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|--|
| CC | Capacidade de Campo |
| PMP | Ponto de Murcha Permenante |
| LVdt | Latossolo Vermelho distroférico típico |
| LVd | Latossolo Vermelho distrófico típico |
| PH | Planossolo Háplico |
| NQ | Neossolo Quartzarênico |
| CV | Coefficiente de variação |
| UGF | Umidade Gravimétrica Fisiológica |
| UVF | Umidade Volumétrica Fisiológica |
| UVTDR | Umidade Volumétrica do TDR |
| UVCRA | Umidade Volumétrica da Câmara de Richards. |

SUMÁRIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 | OBJETIVO GERAL | 14 |
| 1.1.1 | OBJETIVOS ESPECIFICOS | 14 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 15 |
| 2.1 | ÁGUA NO SOLO | 15 |
| 2.1.1 | Propriedades da água | 15 |
| 2.1.2 | Retenção da água no solo | 16 |
| 2.1.3 | Disponibilidade de água para as plantas | 17 |
| 2.1.4 | Curva de retenção de água | 18 |
| 2.1.5 | Ponto de murcha permanente | 19 |
| 2.2 | ÁGUA NA PLANTA..... | 21 |
| 2.2.1 | Absorção de água pela planta | 21 |
| 2.2.2 | Transpiração | 22 |
| 2.2.3 | Déficit Hídrico | 22 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 24 |
| 3.1 | CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO..... | 24 |
| 3.2 | CARACTERIZAÇÃO, CORREÇÃO DO SOLO E MONTAGEM DOS VASOS..... | 25 |
| 3.3 | IMPLANTAÇÃO DAS CULTURAS, MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO E DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE FISIOLÓGICO..... | 28 |
| 3.4 | DETERMINAÇÃO DA UMIDADE PELA MESA DE TENSÃO E CÂMARA DE RICHARDS | 32 |
| 3.5 | ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 33 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 4.1 | PONTO DE MURCHA PERMANENTE..... | 34 |
| 4.1.1 | Umidade gravimétrica fisiológica (UGF) no ponto de murcha permanente das culturas do milho e do trigo | 34 |
| 4.1.2 | Umidade volumétrica fisiológica (UVF) no ponto de murcha permanente das culturas do milho e do trigo | 35 |

| | | |
|--------------|--|-----------|
| 4.1.3 | Umidade volumétrica fisiológica do TDR (UVTDR) no ponto de murcha permanente na cultura do milho e do trigo | 37 |
| 4.1.4 | Umidade no ponto de murcha permanente nos diferentes métodos de determinação na cultura do trigo e do milho | 38 |
| 4.2 | CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A TEXTURA E A UMIDADE DO SOLO NO PMP | 40 |
| 5 | CONCLUSÃO | 42 |
| | REFERÊNCIAS..... | 43 |

1 INTRODUÇÃO

O solo é o responsável por armazenar e disponibilizar a água para as plantas, retenção essa que irá variar de acordo com alguns fatores como a textura, o teor de matéria orgânica presente no solo, sua mineralogia, porosidade e seu grau de compactação.

As cargas presentes nas moléculas da água são capazes de ligar-se a cátions e ânions presentes no solo através da matéria orgânica, ou mesmo nas cargas presentes nos coloides, formando assim uma película em volta da superfície dos coloides e da matéria orgânica onde a água ficará retida.

Tendo em vista que a disponibilidade de água no solo para as plantas não está ligada diretamente na sua capacidade em reter água, podemos dizer então que a água disponível para as plantas está situada entre a capacidade de campo (CC), que é a capacidade do solo em reter água mesmo após a drenagem natural do perfil, e o ponto de murcha permanente (PMP) que é o estado em que ocorre a murcha das folhas das plantas de forma natural, mesmo que sejam colocadas em um ambiente saturado por água, elas não se recuperam da murcha.

Em estudo realizado por Briggs & Shantz (1912), ficou definido como o ponto de murcha permanente o conteúdo de água presente quando submetido a uma tensão de -1500 kPa na câmara de Richards.

Na literatura são encontrados dados que nos indicam que solos argilosos tendem a apresentar um menor potencial matricial quando as plantas entram em estado de murcha do que o definido por Brigs e Shantz (1912), e não conseguem mais se recuperar, mesmo se alocadas em ambiente escuro e úmido por mais de 12 horas, entrando assim em seu estado de ponto de murcha permanente.

Tanto o processo do PMP quanto o da CC estão ligados a distribuição dos poros presentes no solo, sendo os microporos os principais responsáveis pela retenção de água disponível para as plantas, os quais são diretamente influenciados pela textura do solo. Tendo em vista a definição do PMP e CC, podemos traçar ideias de manejos de irrigação mais precisos para determinados tipos de solo.

Considerando a relevância da água para o crescimento das plantas e sua influência em diversas características do solo, determinar a quantidade de água

presente no solo tem sido sempre um assunto de grande interesse tanto do ponto de vista científico quanto econômico.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é determinar o ponto de murcha permanente fisiológico para diferentes culturas em diferentes tipos de solo.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Os objetivos específicos do trabalho são os seguintes:

- Determinar a umidade no PMP das culturas do trigo, milho;
- Comparar a umidade no PMP obtido com o método fisiológico com o método da câmara de Richards.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 ÁGUA NO SOLO

2.1.1 Propriedades da água

Apesar de sua estrutura ser simples e de ser bastante explorada cientificamente, a água possui características muito específicas, apresentando também um comportamento físico-químico bem distinto se comparada com estrutura químicas semelhantes (FIGUEIREDO, 2009).

De acordo com Kerbauy (2008), a água apresenta diversas propriedades físicas e químicas. Tais propriedades capacitam a água a agir como “solvente universal” podendo assim ser absorvida e prontamente transportada pela planta. Esse fato está relacionado com o tamanho de suas moléculas e sua polaridade.

A molécula de água é formada através da união covalente de um átomo de oxigênio a dois átomos de hidrogênio com distância de 0,096 nm e um ângulo de $104^{\circ}31'$, apresentando um diâmetro de 0,33 nm e um raio de 0,12 nm e 0,14nm (LIBARDI, 2005).

O átomo de hidrogênio possui um próton positivamente carregado no seu núcleo e um elétron negativamente carregado ao seu redor, já o átomo de oxigênio apresenta 8 prótons em seu núcleo e 8 elétrons ao seu redor, sendo 6 na camada de valência, devido a essas propriedades existe uma afinidade entre os dois átomos (LIBARDI, 2005).

As propriedades físico-químicas da água derivam primariamente da estrutura polar da molécula de água. As fortes ligações entre as moléculas de água se dão devidas as formações de pontes de hidrogênio como consequência da estrutura da molécula. O alto calor específico da água tende a estabilizar a temperatura, e sob condições naturais, é refletido na temperatura relativamente uniforme encontrada em ilhas de terras próximas a grandes corpos de água (KERBAUY, 2008).

A água apresenta uma capacidade de neutralizar cargas de íons ou macromoléculas, e devido a sua propriedade solvente ela apresenta ser um ótimo

solvente para moléculas com resíduos polares como -OH ou -NH₂, as quais são encontradas comumente em açúcares e proteínas (KEAURBY, 2008).

Por apresentar elevados valores de ponto de fusão e de ebulição, calor latente, de vaporização e de calor específico, a água possibilita manter-se no estado líquido em temperaturas compatíveis com a vida. Também apresenta uma forte tendência de se ligar com a superfície de coloides do solo como argila e silte.

