

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

**MILENA CAMPIOL GIRELLI**

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO NO PONTO DE MURCHA  
PERMANENTE PARA CULTURA DO TRIGO**

**CERRO LARGO  
2023**

**MILENA CAMPIOL GIRELLI**

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO NO PONTO DE MURCHA  
PERMANENTE PARA CULTURA DO TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Orientador: Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser

**CERRO LARGO**

**2023**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Girelli, Milena Campiol  
DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO NO PONTO DE MURCHA  
PERMANENTE PARA CULTURA DO TRIGO / Milena Campiol  
Girelli. -- 2023.  
50 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. Revisão Bibliografica. 2. Introdução. 3. Material  
e Métodos. 4. Resultados e Discussão. 5. Conclusão. I.  
Kaiser, Douglas Rodrigo, orient. II. Universidade  
Federal da Fronteira Sul. III. Título.

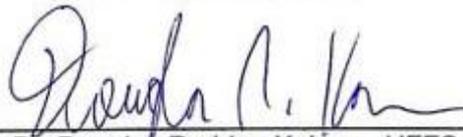
**MILENA CAMPIOL GIREI**

**DETERMINAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO NO PONTO DE MURCHA  
PERMANENTE PARA CULTURA DO TRIGO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrônoma.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 01/12/2023.

**BANCA EXAMINADORA**



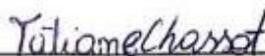
---

Prof. Dr. Douglas Rodrigo Kaiser – UFFS  
Orientador



---

Prof. Dr. Renan Costa Beber – UFFS  
Avaliador



---

Prof. Dr. Tatiane Chassot – UFFS  
Avaliador

Dedico este trabalho a minha família, em especial aos meus pais Dalberto Girelli e Liliane Campiol que sempre foram minha força e inspiração, não poupando esforços para que eu pudesse chegar até aqui, essa conquista é nossa.

## **AGRADECIMENTOS**

Inicialmente começo agradecendo a Deus, pois acredito que sem ele nada disso seria possível, estar realizando esse sonho não é somente uma conquista minha, mas de toda minha família.

Obrigada por todo apoio, amor e cuidado que me concederam nesses anos, durante a faculdade passamos por muitas situações que nos fazem pensar em desistir, mas um dia li uma frase que dizia “vai, mas nunca te esqueças do caminho que te traz de volta para casa” e sem dúvida não esquecer minhas raízes foi um dos motivos que me fez chegar até aqui.

Sendo assim, gostaria de agradecer aos meus pais Dalberto e Liliane que não mediram esforços para me manter tanto financeiramente quanto psicologicamente, o apoio de vocês foi essencial nessa jornada, agradeço a minha irmã Betina que ocupa um espaço muito importante na minha vida, a nossa união sempre me deu forças para continuar, agradeço também ao meu namorado Alex por ter me amparado em muitos momentos, ter me dado a mão e acreditado no meu sonho.

Agradeço aos meus amigos, contar com alguém para dividir os dias na faculdade torna tudo mais leve. Durante esse período passamos por muitas coisas, perdemos pessoas especiais, rimos, choramos, amadurecemos, vibramos com as conquistas um dos outros, obrigada a todos que estiveram comigo nesses últimos anos, foi um prazer dividir a caminhada com vocês.

Por fim, mas não menos importante, agradeço ao meu orientador Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Douglas Rodrigo Kaiser por compartilhar esse trabalho comigo, por sempre ter me orientado, motivado e me dado todo o suporte necessário para a realização dessa pesquisa, obrigada também por além de professor ter se tornado um amigo e me ensinado não somente sobre a parte agrônômica mas também muito sobre a vida. Bem como, agradeço a minha banca examinadora composta pelo Prof.<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Renan Costa Beber Vieira e Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tatiane Chassot por todas as contribuições.

“Nossa maior fraqueza é a desistência. O caminho mais certo para o sucesso é sempre tentar apenas uma vez mais. ”

(Thomas Edison).