2.1.2 Retenção da água no solo

A retenção de água no solo é explicada por dois processos: o fenômeno da capilaridade, que ocorre quando a água fica retida nos poros capilares do solo. O outro processo se dá através do fenômeno da adsorção, onde a água fica retida nas superfícies dos sólidos como se fosse um filme preso a elas (VAN LIER, 2016).

O fenômeno da adsorção ocorre devido a superfície dos argilominerais serem negativamente carregados. Os pares de elétrons até então não compartilhados do átomo de oxigênio das moléculas de água são atraídos pelos cátions trocáveis, podendo ainda ser atraídas pelas forças de London – van der Waals, as quais são forças de curto alcance e decrescem rapidamente com a distância da superfície, de maneira que uma camada muito fina é adsorvida ao redor das partículas de solo (VAN LIER, 2016).

A explicação dos fenômenos capilares está embasada em uma propriedade associada a superfície livre de qualquer líquido, a qual denomina-se tensão superficial. Processo resultante da existência de forças de atração de curto alcance entre as moléculas do líquido (coesão). Para as moléculas da água o raio a distância máxima que ocorre atração é de 0,5 µm. Se as moléculas se encontram dentro do líquido, as mesmas atraem e são atraídas simetricamente, por todas as moléculas vizinhas, já em qualquer molécula que o raio de ação não se encontra por completo dentro do líquido as forças que atuam nela não serão equilibradas, o resultado é que a molécula é atraída para dentro do líquido pela resultante dessas forças de coesão não equilibradas (VAN LIER, 2016; LIBARDI, 2005).

Cada solo tem uma característica específica de retenção de água, que é determinada por diversos fatores complexos e interdependentes, tais como a quantidade e tipo de argila presente, o nível de matéria orgânica, a estrutura e a

densidade do solo, entre outros (FREITAS et al., 2004). A facilidade com que as plantas conseguem extrair o conteúdo disponível no solo depende de como ele está retido nos espaços, por capilaridade ou adsorção (LEPSCH, 2002).

Um fator importante na retenção de água é a presença de matéria orgânica no solo, Dalmago et al., (2009), mostra que solos que apresentam maiores teores de matéria orgânica tendem a apresentar uma maior capacidade de retenção de água. Isso ocorre devido a capacidade de retenção água nos coloides através da adsorção e maior área superficial específica.

Os solos arenosos possuem menor área superficial e apresentam grandes espaços porosos entre as partículas, já solos argilosos apresentam partículas e poros menores, que dificultam a drenagem natural do perfil e ajudam a reter a água mais firmemente (SANTOS E CARLESSO, 1998). As diferenças na capacidade de retenção de água para as plantas estão relacionadas com a textura apresentada pelo solo (PETRY ET AL, 2007).

A capacidade de retenção de água no solo está ligada diretamente com a fração argila da textura dele. Conforme Czyz e Dexter (2013), solos com maiores teores de argila tendem a apresentar uma maior capacidade de retenção de água em comparação com solos de textura mais arenosos.

2.1.3 Disponibilidade de água para as plantas

O solo é descrito por Reichert et al., (2011), como um sistema aberto que permite a passagem de água para a atmosfera e para horizontes mais profundos, a rede de poros presente no solo representa um caminho para o movimento da água e para o armazenamento dela, garantindo o fornecimento gradual para o crescimento e desenvolvimento das plantas. A estrutura do solo é um componente dinâmico que pode ser alterada por práticas de manejo, como o tráfego de máquinas agrícolas e o pisoteio animal, principalmente em momentos de maior umidade do solo.

Em adição, Reichert et al., (2011) também propõe que a quantidade de água disponível para as plantas é influenciada por vários fatores, incluindo a capacidade do solo em reter e disponibilizar água, a distribuição das chuvas e as práticas de manejo.

Conforme Klein (2006), quando o solo atinge a CC se dá quando os macroporos estão livres de água e os microporos cheios, PMP é o teor de água do solo no qual as

folhas irão apresentar murcha nas suas folhas e não mais se recuperaram, logo, a disponibilidade de água na planta se encontra entre a capacidade de campo do solo, o qual ocorre de acordo com a textura do solo, e o ponto de murcha permanente da planta.

De acordo com Petry et al., (2007), a disponibilidade de água às plantas não está ligada de forma direta à capacidade de armazenamento de água do solo. Podemos então dizer que a água disponível para as plantas está situada no intervalo entre a CC e o PMP. Essa água pode estar disponível em uma faixa de água facilmente disponível, também pode estar em uma faixa de disponibilidade sob estresse na planta, onde está água está mais fortemente ligada aos coloides.

A disponibilidade de água juntamente com a capacidade de retenção tende a ser maior em solos manejados sob sistema plantio direto. Dalmago (2009), alega que isso se deve a maior porosidade do solo associada a uma menor densidade e ao maior teor de matéria orgânica presente em solos sobre este manejo.

2.1.4 Curva de retenção de água

A curva de retenção de água é uma ferramenta importante em pesquisas sobre a qualidade do solo e ajuda a orientar práticas de uso e manejo sustentável em sistemas de produção agrícola. Mudanças na estrutura do solo, como compactação e perda de estabilidade dos agregados, afetam a distribuição do tamanho dos poros e a capacidade do solo de reter, mover e disponibilizar água (MACHADO et al., 2008).

A relação entre o conteúdo de água no solo e a energia em que está retida nos constituintes do solo se expressa através da curva de retenção de água no solo. (DALMAGO, 2009).

Essa curva é resultante da correlação entre o potencial mátrico e o conteúdo de água no solo, devido ao fato de não ser possível obter uma equação teórica para defini-lo. Sua definição pode ocorrer através da câmara de pressão de Richards, após a saturação de uma amostra a mesma é colocada na câmara de pressão e submetida a uma pressão P , então toda a unidade de volume de água retida com uma energia menor que a pressão aplicada irá gotejar para fora através do tubo de saída (VAN LIER, 2016).

A curva de retenção de água do solo é essencial nos estudos das relações entre o solo e a água, ela representa uma relação entre o teor de água retida e a energia com a qual está retida. Seus métodos de determinação laboratorial se dão pelo método da câmara de pressão, desenvolvido por Richards, (1965), e pelo método da centrífuga (SILVA & AZEVEDO, 2002). Sua medida se baseia em pontos selecionados, baseando-se nesses pontos uma curva é traçada de modo que irá representar as características de retenção de água do solo (SILVA et al., 2006).

Para a realização dos pontos na curva de retenção de água não há adoção de critérios, porém uma adoção de um conjunto de pontos sem um critério de seleção definido pode resultar em curvas não representativas. Por isso a importância de usar o mínimo de pontos possíveis para a melhor descrição da curva de retenção de água. Geralmente são levantados 6 pontos (SILVA et al., 2006).

2.1.5 Ponto de murcha permanente

O ponto de murcha permanente é o teor de água do solo no qual as plantas experimentam perdas de turgescência das folhas e desta murcha não se recuperam quando colocadas em um ambiente escuro e saturado (KLEIN et al., 2004). Conforme o método da câmara de Richards, o PMP para as culturas pode ser considerada uma tensão superficial no potencial matricial de - 1500 kPa para as culturas independentemente do tipo de solo.

A CC juntamente com o PMP, são os limitadores máximo e mínimo da disponibilidade de água para as plantas, sendo o intervalo entre eles a faixa de água disponível para a planta (FELISBERTO et al., 2014).