## RESUMO

O solo é o responsável por armazenar e disponibilizar a água para as plantas e sua textura influencia diretamente sua capacidade de retenção de água. Quanto a isso a determinação do ponto de murcha permanente (PMP) é de suma importância, pois refere-se ao ponto em que a água no solo está tão fortemente retida que as plantas não conseguem mais absorvê-la, levando-as a um estado permanente de murcha, mesmo que submetido a condições favoráveis. O trabalho objetivou determinar a umidade retida em seis diferentes solos no ponto de murcha permanente (PMP) para a cultura do trigo, comparando os resultados obtidos pelo método fisiológico e pela câmara de Richards. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos e quatro repetições, assim os tratamentos compreendem os seis tipos de solos utilizados, sendo eles Latossolo coletado no município de Cerro-Largo (1), Latossolo coletado no município de Caibaté (2), Latossolo coletado no município de Cruz Alta (3), Neossolo coletado no município de Quaraí, Argissolo coletado no município de Santa Maria e Gleissolo coletado no município de Garruchos. A cultura indicadora escolhida foi o trigo (*Triticum* spp.). O experimento foi conduzido em vasos, e após o PMP fisiológico ser detectado foi realizada a coleta de amostras dos solos e determinada a umidade gravimétrica e volumétrica dos solos. Amostras de solo também foram submetidas a tensão de 1500 kPa pelo método da câmara de Richards. Os resultados foram submetidos a análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey. O Latossolo (UM SA1) foi o que apresentou maior umidade no ponto de murcha permanente fisiológico. Também, na comparação dos métodos, a câmara de Richards obteve resultados maiores se comparado ao método fisiológico em ambas as umidades estudadas, evidenciando que a cultura do trigo conseguiu extrair água abaixo do potencial de  $-1500$  kPa. Foi realizada ainda uma correlação da umidade retida nos solos com a textura dos mesmos, constatando que solos argilosos possuem maior retenção de água quando comparados a solos arenosos devido a sua estrutura e alta área superficial.

Palavras-chave: retenção de água, água disponível, método fisiológico, câmara de Richards.

## ABSTRACT

The soil is responsible for storing and making water available to plants and its texture directly influences its water retention capacity. In this regard, determining the permanent wilting point (PMP) is of paramount importance, as it refers to the point at which water in the soil is so strongly retained that plants can no longer absorb it, leading them to a permanent state of withering, even when subjected to favorable conditions. The work aimed to determine the moisture retained in six different soils at the permanent wilting point (PMP) for wheat crops, comparing the results obtained by the physiological method and the Richards chamber. The experimental design used was completely randomized (DIC), with six treatments and four replications, so the treatments encompass the six types of soils used, namely Hapludox collected in the municipality of Cerro-Largo (1), Hapludox collected in the municipality of Caibaté (2), Hapludox collected in the municipality of Cruz Alta (3), Quartzipsamment collected in the municipality of Quaraí, Hapludalf collected in the municipality of Santa Maria, and Gleysols collected in the municipality of Garruchos. The indicator crop chosen was wheat (*Triticum* spp.). The experiment was conducted in pots, and after the physiological PMP was detected, soil samples were collected and the gravimetric and volumetric soil moisture was determined. Soil samples were also subjected to tension of 1500 kPa using the Richards chamber method. The results were subjected to analysis of variance and the means compared using the Tukey test. The Oxisol (UM SA1) was the one with the highest humidity at the physiological permanent wilting point. Also, when comparing the methods, the Richards chamber obtained greater results compared to the physiological method in both humidity levels studied, showing that the wheat crop managed to extract water below the potential of  $-1500$  kPa. A correlation was also made between the moisture retained in the soil and its texture, finding that clayey soils have greater water retention when compared to sandy soils due to their structure and high surface area.

Keywords: water retention, available water, physiological method, Richards' chamber.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> - Croqui do experimento.....	26
<b>Figura 2</b> - Solo peneirado em peneira de 2mm. ....	27
<b>Figura 3</b> - Incorporação de calcário simulando preparo convencional.....	29
<b>Figura 4</b> - Semeadura e emergência das plantas.....	30
<b>Figura 5</b> - Plantas que atingiram o florescimento, cessada a irrigação e as mesmas no primeiro sinal de murcha. ....	31
<b>Figura 6</b> - Plantas dispostas na câmara escura com umidade do ar próxima a 75%. .....	31
<b>Figura 7</b> - Remoção do solo dos vasos e amostragem em latas vedadas. ....	32
<b>Figura 8</b> - Amostras após pesadas prontas para serem levadas à estufa.....	33
<b>Figura 9</b> - Amostras de solo saturadas para posterior determinação do PMP pelo método indireto na Câmara de Richards.....	34

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Análise Granulométrica.....	27
<b>Tabela 2</b> – Capacidade de campo (CC) calculada para os diferentes tipos de solo.	28
<b>Tabela 3</b> – Dados na análise química realizada a partir de amostras dos solos enviadas para o laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).....	28
<b>Tabela 4</b> – Doses de adubação e calagem calculadas a partir do Manual de Calagem e Adubação para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.....	29
<b>Tabela 5</b> – Análise de variância (ANOVA) obtida através do software SAS para o método fisiológico e câmara de Richards na umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) para a cultura do Trigo ( <i>Triticum spp.</i> ). ....	36
<b>Tabela 6</b> – Comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de campo (CC) de cada um dos solos utilizados. ....	37
<b>Tabela 7</b> – Resultados das médias obtidas pelo método fisiológico, para umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente para a cultura do trigo ( <i>Triticum spp.</i> ), através do teste de Tukey.....	38
<b>Tabela 8</b> – Resultados das médias obtidas pelo método da câmara de Richards, para umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente para a cultura do trigo ( <i>Triticum spp.</i> ), através do teste de Tukey.....	39
<b>Tabela 9</b> – Comparação do método fisiológico e câmara Richards na umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente para a cultura do Trigo ( <i>Triticum spp.</i> ). ....	40
<b>Tabela 10</b> – Correlação de Person da umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente dos métodos utilizados e textura dos solos utilizados no experimento, para a cultura do Trigo ( <i>Triticum spp.</i> ), através do software SAS.....	41
<b>Tabela 11</b> – Comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de água disponível (CAD) de cada um dos solos utilizados para o método fisiológico.	42
<b>Tabela 12</b> – Comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de água disponível (CAD) de cada um dos solos utilizados para o método da câmara de Richards. ....	43

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul;
PMP	Ponto de Murcha Permanente;
CC	Capacidade de campo;
CAD	Capacidade de Água disponível;
CRA	Curva de Retenção de Água;
CR	Câmara de Richards;
Ug	Umidade gravimétrica;
kPa	Quilopascal;
N	Nitrogênio;
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fósforo;
K <sub>2</sub> O	Potássio;
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio;
KCl	Cloreto de potássio;
AD	Água disponível;
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento;
MSS	Massa solo seco;
MSU	Massa solo úmido;
ZARC	Zoneamento de Risco Climático;
DIC	Delineamento inteiramente casualizado.

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\Theta$  Umidade volumétrica do solo;
- $\times$  Multiplicação;
- Subtração;
- $\psi$  Potenciais do solo.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1	ÁGUA NO SOLO .....	16
2.2	ÁGUA NA PLANTA.....	17
2.3	CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO .....	19
2.4	DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE.....	20
2.5	DÉFICIT HÍDRICO.....	21
2.6	ZONEAMENTO AGRÍCOLA .....	22
2.7	TRIGO.....	23
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
3.1	LOCAL DO EXPERIMENTO.....	25
3.2	IMPLANTAÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL .....	25
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>45</b>

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil o cultivo de cereais de inverno é tradicionalmente mais expressivo no Sul do país, entre eles está o cultivo do trigo, que além de servir de cobertura para o solo no período invernal possuem grande apreço econômico visando a produção de grãos. O crescente aumento na produção e demanda desse cereal faz crescer juntamente com o mercado os estudos que visam melhorar a qualidade e rentabilidade do mesmo. Assim dentre os fatores que mais influenciam no desenvolvimento do trigo está a umidade do solo.

A disponibilidade de água além de influenciar diretamente o desenvolvimento de todas as plantas é um fator limitante já que culturas agrícolas são altamente dependentes da mesma, devendo buscar processos que melhor aproveitem os recursos disponíveis.

Dessa forma, o solo é um dos fatores que mais limitam a disponibilidade de água para as culturas, já que a capacidade do solo para armazenar água depende de suas características físicas e químicas, como textura, estrutura, porosidade e conteúdo de matéria orgânica.

A água disponível no solo para as plantas é definida como a quantidade de água que está disponível para as plantas entre a capacidade de campo (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP) do solo.

A capacidade de campo corresponde a máxima de água que um solo pode reter depois de ter sido saturado com água e deixado drenar por tempo suficiente para que a água livre tenha escoado. Já o ponto de murcha permanente é definido pela umidade do solo em que as plantas são incapazes de retirar água suficiente para manter suas funções e são reduzidas a uma condição de murcha. Assim, a umidade em que ocorre o PMP varia em função do estágio fisiológico da planta, bem como, do tipo de solo em que a mesma está estabelecida.

A partir dos aspectos mencionados, quando a quantidade de água disponível no solo está entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, o solo é considerado ideal para o crescimento das plantas. Porém são poucas as pesquisas que visam estudar o ponto de murcha permanente em culturas de inverno, dessa maneira o objetivo geral deste trabalho consiste em determinar a umidade de diferentes solos utilizando tanto o método fisiológico com a cultura do trigo como indicadora, quanto o método em laboratório pela câmara de Richards, bem como

comparar os dois métodos e estabelecer uma correlação da umidade com a textura dos solos.

.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ÁGUA NO SOLO

A água é essencial para a sobrevivência de todas as formas de vida na Terra, ela desempenha um papel vital em vários processos biológicos, incluindo a regulação da temperatura, o transporte de nutrientes e a remoção de resíduos. Sendo assim a gestão sustentável da água vem se tornando um assunto recorrente nos últimos anos.

Segundo Souza (2015), a molécula de água é formada por um átomo de oxigênio e dois átomos de hidrogênio, que se ligam através de ligações covalentes. O ângulo entre as ligações é de aproximadamente 105 graus, o que confere à molécula uma forma angular. Essa disposição espacial assimétrica dos átomos na molécula de água cria uma distribuição desigual de cargas elétricas, com o oxigênio atraindo mais fortemente os elétrons compartilhados pelos átomos de hidrogênio, isso faz com que a extremidade da molécula próxima ao oxigênio tenha uma carga negativa parcial, enquanto as extremidades próximas aos hidrogênios tenham uma carga positiva parcial. Essa polaridade é responsável pelas propriedades químicas e físicas únicas da água, incluindo sua capacidade de dissolver uma ampla variedade de compostos e sua alta tensão superficial.