Existem diferentes métodos para a determinação de umidade no PMP das culturas, podendo ser eles de modo indiretos (Câmara de Richards e método da Centrífuga), ou diretos como o método fisiológico. O método fisiológico empregado por Briggs e Shantz (1912), é o padrão para que possamos determinar o PMP. O conteúdo de água no ponto de murcha permanente está associado com o potencial matricial de -1500 kPa (TORRES et al., 2020).

Este método visa manter a planta em vasos sob irrigação regulada até determinado estágio de desenvolvimento, após a planta apresentar a murcha ela é alocada em um ambiente úmido e escuro por 12 horas até que, pelo menos uma folha,

se recupere da murcha, em caso de a planta não recuperar sua turgidez será determinado o conteúdo de água no solo o qual será determinado como ponto de murcha permanente para a cultura ou cultivar.

A propósito, Wiechetek et al., (2020) nos diz que as interações entre as classes de solos e as espécies de plantas não apresentam interação significativa quanto ao PMP, apenas as diferentes texturas dos solos apresentam diferença significativa quanto ao teor de água no PMP. Os autores chegaram à conclusão de que o teor de argila afeta linearmente o conteúdo de água no PMP.

As propriedades de argila presentes no solo têm uma capacidade de fornecer água para as plantas sob retenção de energia, ou seja, quando o solo está seco, porém esse fator também está atrelado a capacidade dos mecanismos das plantas em acessar essa água para seu consumo (WIECHETEK, 2020).

Conforme uma pesquisa realizada por Czyz e Dexter (2013), com solos na Polônia, solos contendo maiores teores de argila em sua textura apresentaram uma maior capacidade de retenção de água, bem como um maior PMP, em relação aos solos mais arenosos. Ainda segundo os autores, quando a planta entra no PMP antes do ponto de corte hídrico o seu PMP está relacionado com a planta, e quando a planta entra no PMP após o corte hídrico ele está relacionado com o solo.

Em estudo realizado por Wiechetek et al., (2020), foi constatado que ao contrário de outros autores que relacionam o ponto de murcha permanente está relacionado diretamente com as características do solo, o PMP está associado também a capacidade biológica das plantas de absorver a água retida em baixos potenciais matriciais no solo.

Além do mais, Wiechetek et al., (2020) e Czyz & Dexter (2013), o ponto de murcha permanente pode variar conforme as espécies e cultivares, devido a suas diferentes capacidades de captar a água disponível, como também pode variar se influenciada pelas diferentes texturas apresentadas pelos diferentes tipos de solos devido ao teor de argila presente nas diferentes texturas.

As espécies podem apresentar diferentes potenciais no PMP, isso se deve a capacidade de cada espécie em absorver a água retida no solo. Segundo Procópio et al., (2004), o PMP encontrado para o feijão e a soja foi maior que o encontrado por Briggs & Shantz (1912) a -1500 kPa tendo como base a planta de girassol como indicador.

2.2 ÁGUA NA PLANTA

2.2.1 Absorção de água pela planta

Em meio aquoso ocorre a difusão de minerais, solutos celulares e gases, tanto na célula quanto entre órgãos. A alta permeabilidade da maioria das paredes e membranas celulares resulta numa fase contínua para a difusão e translocação de solutos na planta. A água é também um importante reagente ou substrato para reações celulares imprescindíveis para todo tipo de vida conhecida. É uma fonte do oxigênio molecular existente na atmosfera produzido na fotossíntese, assim como do hidrogênio para reduzir o CO₂ a carboidrato (PIMENTEL, 2004).

Junto a isso, Keaurby (2008) nos mostra que as plantas absorvem água do solo pelas raízes e translocam até as folhas via xilema, onde ela é perdida para a atmosfera por meio da transpiração, isso estabelece uma coluna contínua de água no sistema solo-planta-atmosfera, obedecendo a um gradiente decrescente de potencial da água no solo entre o meio em que as raízes se encontram e o xilema delas.

a absorção de água ocorre principalmente pelas raízes mais finas, que se encontram em íntimo contato com um maior volume de solo por unidade de volume de raiz, ou seja, pelo fato de as raízes estarem em maior contato com o solo ela tende a ter uma maior capacidade de absorver essa água retida nos microporos ou nos filmes situados nos argilominerais, coloides e partículas de matéria orgânica (KEAURBY, 2008).

Contudo, a capilaridade é um fenômeno que ocorre devido a atuação da interação das forças de adesão, coesão e tensão superficial com a força da gravidade agindo sobre uma coluna de água. Aqui a força de adesão é gerada pelas moléculas de água, que são dipolares, e a superfície interna dos elementos traqueais do xilema. À medida que o fluxo de água ocorre ao longo da parede do xilema, as forças de coesão entre as moléculas agem puxando o volume de água que se encontra no interior do xilema, essa subida da água irá continuar até que as forças sejam balanceadas pela atuação da gravidade (KEAURBY, 2008).

2.2.2 Transpiração

Aproximadamente 95% da água absorvida pelas plantas é perdida através da transpiração. A água absorvida pela planta que é extraída pelo solo se perde através das folhas em proporção a demanda evaporativa da atmosfera (CARLESSO, 1995).

Em adição a isso, Keurby (2008) alega que a evaporação da água produz o gradiente de potencial da água no solo, que é o principal fator do movimento da água através do xilema, de modo a controlar a taxa de ascensão e absorção da seiva. Ainda segundo o autor, as plantas que apresentam o maior interesse do ponto de vista agrícola são aquelas que apresentam maiores taxas de transpiração.

A transpiração pode ocorrer em qualquer parte da planta que esteja acima do solo. Cerca de 90% do total desse processo ocorre nas folhas, fazendo de suma importância a anatomia foliar no processo de transpiração, protegendo as células de uma eventual dissecação. Os órgãos responsáveis pelo processo são os estômatos nas folhas e as lenticelas em caules e ramos jovens (KEAURBY, 2008).

De acordo com Silva (2022), os estômatos são os maiores responsáveis pela taxa de transpiração, entrada de gás carbônico e atuam também de modo que impedem que a planta se desidrate em situações de extremo calor.

No processo de transpiração as folhas vão perder água para o meio aumentando sua pressão osmótica, devido ao aumento da concentração de solutos, levando suas células a absorverem água dos vasos lenhosos nas nervuras das folhas, translocando-se do xilema para o mesófilo e dali para o ambiente através dos estômatos (SILVA, 2019).

2.2.3 Déficit Hídrico

Quando a procura da planta por água é maior que a oferta, temos o desenvolvimento de um déficit hídrico. Essa oferta está relacionada com a capacidade do solo em reter água para suprir as demandas das plantas bem como a profundidade do sistema radicular das culturas, essa oferta tem de ser necessária para suprir a demanda gerada pela taxa de transpiração da planta ou evapotranspiração da cultura,

a qual irá incluir a transpiração das plantas bem como a evaporação do solo (BIANCHI et al., 2016).

A ocorrência do déficit hídrico afeta o crescimento e desenvolvimento de culturas cultivadas em todo o mundo. Ele provoca alterações na planta cuja irreversibilidade depende de vários fatores, como a severidade, o estágio de desenvolvimento da planta, do genótipo e da duração do déficit (SANTOS E CARLESSO, 1998).