Conforme Reichardt (1985), o potencial matricial de água no solo corresponde a medida da energia potencial que a água possui devido à atração das partículas do solo, sendo composto pela soma de diferentes potenciais, incluindo a tensão superficial e a capilaridade.

O potencial matricial de água no solo representa a energia potencial que a água possui para mover-se dentro do solo, contra a força da gravidade, ele influencia a retenção e a disponibilidade de água para as plantas, pois define a quantidade de água que está retida nos poros do solo e não está disponível para as raízes. Portanto, a combinação da tensão superficial e da capilaridade no solo resulta no potencial matricial de água, que desempenha um papel fundamental na retenção e movimento da água no solo.

De acordo com Klein (2008), a dinâmica de água no solo se dá pela soma de energias potenciais, que determinam sua retenção e movimento. Assim, para manter a dinâmica solo-planta-atmosfera a planta necessita de força, a qual se estabelece a partir de gradientes potenciais presentes no solo que são os responsáveis por permitir

a movimentação da água, sendo eles potencial gravitacional ( $\psi_g$ ), potencial de pressão ( $\psi_p$ ), potencial matricial ( $\psi_m$ ) e potencial osmótico ( $\psi_{os}$ ), a soma desses gradientes resulta no potencial total de água ( $\psi_T$ ) que é o que influencia não só a atividade de água no solo mas também sua disponibilidade para as plantas (SOUZA, 2015).

As forças capilares desempenham um papel importante no movimento da água no solo, especialmente em solos com elevados poderes de água. As forças capilares são o resultado da tensão superficial da água e da interação entre a água e as paredes dos poros do solo. Essas forças permitem que a água seja retida nos poros do solo, mesmo contra a gravidade. Também, a estrutura do solo, como o tamanho, forma e conectividade dos poros, afeta significativamente a quantidade de água retida nos poros, solos com uma maior proporção de poros finos e interconectados terão uma maior capacidade de retenção de água (DALVALO, 2013).

A estrutura do solo também afeta a movimentação do ar no solo, bem como o crescimento das raízes das plantas. Solos bem protegidos com poros permitem a circulação do ar e fornecem espaço para o crescimento das raízes, enquanto solos compactados ou com poros obstruídos podem restringir o movimento do ar e limitar o crescimento das mesmas.

Dessa forma, o manejo adequado do solo, incluindo práticas como aeração, adição de materiais orgânicos, controle de compactação e drenagem adequada, pode ajudar a manter uma estrutura de solo saudável, favorecendo a movimentação da água, do ar e o crescimento das radicular das culturas (REICHARDT, 1985).

## 2.2 ÁGUA NA PLANTA

Sendo um fator essencial para o desenvolvimento das plantas e para a sua distribuição no planeta a água é necessária para uma série de processos bioquímicos que ocorrem nas células vegetais, incluindo a fotossíntese, a transpiração e a absorção de nutrientes, além de ser o principal componente dos tecidos vegetais, ocupando cerca de 90% do conteúdo celular (PIMENTEL, 1995).

Ainda segundo o mesmo autor, quando as plantas não recebem água suficiente, seu teor de água celular pode cair abaixo de 75%, o que pode levar a mudanças estruturais na planta e, em última instância, à morte, já que a água é o fator mais importante para manter a turgidez das células vegetais.

A água atua como um meio de transporte para os minerais, solutos e gases que são absorvidos pelas raízes das plantas, esses nutrientes são então conduzidos para a parte aérea da planta, onde são utilizados para processos como a fotossíntese e o crescimento (REICHARDT, 1996).

Segundo Pimentel (1995), a água é um reagente importante para muitas reações celulares, incluindo a fotólise da água, que é um processo essencial para a produção de oxigênio durante a fotossíntese, além de ser utilizada na hidrólise de macromoléculas como o amido, que é uma importante fonte de energia para as plantas.

Além disso atua na manutenção da turgescência celular, que é essencial para o aumento do volume e do crescimento das plantas, isso porque a água exerce pressão sobre as paredes celulares, mantendo-as rígidas e fornecendo suporte estrutural para a planta. A água também está envolvida na abertura dos estômatos, que são estruturas presentes nas folhas das plantas que controlam a troca de gases entre a planta e o ambiente, sendo fundamental para a transpiração e exercício físico das plantas.

O fornecimento de água para as plantas se baseia em uma relação entre solo, água e planta, dentre os fatores que afetam esse fornecimento está a qualidade da água, o tipo de solo, a presença de competição de raízes de outras plantas e a presença de patógenos ou pragas que afetam a saúde das raízes.