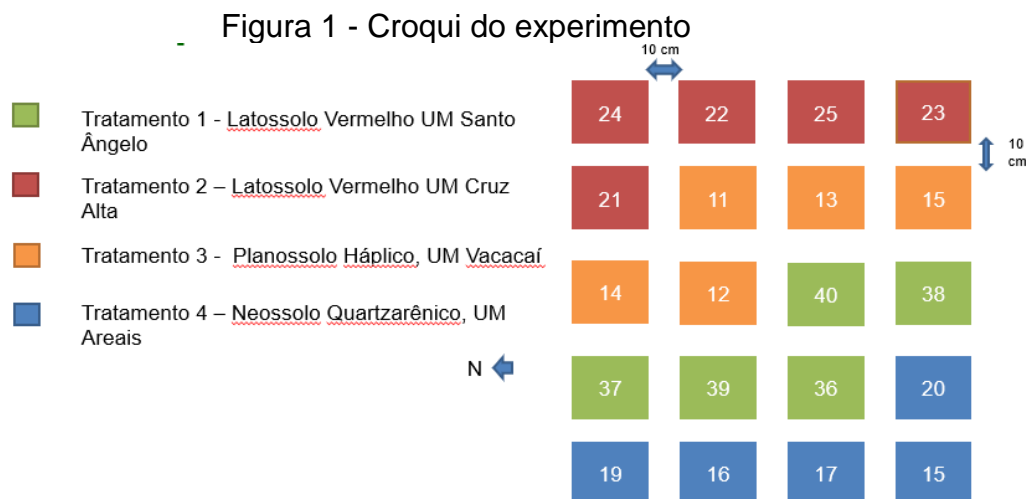
De acordo com Santos e Carlesso (1998), o suprimento de água para uma planta é resultante de interações ente o solo-planta-atmosfera. A medida em que o solo seca, torna-se mais difícil às plantas a absorção da água, devido ao aumento da força de retenção, de modo a diminuir a disponibilidade de água no solo para as plantas. Porém, quanto maior for a demanda evaporativa da atmosfera mais elevada será a necessidade de fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera.

O déficit hídrico é um dos principais responsáveis pela perda de produtividade das culturas. O milho quando exposto ao déficit hídrico sofre, principalmente quando a mesma ocorre no florescimento, isso se dá principalmente porque nessa fase ocorre processos envolvidos na fixação e na formação inicial dos grãos. (BERGAMASHI et al, 2006). O trigo quando exposto ao déficit hídrico no início da fase de florescimento também apresenta perdas em sua produção de grãos e na sua produção de fitomassa (SILVA et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

Para atender os objetivos da presente pesquisa, montou-se um experimento em vasos na estufa da área experimental da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), situada no município de Cerro Largo – RS. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com 4 tratamentos e 5 repetições. As unidades experimentais foram constituídas por vasos de plástico com capacidade de 5 litros. Os tratamentos utilizados foram 4 tipos de solo com textura diferentes, alocados de acordo com croqui na figura 1. No período de inverno cultivou-se o trigo nos vasos, e na primavera e verão o milho.



Fonte: Autor, 2022.

Para a realização do estudo, foram coletadas amostras de solos do Rio Grande do Sul com diferentes texturas. Coletou-se amostras no horizonte A dos seguintes solos: Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdt) da Unidade de Mapeamento Santo Ângelo, Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd) da Unidade de Mapeamento Cruz Alta, Planossolo Háplico (PH) da Unidade de Mapeamento Vacacaí e Neossolo Quartzarênico (NQ) da Unidade de Mapeamento Areais. Todos foram coletados durante a viagem de estudos da disciplina de Levantamento e Classificação de solos. Na tabela 1, consta a granulometria dos solos que foram utilizados no estudo, a classe textural foi determinada através de uma análise granulométrica de cada solo no

laboratório de Pedologia e Física do solo da UFFS, utilizando-se o método da pipeta, e o tipo de solo de acordo com o zoneamento agrícola (ZARC).

Tabela 1 - Caracterização dos solos de acordo com a análise granulométrica e o tipo de solo do ZARC.

| Solo | UM | g kg ⁻¹ | | | Classe textural | Tipo de solo (ZARC) | Área ocupada no estado (ha) |
|------------|--------------|--------------------|-------|--------|-----------------|---------------------|-----------------------------|
| | | Areia | Silte | Argila | | | |
| Latossolo | Santo Ângelo | 120 | 390 | 490 | Argila | Tipo 3 | 1.956.000 |
| Latossolo | Cruz Alta | 699 | 99 | 202 | FAA* | Tipo 2 | 794.500 |
| Planossolo | Vacacaí | 643 | 257 | 100 | FA | Tipo 1 | 1.634.000 |
| Neossolo | Areais | 978 | 007 | 015 | Areia | - | 5.000 |

*FAA refere-se à Franco Argilo Arenoso e FA refere-se à Franco Arenoso.

Fonte: Autor, 2022.

3.2 CARACTERIZAÇÃO, CORREÇÃO DO SOLO E MONTAGEM DOS VASOS

Após a coleta, os solos foram secos ao ar, macerados e peneirados em peneira de 2 mm. Encaminhou-se uma pequena amostra de cada solo (500 g) para o Laboratório de Análises químicas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), para determinar o pH, teor de Ca, Mg, P, K, matéria orgânica e índice SMP. Com os dados das análises químicas, representados nas tabelas 1 e 2, foram determinados através de cálculos a quantidade de corretivo a ser utilizado em cada vaso, para elevar o pH do solo a 6,5. Também, foram calculadas a quantidade de fertilizantes a serem aplicados em cada vasos, para as culturas do trigo e milho.

Tabela 2 - Análise química diagnóstico para acidez do solo e calagem.

| Solo | pH | Ca | Mg | Al | H+Al | CTC _{efet.} | Saturação | | Índice SMP |
|------|----------|-----|-----|-----|------|----------------------|------------------------------------|-------|------------|
| | água 1:1 | | | | | | cmol _c dm ⁻³ | | |
| | | | | | | | Al | Bases | |
| LVdt | 5,2 | 7,2 | 3,0 | 0,1 | 5,5 | 10,8 | 0,6 | 66,1 | 5,8 |
| LVd | 4,0 | 1,0 | 0,7 | 2,4 | 15,4 | 4,3 | 56,5 | 10,7 | 4,9 |
| PH | 4,3 | 1,4 | 0,6 | 1,9 | 9,7 | 4,0 | 47,5 | 17,7 | 5,3 |
| NQ | 5,1 | 0,5 | 0,2 | 0,3 | 1,7 | 0,9 | 31,1 | 27,8 | 6,8 |

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 3 - Análise química, diagnóstico para macronutrientes e recomendação de adubação NPK-S.

| Solo | P | K | CTC pH7 | K |
|------|---------------------|-------|---------|-------|
| | Mehlich | | | |
| | mg/dm ⁻³ | | | |
| LVdt | 30,2 | 0,512 | 16,3 | 200,0 |
| LVd | 3,3 | 0,164 | 17,2 | 64,0 |
| PH | 3,9 | 0,102 | 11,8 | 40,0 |
| NQ | 4,2 | 0,051 | 2,4 | 20,0 |

Fonte: Autor, 2022.

A adubação e calagem foram realizadas de acordo com o Manual de Adubação e Calagem (2016), obedecendo as indicações dos mesmo para a cultura e para o índice SMP. A calagem foi realizada com carbonato de cálcio, a fim de obter uma neutralização mais rápida devido ao seu maior poder relativo de neutralização total (PRNT), que foi macerado, pesado e armazenado em recipiente de papel alumínio, dose por dose de acordo com as demandas de cada solo. Para a sua aplicação o solo do vaso foi transferido para uma bandeja, representado na figura 2, onde a dose foi aplicada de forma homogênea e o solo foi misturado com a dose com as mãos a fim de distribuir mais uniformemente possível, simulando uma aplicação convencional, e então transferiu-se o solo de volta da bandeja para o vaso, então eles foram irrigados com cerca de 1 litro de água.

Figura 2 - Dose de carbonato de cálcio sendo aplicada e homogeneizada.



Fonte: Autor, 2022.

Para a adubação de potássio utilizou-se o cloreto de potássio e para o fósforo o superfosfato triplo. O fertilizante foi macerado, pesado e alocado em recipientes de alumínio, ilustrado na figura 3, de acordo com a demanda de cada cultura para cada tipo de solo. Para a adubação nitrogenada utilizou-se a ureia. O NPK foi aplicado juntamente com a semeadura, cerca de duas semanas após a correção do pH do solo, de acordo com a figura 4.

Após a correção do solo, cada vaso foi preenchido com os diferentes tipos de solo, até completar os 5 litros do seu volume.

Figura 3 - Doses NPK armazenadas em recipientes de alumínio.



Fonte: Autor, 2022.

Figura 4 - Aplicação das doses de NPK para a cultura do trigo.



Fonte: Autor, 2022.

3.3 IMPLANTAÇÃO DAS CULTURAS, MONITORAMENTO DA UMIDADE DO SOLO E DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE FISIOLÓGICO

Após o preenchimento dos vasos, foi inserida uma sonda de TDR em cada vaso, ilustrados na figura 5, para o monitoramento da umidade do solo ao longo do ciclo das culturas. Com os dados de umidade do solo, calculou-se a quantidade de água a ser adicionada em cada vaso para manter a umidade do solo entre 80 e 90 % da umidade da capacidade de campo para a cultura do trigo, realizando a irrigação manualmente com o auxílio de uma pisseta. O monitoramento da umidade do solo foi realizado duas vezes por semana. Para a cultura do milho foi instalada uma irrigação via gotejamento, devido as altas temperaturas, principalmente na casa de cada vegetação.

Figura 5 - Vasos com sonda de TDR instaladas para o monitoramento da água no solo para a cultura do trigo.



Fonte: Autor, 2022.

Nos vasos foram implantadas as culturas do trigo e do milho. A implantação foi sequencial, ou seja, após finalizar as avaliações da cultura do trigo, foi implantada a cultura do milho.

Em cada vaso foram semeadas manualmente 5 sementes na cultura do trigo e 3 para a cultura do milho, e após a emergência, foi mantida apenas 3 plantas por vaso. A cultura do milho foi mantida em crescimento até o desenvolvimento de 6 folhas na fase vegetativa. O trigo por sua vez, foi mantido até a fase de florescimento, representada na figura 6. Nesse período, a umidade do solo encontrou-se entre 80 e 90 % da capacidade de campo.

Após o fim do fornecimento de água via irrigação, os vasos foram cobertos com papel alumínio, representado na figura 6, e o fornecimento de água via irrigação foi interrompido. Dessa forma, a única perda de água que ocorreu em cada vaso se deu pela transpiração das plantas. Quando as plantas começaram a apresentar sintomas de murchamento, foram alocadas em uma câmara úmida e escura (figura 7), umedecida manualmente com o auxílio de borrifadores, com umidade relativa próxima dos 100%, por 12 horas, sendo alocada as 7 horas da noite na câmara escura e retirada as 7 horas da manhã, a fim de que as plantas se recuperassem da murcha. Em caso de recuperação, as plantas eram realocadas novamente na casa de

vegetação e repetia-se o processo até que a planta apresentasse novamente os sinais de murcha e enrolamento das folhas. Em caso de não recuperação, de ao menos uma folha, constatava-se então que as plantas estavam no seu ponto de murcha permanente fisiológico irreversível.

Figura 6 - Plantas de trigo no ponto de corte da irrigação.

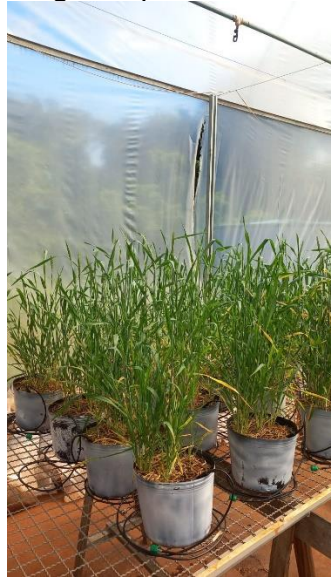


Figura 7 - Vaso com três plantas de milho coberto com papel alumínio.



Fonte: Autor, 2023.

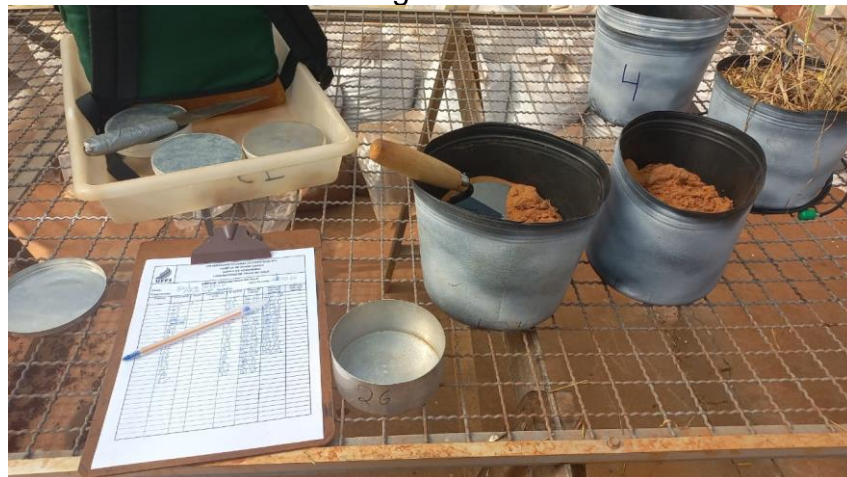
Figura 8 - Câmara escura onde as plantas foram alocadas.



Fonte: Autor, 2022.

Quando as plantas atingiram o murchamento permanente, foi medida a umidade volumétrica do solo com o equipamento de TDR, para ambas as culturas, e coletadas amostras do solo em cada vaso, ilustradas na figura 8, em latas previamente pesadas e então elas foram pesadas e secas em estufa a 105° C por 48 horas, a fim de determinar a umidade gravimétrica do solo.

Figura 9 - Coleta de amostras para a determinação da umidade gravimétrica fisiológica.



Fonte: Autor, 2023.

3.4 DETERMINAÇÃO DA UMIDADE PELA MESA DE TENSÃO E CÂMARA DE RICHARDS

Para a determinação do teor de umidade no Câmara de Richards, montou-se 5 amostras de solo, para cada tipo de solo, em anéis de 5 cm de altura e 4,8 cm de diâmetro. Essas amostras foram saturadas, ilustrada na figura 9, e submetidas as tensões de -6 kPa e -10 kPa na mesa de tensão, conforme a figura 10, e -1500 kPa na câmara de Richards, representada pela figura 11.

O conteúdo de água retido no potencial de -1500 kPa em câmara de Richards é utilizado como o conteúdo de água do solo no ponto de murcha permanente, para diversas culturas agrícolas, independentemente do tipo de solo.

Figura 10 - Amostras saturadas antes de ir para a mesa de tensão.



Fonte: Autor, 2022

Figura 11 - Mesa de tensão utilizada no experimento para determinar a umidade nos potenciais de -6kPa e -10kPa



Fonte: Autor, 2022.