É importante salientar que cada planta possui suas próprias necessidades hídricas e que o fornecimento inadequado de água pode ter consequências negativas, como diminuição do crescimento, redução da produtividade e até mesmo senescência e morte da planta. Por isso, é fundamental entender as necessidades específicas de cada cultivar e monitorar regularmente a umidade do solo para garantir um abastecimento adequado de água.

Sendo assim, a quantidade de água necessária para uma planta pode variar de acordo com diversos fatores, como clima, localização, época do ano, tipo de solo, sistema de irrigação e estágio de desenvolvimento da planta (PIMENTEL, 1995).

Portanto a disponibilidade de água é imprescindível para o desenvolvimento da planta, influenciando diretamente em sua produtividade e qualidade, principalmente levando em consideração períodos de estiagem ao longo do ciclo da cultura.

### 2.3 CURVA DE RETENÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

A curva de retenção de água (CRA), também conhecida como curva característica do solo, descreve a relação entre o potencial matricial do solo e o conteúdo de água retida nele, representa a capacidade do solo de reter água em diferentes níveis de umidade (MAIA, 2016; SILVA *et al.* 2006).

A forma da curva de retenção de água pode variar de acordo com as propriedades do solo, como textura, estrutura e porosidade. Os solos arenosos tendem a ter uma curva de retenção de água mais inclinada, indicando uma menor capacidade de retenção de água, enquanto os solos argilosos apresentam uma curva mais plana, indicando uma maior capacidade de retenção. Isso por que em baixos potenciais matriciais, a influência de macroporos, é mais significativa na formação e estabilidade da estrutura do solo, esses poros permitem uma rápida infiltração de água e uma boa aeração do solo.

Já em altos potenciais matriciais, a CRA é influenciada pelos poros texturais, os microporos que têm uma capacidade significativa de reter água devido à grande superfície disponível para a adsorção de água. Em altos potenciais matriciais, quando a água é liberada dos macroporos, ela é retida nos microporos devido à força de atração molecular entre a água e as superfícies das partículas do solo.

Assim, a presença de macroporos e microporos desempenham papéis diferentes na curva de retenção de água do solo. Os macroporos são importantes para a infiltração e armazenamento rápido de água em baixos potenciais matriciais, enquanto os microporos têm grande importância na manutenção e disponibilidade de água em altos potenciais matriciais, devido à sua capacidade de adsorção de água (MAIA, 2016).

A Capacidade de Retenção de Água é crucial para definir os limites de água disponíveis para as plantas, abrangendo dois pontos fundamentais, sendo eles a Capacidade de Campo (CC) que se caracteriza por ser o limite superior da água disponível para as plantas, nesse ponto, o solo está saturado, mas sem excesso de água, fornecendo uma quantidade suficiente de água para as plantas. E o Ponto de Murcha Permanente (PMP) que corresponde ao limite inferior de aproveitamento de água pelas plantas, onde o solo atingiu uma umidade tão baixa que não fornece mais água as plantas, causando estresse hídrico. Assim, a faixa entre o CC e o PMP é essencial para determinar a água disponível para as plantas.

A determinação da CRA consiste nos espaços porosos do solo ocupados pela água sob determinada pressão, sendo influenciada pela composição granulométrica e pelo arranjo das partículas do solo (CARVALHO, 2002).

Para que seja efetuada essa determinação são utilizadas principalmente técnicas em laboratório como câmara de Richards, método da centrífuga, funil de placa porosa e tensiometria, nos quais se busca determinar o conteúdo de água no solo sob diferentes valores, podendo variar de 1 kPa a 1.500 kPa (MAIA, 2016).

Ainda no que se refere a CRA, a forma como os poros são distribuídos e conectados afetam a capacidade de retenção de água do solo, solos com uma estrutura bem desenvolvida, com porosidade adequada e boa conectividade, têm uma capacidade de retenção de água mais elevada do que solos compactados. Assim, os limites de disponibilidade de água variam de acordo com os tipos de solo, suas propriedades físicas e também de acordo com o manejo adotado para cada solo (DAMALGO *et al.* 2009).

#### 2.4 DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE

O ponto de murcha permanente (PMP) é um termo usado na ciência do solo para descrever a condição em que as plantas não conseguem mais extrair água do solo devido à tensão da água ser muito alta, esse conceito foi proposto por Briggs e Shantz (1912).

De acordo com essa definição, o PMP é considerado como uma porcentagem mínima da umidade do solo na qual as plantas entram em um estado de murcha permanente. Em outras palavras, elas murcham e não conseguem se recuperar, mesmo que sejam fornecidas condições favoráveis.

Ainda Briggs e Shantz (1912), observaram que o ponto ideal para que as plantas coexistissem a essa condição de murcha permanente era quando a água no solo atingisse uma tensão de aproximadamente -1.500 kPa, abaixo desse valor de tensão, as plantas tendem a murchar e não conseguem mais se recuperar, mesmo quando a água é novamente disponibilizada no solo.

Porém, o valor exato do PMP pode variar dependendo do tipo de solo e das espécies de plantas envolvidas. Diferentes plantas possuem diferentes tolerâncias à seca, e a capacidade de retenção de água do solo também pode variar (PROCÓPIO, 2004). Portanto, o valor de -1.500 kPa é uma referência geral, mas pode não ser

aplicável a todas as situações, sendo necessário que seja definido um limite inferior de umidade para diferentes culturas implantadas em diferentes tipos de solos (BRIGGS & SHANTZ, 1912).

Para a determinação do PMP podem ser utilizados diferentes métodos, como o método direto ou fisiológico proposto Briggs e Shantz (1912) e o método indireto utilizando a câmara de Richards (RICHARDS, 1943).

O método direto ou fisiológico, envolve a observação direta do estado de murcha das plantas em resposta à falta de água no solo. Nesse método, as plantas são mantidas a diferentes níveis de estresse hídrico, geralmente através da retirada gradual de água do solo, até que tomem um estado de murcha permanente, ou seja, não se recuperarão mesmo após a irrigação. O nível de umidade do solo no momento em que as plantas atingem esse estado é considerado o PMP.

Já o método indireto utilizando a câmara de Richards, proposta por Richards, envolve a medição da tensão da água no solo em diferentes potenciais matriciais, onde são extraídas amostras de solo com diferentes níveis de sucção e medida a quantidade de água retida nessa amostra. A sucção é aplicada à amostra de solo e, por meio de análises laboratoriais, a quantidade de água retida é determinada para cada sucção aplicada. O PMP é geralmente definido como o ponto em que o solo atinge uma tensão de sucção específica, na qual a planta é incapaz de extrair água dos poros do solo.

Ambos os métodos têm suas vantagens, o método direto é mais intuitivo e está diretamente relacionado à resposta fisiológica das plantas, mas pode ser subjetivo e dependente da espécie de planta utilizada. O método indireto utilizando a câmara de Richards é mais preciso e reproduzível, mas requer equipamentos especializados e análises laboratoriais. Ainda Felisberto (2014), ressalta que não há uma medida em laboratório que possa ser precisamente um substituto do PMP, sendo que a capacidade de retenção de água varia especialmente de acordo com a classe textural dos solos.

## 2.5 DÉFICIT HÍDRICO

A água do solo é um componente vital para o crescimento e desenvolvimento das culturas agrícolas, a disponibilidade adequada de água no solo é essencial para o desenvolvimento correto das plantas, exercendo funções cruciais sobre as mesmas.

Taiz e Zieger (1991) afirmam que a água pode ser o recurso mais limitante para a produção agrícola, mesmo sendo um recurso ambiental relativamente abundante.

O déficit hídrico ocorre quando a demanda das plantas por água é maior do que a oferta disponível no solo. Essa oferta está diretamente relacionada com a capacidade do solo em reter água para suprir as necessidades hídricas das plantas, assim como com a profundidade do sistema radicular das culturas. A oferta de água deve ser suficiente para suprir a demanda gerada pela taxa de transpiração da planta ou evapotranspiração da cultura, que inclui tanto a transpiração das plantas, que é a perda de água através dos estômatos das folhas, como a evaporação do solo. (BIANCHI *et al.*, 2016).

Quando ocorre o déficit hídrico, ou seja, quando a demanda por água excede a oferta, as plantas enfrentam uma situação de estresse hídrico, esse estresse pode ter influência no crescimento e desenvolvimento das culturas, afetando sua produtividade e qualidade.

Também, a resposta das plantas ao déficit hídrico pode variar de acordo com diversos fatores, como a severidade do estresse, o estágio de desenvolvimento da planta, o genótipo da cultura e a duração do déficit hídrico. Assim, algumas plantas podem tolerar a adaptação para lidar com a falta de água, enquanto outras podem ser mais sensíveis e sofrer danos irreversíveis em sua estrutura e funcionamento. (SANTOS e CARLESSO, 1998).

Dessa forma, para minimizar os efeitos negativos do déficit hídrico, é possível adotar práticas de manejo como o uso eficiente da irrigação, a escolha de cultivares mais tolerantes à seca, além é claro do manejo do solo para melhorar sua capacidade de retenção de água.

## 2.6 ZONEAMENTO AGRÍCOLA

O Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) é um programa desenvolvido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil, com o objetivo de auxiliar os produtores na tomada de decisões, considerando as condições climáticas e edafoclimáticas, relativas ao solo e clima de cada região produtora. O ZARC fornece informações, indicando as épocas mais adequadas para o plantio das culturas em diferentes áreas do país, visando minimizar os riscos e maximizar o potencial produtivo das culturas.