Figura 12 - Câmara de Richards utilizada no experimento para a determinação da umidade em potencial matricial de -1500 kPa



Fonte: Autor, 2022.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Primeiramente realizou-se a análise estatística da umidade do solo no ponto de murcha permanente entre os diferentes tipos de solo, para cada cultura agrícola. Na sequência, foi realizada a análise considerando a umidade do solo no ponto de murcha das culturas agrícolas para cada solo e a umidade do solo obtida no potencial de -1500 kPa, considerado como método padrão.

Os dados obtidos nas avaliações, inicialmente, foram submetidos à análise de normalidade para verificar se seguem a distribuição normal. Para a comparação de médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância. Todas as análises foram feitas com o pacote estatístico SAS.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 PONTO DE MURCHA PERMANENTE

4.1.1 Umidade gravimétrica fisiológica (UGF) no ponto de murcha permanente das culturas do milho e do trigo

O Latossolo Vermelho Distroférico típico (LVdt) apresentou uma maior umidade gravimétrica do solo (Tabela 4), tanto na cultura do milho quanto na cultura do trigo, no ponto de murcha permanente fisiológico, diferindo significativamente dos demais tipos de solo. Já o Neossolo Quartzarênico (NQ) foi o solo o que apresentou a menor umidade gravimétrica, no PMP das culturas do trigo e do milho, dentre os tipos de solo do estudo, diferindo significativamente dos demais tipos de solo. Por sua vez, o Latossolo Vermelho Distrófico típico, para ambas as culturas, apresentou uma umidade gravimétrica intermediária, diferindo significativamente entre si e dos demais tipos de solo. De acordo com o coeficiente de variação, observa-se uma baixa dispersão dos dados, ou seja, uma menor variabilidade dentre os mesmos e uma alta homogeneidade, tendo um alto valor significativo.

Tabela 4 - Umidade gravimétrica fisiológica (UGF) das culturas do trigo e do milho no ponto de murcha permanente nos diferentes tipos de solo utilizados no experimento.

| Tratamento | UGF Milho g ¹ /g ⁻¹ | UGF Trigo g ¹ /g ⁻¹ |
|------------|--|--|
| LVdt | 0,157a | 0,154a * |
| LVd | 0,078b | 0,072b |
| PH | 0,031c | 0,026c |
| NQ | 0,009d | 0,004d |
| CV (%) | 11,34 | 10,88 |

*Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

UGF refere-se à umidade gravimétrica.

Fonte: Autor (2023).

Esses resultados estão atrelados a capacidade destes solos em reter água, a qual está diretamente ligada com a classe textural dos mesmos e, conseqüentemente, com o teor de argila presente em cada tipo de solo, onde o Latossolo Vermelho distroférico típico da UM Santo Ângelo, por apresentar um maior teor de argila no solo, apresentou a maior umidade gravimétrica quando a cultura do trigo entrou no PMP fisiológico. Desse modo podemos observar que solos com maior capacidade de retenção de água irão ter uma maior umidade no PMP fisiológico, não sendo essa água necessariamente disponível para as plantas.

Os fatores que atuam na disponibilidade de água às culturas são representados pela estrutura do solo, a textura, o tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica (KLEIN & LIBARDI, 2000). O teor de argila atua na distribuição do diâmetro dos poros do solo, por isso, atua determinando a área de contato entre a água e as partículas sólidas, sendo por isso responsável pela força de retenção, principalmente em baixos potenciais, como no ponto de murcha permanente (KLEIN et al, 2010).

4.1.2 Umidade volumétrica fisiológica (UVF) no ponto de murcha permanente das culturas do milho e do trigo

A maior umidade volumétrica fisiológica apresentada no PMP entre os demais tipos de solo foi de 0,14 cm³.cm³ no Latossolo Vermelho distroférico típico, diferindo significativamente, dos demais tipos de solo, apresentando assim uma maior retenção de água no PMP fisiológico da cultura do trigo (Tabela 5). O Neossolo Quartzarênico apresentou a menor umidade volumétrica, diferindo significativamente dos demais tipos de solo envolvidos no estudo, apresentando assim uma menor capacidade de retenção de água no PMP fisiológico da cultura do trigo. Novamente, os teores de umidade volumétrica fisiológica nos solos Latossolo Vermelho distrófico típico e Planossolo Háptico apresentaram teores intermediários de umidade volumétrica no PMP das culturas do trigo e do milho, diferindo significativamente entre si e dos demais tipos de solo. Embora difiram um pouco no coeficiente de variação do trigo e do milho, ambos apresentaram uma baixa dispersão e uma alta homogeneidade dos dados.

Tabela 5 - Umidade volumétrica fisiológica (UVF) no ponto de murcha permanente na cultura do trigo nos diferentes tipos de solo utilizados no experimento.

| Tratamento | UVF Milho cm ³ .cm ³ | UVF TRIGO cm ³ .cm ³ |
|------------|---|---|
| LVdt | 0,148a | 0,140 a* |
| LVd | 0,095b | 0,08 b |
| PH | 0,041c | 0,034 c |
| NQ | 0,015d | 0,006 d |
| CV (%) | 13,59 | 13,25 |

*Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

UVF refere-se a Umidade Volumétrica Fisiológica

Fonte: Autor (2023).

Como é possível observar os dados seguem o mesmo padrão dos dados analisados na umidade gravimétrica do solo. Este fato está diretamente ligado as diferentes texturas na sua composição granulométrica, os solos com maiores teores de argila em sua textura apresentaram maior capacidade de retenção de água no PMP fisiológico do trigo e do milho, contudo, apesar de ter uma maior capacidade de reter água não significa que ela esteja disponível para as plantas.

Beutler et al., (2002), nos dizem que a maior retenção sob todas as tensões ocorreu em solos cujo textura é mais fina, demonstrando que o maior conteúdo de água neste solo não resultou em benefício para as plantas, devido ao fato de a água estar retida sob maior tensão, permanecendo indisponível para as plantas

Wiechetek., et al (2017) encontraram uma umidade volumétrica fisiológica no PMP de 0,19 cm³.cm³ para a cultura do trigo em solos argilosos, isso ajuda a explicar os valores mais altos obtidos para os solos que apresentaram os maiores teores de argila. Para solos arenosos, os autores citados acima encontraram um teor de 0,05 cm³.cm³ na umidade volumétrica fisiológica no PMP na cultura do trigo, o que também está de acordo com os dados encontrados na tabela 4.

Em adição a isso, os autores citados acima nos dizem que, a relação entre a textura do solo e a retenção da água está ligada ao teor da fração argila e fatores como a forma e orientação dos grãos no solo, tendo em vista que quanto menor o tamanho dos poros, maior será a capacidade do mesmo em reter água.

4.1.3 Umidade volumétrica fisiológica do TDR (UVTDR) no ponto de murcha permanente na cultura do milho e do trigo

O Latossolo Vermelho Distroférico típico apresentou uma maior umidade volumétrica de acordo com as leituras do TDR (Tabela 6), diferindo significativamente dos demais tipos de solo, tanto para o trigo quanto para o milho, já o Neossolo Quartzarênico apresentou a menor umidade volumétrica no PMP fisiológico da cultura do trigo, diferindo significativamente dos demais cultivares. O latossolo vermelho distrófico típico teve um teor de umidade retida no PMP fisiológico, menor apenas que o Latossolo Vermelho distroférico típico, também diferindo significativa dos demais solos apresentados no estudo. O Planossolo Háplico apresentou um teor de umidade maior apenas que o Neossolo Quartzarênico, também diferindo significativamente dos demais tipos de solo ao nível de significância de 5%. Os dados apresentam uma baixa dispersão e uma alta homogeneidade de acordo com o coeficiente de variação apresentado por eles.

Tabela 6 - Umidade volumétrica fisiológica do TDR (UVTDR) no ponto de murcha permanente nas culturas do milho e do trigo nos diferentes tipos de solo utilizados no experimento.

| Tratamento | UVTDR Milho cm ³ .cm ⁻³ | UVTDR Trigo cm ³ .cm ⁻³ |
|------------|--|--|
| LVdt | 0,094a | 0,090a* |
| LVd | 0,052b | 0,050b |
| PH | 0,043b | 0,034c |
| NQ | 0,020c | 0,023d |
| CV (%) | 23,41 | 10,16 |

*Médias não seguidas pela mesma letra na coluna diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

UVTDR refere-se à Umidade volumétrica no TDR

Fonte: Autor (2023).

Os dados seguem a distribuição das demais tabelas apresentadas no estudo, onde os solos com maiores teores de argila em sua textura apresentam uma maior capacidade de retenção de água no PMP fisiológico da cultura do milho e do trigo, água essa que apesar de retida não se encontra disponível para absorção da cultura.

4.1.4 Umidade no ponto de murcha permanente nos diferentes métodos de determinação na cultura do trigo e do milho

Para os métodos de determinação de umidade no ponto de murcha permanente na cultura do trigo (Tabela 7), a umidade retida pelo método da Câmara de Richards (UVCRA) foi maior no ponto de murcha permanente para todos os tipos de solo, não diferindo significativamente do método de determinação do TDR para o Neossolo Quartzarênico (NQ) e diferindo significativamente dos demais métodos pelo teste de Tukey a 5 % de significância para o trigo. Para o milho, o método UVCRA também apresentou o maior teor de umidade retida no solo no PMP, porém não diferiu significativamente dos demais métodos para o NQ, e diferiu significativamente dos demais métodos para os outros tipos de solo.

Observa-se também que o método de determinação da umidade gravimétrica fisiológica (UGF) e o método de umidade volumétrica fisiológica (UVF) não diferem significativamente para nenhum tipo de solo encontrado no estudo, para ambas as culturas, tendo as maiores umidades no LVdt e apresentando menor umidade retida nos métodos UGF e UVF em relação ao método da UVCRA.

Tabela 7 - Umidade no ponto de murcha permanente nos diferentes métodos de determinação na cultura do trigo e do milho

| Trigo | | | | |
|------------|--|--|---|--|
| Tratamento | UGF g ¹ /g ⁻¹ | UVF cm ³ .cm ⁻³ | UVFTDR cm ³ .cm ⁻³ | UVCRA cm ³ .cm ⁻³ |
| LVdt | 0,154b | 0,140b | 0,090c* | 0,222a* |
| LVd | 0,072b | 0,080b | 0,050c | 0,124a |
| PH | 0,026b | 0,034b | 0,034b | 0,102a |
| NQ | 0,004b | 0,006b | 0,023 ^a | 0,020a |
| CV (%) | 10,88 | 13,25 | 10,16 | 7,02 |
| Milho | | | | |
| LVdt | 0,157b | 0,148b | 0,094c | 0,222a* |
| LVd | 0,078c | 0,095b | 0,052d | 0,124a |
| PH | 0,031b | 0,041b | 0,043b | 0,102a |
| NQ | 0,010a | 0,015a | 0,020a | 0,020a |
| CV (%) | 11,34 | 13,59 | 23,41 | 7,02a |

*Médias não seguidas pela mesma letra na linha diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

UGF refere-se à umidade gravimétrica fisiológica, UVF refere-se à umidade volumétrica fisiológica, UVFTDR refere-se à umidade volumétrica fisiológica no TDR, UVCRA refere-se à umidade volumétrica na Câmara de Richards.

Fonte: Autor (2023).

Para o Latossolo Vermelho distroférico típico (LVdt), o método de determinação de umidade pelo TDR apresentou o menor teor de umidade presente no ponto de murcha em relação aos demais tipos de solo utilizados no estudo, subestimando, em comparação com a o método UVF, de 64% para o trigo 65% para o milho no teor de umidade presente do solo, e diferindo significativamente dos demais métodos de determinação de umidade. A umidade gravimétrica fisiológica (UGF) e o método de determinação de umidade volumétrica fisiológica (UVF) apresentaram teores intermediários de umidade no PMP da cultura do milho, não diferindo significativamente entre si e diferindo significativamente dos demais métodos.

Já para o LVd os métodos de determinação de umidade UGF e UVF apresentaram teores intermediários de umidade no PMP da cultura do trigo, não diferiram significativamente entre si, e diferindo significativamente dos demais métodos adotados no estudo. O método da Câmara de Richards apresentou o maior teor de umidade para este solo, superestimando em 55% a umidade presente no PMP em relação ao método UVF para o trigo e em 30,5% para a cultura do milho, diferindo significativamente dos demais métodos. O método do TDR obteve o menor teor de umidade, diferindo significativamente, ao nível de 5% de significância, dos demais métodos utilizados, chegando a subestimar em 55% o teor de umidade no PMP em relação ao método UVF para a cultura do milho e 62,5% para o trigo.

Para o PH o maior teor de umidade foi obtido no método laboratorial na câmara de Richards, havendo uma superestimação de 200% em relação a umidade retida no método UVF para o trigo e de 149% para a cultura do milho, diferindo significativamente dos demais métodos presentes no estudo. O menor teor de umidade foi determinado no método de UGF, não diferindo significativamente dos métodos UVF, e UVTDR, diferindo significativamente do UVCRA.

Para o Neossolo Quartzarênico (NQ) o método UVTDR apresentou o maior teor de umidade, não diferindo significativamente do método laboratorial (UVCRA) e diferindo significativamente dos demais métodos presentes no estudo. Os métodos

UGF e UVF apresentaram os menores teores de umidade no PMP da cultura do trigo, não diferindo significativamente dos demais métodos.

Observa-se que a umidade determinada pelo método laboratorial (CRA), superestimou o teor de umidade presente no solo para o ponto de murcha permanente em comparação com os demais métodos de determinação, exceto para o Neossolo Quartzarênico. Isto se deve ao fato de que o método laboratorial desconsidera a capacidade das plantas em explorar o solo e sua capacidade de absorver água dele em potenciais matriciais abaixo de -1500 kPa.

Salvestro., et al (2013) nos diz que não existe uma medida laboratorial que possa ser um real substituto do PMP uma vez que a capacidade de retenção de água dos solos varia principalmente de acordo com a classe textural, além de salientar que determinadas plantas podem absorver água sob potenciais mátricos do solo inferiores a -1500 kPa. Conforme Klein., et al (2006), ao comparar a determinação da disponibilidade de água no solo e ponto de murcha fisiológico obtiveram teores de água menores para o PMP pelo método fisiológico do que pela Câmara de Richards utilizando as culturas do milho e girassol como plantas indicadoras.

4.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE A TEXTURA E A UMIDADE DO SOLO NO PMP

Observa-se que a argila interfere significativa na capacidade de retenção de água, sendo praticamente inversamente proporcional a areia. Pode-se observar que a capacidade de reter água no solo é afetada positivamente, principalmente, pelo teor de argila composto na textura do solo, independente do método utilizado, o que está de acordo com os dados encontrados na literatura e no estudo (tabela 9).

De acordo com Klein et al., (2010) diz que o teor de argila atua na distribuição do diâmetro dos poros do solo, por isso, atua determinando a área de contato entre a água e as partículas sólidas, sendo por isso responsável pela força de retenção, principalmente em baixos potenciais, como no ponto de murcha permanente.