Dessa forma, até 2023, o ZARC utilizava uma classificação com três tipos de solo, baseados principalmente no teor de argila, para estimar a água disponível no solo. Entretanto, a partir desse ano, uma nova metodologia foi adotada, e o programa passou a utilizar seis classes de água disponível (AD) para estimar a água disponível no solo.

Essa mudança significativa é resultado do uso de uma equação definida pela Embrapa Solo (função de pedotransferência), que leva em consideração não apenas o teor de argila, mas também a composição textural dos solos, incluindo os teores de silte e areia. Com essa abordagem, a estimativa de água disponível no solo será customizada para cada área de produção, levando em conta as características específicas do solo de cada região, o que permite uma avaliação mais precisa dos riscos associados as perdas das culturas.

Assim, essa nova metodologia com seis classes de água disponível, tem como objetivo ampliar o escopo de avaliação da realidade dos sistemas produtivos brasileiros, considerando as particularidades dos diferentes solos do país, permitindo aos produtores fazer escolhas mais informadas e estratégicas em relação ao plantio de cada cultura e à gestão dos riscos envolvidos na produção agrícola.

## 2.7 TRIGO

A produção de trigo no Brasil está em crescimento, alcançando um novo recorde em 2022. Segundo o 3º Levantamento da Safra de Grãos divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), estima-se que a produção de trigo alcance 9,5 milhões de toneladas, representando um aumento de 23,7% em relação à safra anterior. O cultivo de trigo no Sul do Brasil enfrenta desafios climáticos específicos que podem afetar a produção, como a geada no espigamento e o excesso hídrico na fase final do ciclo do trigo, esses eventos climáticos podem causar perdas na lavoura e impactar os produtores.

De acordo com Souza (2013), a produtividade do trigo é fortemente influenciada pelas condições hídricas, as condições de água no solo desempenham um papel crucial no desenvolvimento e rendimento do trigo ao longo do seu ciclo de cultivo. O efeito da disponibilidade de água no rendimento do trigo depende de vários fatores, como a duração e intensidade do estresse hídrico, o desenvolvimento fenológico da cultura e a capacidade da planta em responder às variações ambientais.

Durante o ciclo de cultivo do trigo, a demanda por água varia de acordo com a ascensão de crescimento da planta. No início do ciclo, a água é essencial para a germinação das sementes e o estabelecimento das plântulas, durante o período vegetativo, uma planta requer água para o crescimento das folhas, desenvolvimento do sistema radicular e retenção de biomassa. Em fase posteriores, como a de espigamento e enchimento de grãos, a disponibilidade adequada de água é fundamental para o desenvolvimento e preenchimento dos grãos, afetando diretamente o rendimento final da cultura (SOUZA, 2013).

Por outro lado, a escassez de água durante os períodos críticos do ciclo de cultivo do trigo pode levar ao estresse hídrico, afetando o crescimento das plantas e o rendimento dos grãos, o déficit hídrico pode resultar em menor número de espigas, menor tamanho de grãos, má formação de espigas e grãos mal preenchidos.

Portanto, é fundamental considerar as condições hídricas e implementar práticas adequadas de manejo da água no cultivo de trigo. Isso inclui monitorar a disponibilidade de água no solo, utilizar técnicas de irrigação eficientes quando necessário e selecionar variedades de trigo adaptadas às condições locais (PINTO *et.al* 2019).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

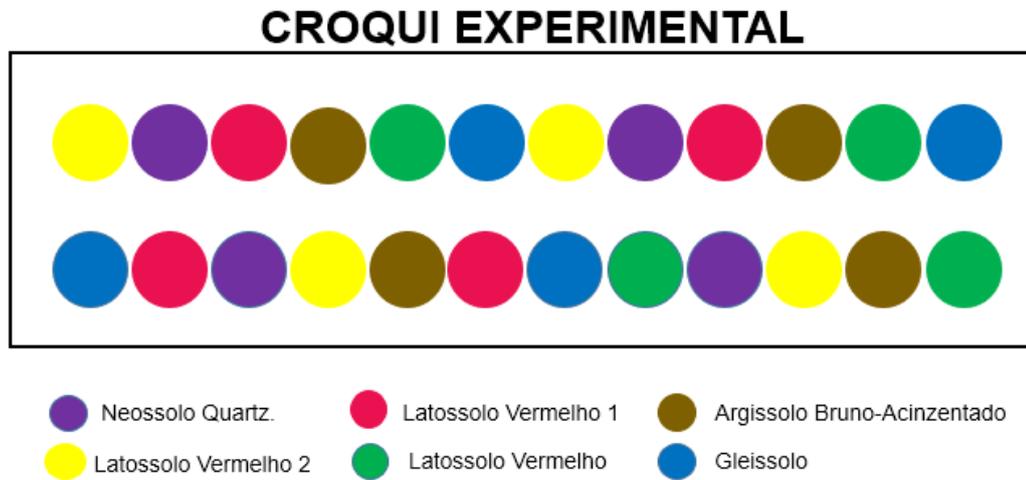
As informações fornecidas descrevem o ambiente climático da região onde foi instalado o experimento na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - campus Cerro Largo, Rio Grande do Sul, Brasil. As coordenadas geográficas correspondem a 28° 08' 32.3"S de latitude e 54° 45' 41.6"O de longitude.