Tabela 8 - Correlação de Pearson entre a textura e a umidade do solo no ponto de murcha permanente.

| Textura | UGFIS g ¹ /g ⁻¹ | UVFIS cm ³ cm ⁻³ | UVCRA cm ³ .cm ⁻³ |
|---------|--|---|--|
| Argila | 0,987 | 0,987 | 0,956* |
| Areia | -0,945 | -0,917 | -0,985 |
| Silte | 0,719 | 0,662 | 0,851 |

*Significativo a 1%

UGF refere-se à umidade gravimétrica fisiológica, UVF refere-se a umidade volumétrica fisiológica, UVCRA refere-se a umidade volumétrica na Câmara de Richards.

Fonte: Autor, 2023.

Por sua vez, a areia por apresentar um maior tamanho de partícula, sua presença em altos teores nas texturas do solo implica em solos com maior quantidade de macroporos, influenciando assim de modo negativo na capacidade de um solo em reter água, porém, isto também nos indica que o solo tem maiores condições de trocas gasosas e de percolação de água no perfil, favorecido pela maior presença de macroporos na sua estrutura.

Observa-se também que o silte também influencia positivamente na capacidade do solo em reter água, porém, não de forma tão expressiva se comparado com a argila.

5 CONCLUSÃO

Após a realização deste estudo, conclui-se que o Latossolo Vermelho distroférico típico apresentou o maior teor de umidade nos diferentes métodos de determinação, apresentando uma umidade volumétrica fisiológica de $0,148 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o milho e de $0,140 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o trigo. Para o Latossolo Vermelho distrófico típico os teores médios de umidade volumétrica fisiológica foram de $0,080 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o trigo e de $0,095 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o milho.

Por sua vez, o Planossolo Háplico apresentou uma umidade volumétrica média de $0,034 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o trigo e de $0,041 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o milho. E para o Neossolo Quartzarênico obteve-se uma umidade volumétrica fisiológica de $0,006 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o trigo e de $0,015 \text{ cm}^3.\text{cm}^3$ para o milho, o qual apresentou o menor teor de umidade no PMP para todos os métodos.

Também foi possível concluir que o método da Câmara de Richards não representa o ponto de murcha permanente para todos os solos e todas as culturas, superestimando o teor de umidade presente no solo no PMP fisiológico das culturas do milho e do trigo e subestimando a capacidade da planta em captar água em menores potenciais mátricos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. D. et al. Qualidade do solo: conceitos, indicadores e avaliação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava-PR, v.5, n.1, p.187-206, 2012.
- BERGAMASCHI, Homero et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 243-249, fev. 2006.
- BEUTLER, A. N., et al. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 26:829-834, 2002.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. Divisão de Pesquisas Pedológicas. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Grande do Sul**. Recife.1973. 431 p. (Boletim Técnico N° 30).
- CASTRO, Gustavo Spadotti Amaral *et al.* Ecofisiologia da aveia branca. **Scientia Agraria Paranaensis**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 1-15, 07 ago. 2012.
- CARLESSO, Reimar. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 25, n 1, p. 183-188, 1995.
- CZYŚ, E.A.; DEXTER, A.R.. Influence of soil type on the wilting of plants. **International Agrophysics**, [S.L.], v. 27, n. 4, p. 385-390, 1 dez. 2013.
- DALMAGO, Genei A. *et al.* Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [S.L.], v. 13, n. , p. 855-864, dez. 2009.
- ESTEVEZ, Rogério Lopes *et al.* A cultura da canola (*Brassica napus* var. oleífera). **Scientia Agraria Paranaensis**, Mal. Cdo. Rondon, v. 13, n. 1, p. 1-9, 03 mar. 2014.
- FELISBERTO, T.S.; MARINHO, L.B.; DEON, M.D.; ANDRADE, E.A.; SOUZA FILHO, J.R.. Água Disponível no Solo com Ponto de Murcha Permanente Obtido por Diferentes Métodos. **Anais do II Inovagri International Meeting - 2014**, Fortaleza, p. 5078-5083, 2014.
- FIGUEIREDO, Christiane Chigane. Physical and chemical properties of water with homeopathic mixtures. 2009. 69 f. **Dissertação (Mestrado em Plantas daninhas, Alelopatia, Herbicidas e Resíduos; Fisiologia de culturas; Manejo pós-colheita de)** - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- Freitas, Paulo S.L. et al. Efeito da cobertura de resíduo da cultura do milho na evaporação da água do solo. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.1, p.85-91, 2004.

GROHMANN, F.. Distribuição e tamanho de poros em três tipos de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, [S.L.], v. 19, n. , p. 319-328, 1960.

KERBAUY, Gilberto Barbante. **Fisiologia Vegetal**. 2. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008.

KLEIN, Vilson A. *et al.* Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Passo Fund, v. 10, n. 3, p. 646-650, set. 2006.

KLEIN, Vilson Antonio *et al.* Propriedades físicas do solo e rendimento de grãos de trigo em função de manejo do solo e uso de bioestimulantes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 19, n. 1/2, p. 24-32, 23 maio 2014.

LEPSCH, Igo F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de textos. 2002. 178 p.

LIBARDI, Paulo Leoner. **ÁGUA NO SOLO**. Disponível em: http://www.ler.esalq.usp.br/aulas/lce200/Agua_no_Solo_2016_simulado.pdf. Acesso em: 21 jun. 2022.

MACHADO, Jorge Luiz; TORMENA, Cássio Antonio; FIDALSKI, Jonez; SCAPIM, Carlos Alberto. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 495-502, abr. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000200004>.

PETRY, Mirta Teresinha *et al.* Disponibilidade de água do solo ao milho cultivado sob sistemas de semeadura direta e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [S.L.], v. 31, n. 3, p. 531-539, jun. 2007.

SALVESTRO, A. C.; et al. Permanent wilting point of soybean in Rhodic Ferralsols with and without biodegradable organic residue incorporation and physiological monitoring in relation to the behavior of moisture. **Journal of Food, Agriculture & Environmen**, v.11, n.3-4, p. 1248-1252, 2013.

SANTOS, Diego dos *et al.* Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 836-842, 21 maio 2012.

SANTOS, Reginaldo Ferreira; CARLESSO, Reimar. DÉFICIT HÍDRICO E OS PROCESSOS MORFOLÓGICO E FISIOLÓGICO DAS PLANTAS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l], v. 2, n. 3, p. 287-294, 1998.

SILVA, Euzebio Medrado da *et al.* Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.L.], v. 41, n. 2, p. 323-330, fev. 2006.

SILVA, Leonardo de Oliveira. **Laboratório na sala de aula**. Acesso em: 20 jun. 2022.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11 ed. Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC, 2016.

TORRES, Lorena Chagas *et al.* Impacts of soil type and crop species on permanent wilting of plants. **Geoderma**, [S.L.], v. 384, p. 114798, fev. 2021.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, p. 892-898, 1980.

VAN LIER, Quirijn de Jong. Field capacity, a valid upper limit of crop available water? **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 193, p. 214-220, nov. 2017.

VAN LIER, Quirjin de Jong. **Física do Solo**. 1. Ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010.

WIECHETEK, Lucia Helena *et al.* **PONTO DE MURCHA PERMANENTE PARA TRIGO E CEVADA EM SOLOS DE CAMPOS GERAIS DO PARANÁ**. 2017. 68 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

WIECHETECK, Lucia H. *et al.* Comparing the classical permanent wilting point concept of soil (-15,000 kPa) to biological wilting of wheat and barley plants under contrasting soil textures. **Agricultural Water Management**, [S.L.], v. 230, p. 105965, mar. 2020.