A região possui um clima classificado de acordo com a classificação climática de Köppen como Cfa, o que indica que se trata de um clima subtropical úmido. As características climáticas do clima Cfa incluem temperaturas médias mais altas que 18° C durante os meses mais quentes do ano e temperaturas médias entre 3° C e 18° C para os meses mais frios. Isso indica que a região possui verões relativamente quentes e invernos mais amenos, sem temperaturas muito extremas ao longo do ano. Quanto à pluviosidade, a região tem uma média anual de 1600 mm de chuvas, podendo apresentar variações durante a primavera e o verão, o que significa que esses períodos podem ser mais chuvosos.

#### 3.2 IMPLANTAÇÃO E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento é composto por 24 unidades experimentais com 6 tratamentos e com 4 repetições. O delineamento experimental escolhido foi o inteiramente casualizado (DIC), sendo os vasos dispostos sobre a bancada de forma casualizada (FIGURA 1) e a cada nova avaliação foram movidos de lugar para que um tratamento não ficasse sempre nos extremos da bancada.

Figura 1 – Croqui do experimento.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para a realização do experimento foi utilizada a cultura do trigo (*Triticum spp.*), servindo como planta indicadora para o ponto de murcha permanente (PMP) em seis tipos de solo com diferentes texturas.

Utilizando-se amostras dos seguintes solos: Latossolo coletado no município de Cerro-Largo (1), Latossolo coletado no município de Caibaté (2), Latossolo coletado no município de Cruz Alta (3), Neossolo coletado no município de Quaraí, Argissolo coletado no município de Santa Maria e Gleissolo coletado no município de Garruchos.

A partir da escolha dos solos que foram utilizados no experimento foi realizada análise granulométrica pelo método da pipeta adaptado pelo laboratório de física do solo da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), que se baseia na velocidade de sedimentação entre as partículas, obtendo-se assim, a seguinte composição granulométrica para os solos em estudo (TABELA 1).

Tabela 1 – Análise Granulométrica, realizada no laboratório de Pedologia e Física do solo da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) – *campus* Cerro-Largo.

TIPOS DE SOLO	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	CLASSE TEXTURAL
Neossolo .	1,5	0,7	97,8	Areia
Latossolo (1)	49,1	39,0	12,0	Argila
Latossolo (3)	28,2	7,9	63,9	Franco Argilo Arenosa
Latossolo (2)	52,5	39,2	8,3	Argila
Gleissolo	30,8	50,4	18,8	Franco Argilo Siltosa
Argissolo	7,7	22,3	70,0	Franco Arenosa

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dessa forma, os solos utilizados foram secos ao ar e após destorroados e passados em peneira de 2 mm (FIGURA 2), em seguida os solos foram depositados nos vasos, onde se utilizou 24 vasos com capacidade de 2 litros cada. Se realizou ainda a amostragem dos respectivos solos para a determinação da capacidade de campo (CC) por meio da mesa de tensão e secagem em estufa a 105 °C por 48 horas para obtenção da CC para cada solo (TABELA 2).

Figura 2 – Solo peneirado em peneira de 2mm.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Tabela 2 - Capacidade de campo (CC) calculada para os diferentes tipos de solo.

TRATAMENTOS	CAPACIDADE DE CAMPO (CC)	
	g/g	
Neossolo	0,03	
Latossolo (1)	0,30	
Latossolo (3)	0,20	
Latossolo (2)	0,31	
Gleissolo	0,38	
Argissolo	0,23	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para realização da correção do pH dos solos e adubação foram considerados os resultados obtidos em análises de solo do ano anterior ao experimento (Tabela 3), onde através do Manual de Calagem e Adubação dos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (2016) foi realizado o cálculo da necessidade, tendo como referência a cultura do trigo.

Tabela 3 - Dados na análise química realizada a partir de amostras dos solos enviadas para o laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

TRATAMENTOS	%					Índice SMP
	MO	% Argila	P - Mehlich	CTC pH 7	K	
	m/V	mg/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	cmol/dm <sup>3</sup>	mg/dm <sup>3</sup>	
Neossolo	0,3	17	4,2	2,4	20	6,8
Latossolo (1)	4,1	70	30,2	16,3	20	5,8
Latossolo (2)	1,8	43	3,3	17,2	64	4,9
Latossolo (3)	4,6	50	17,6	20,5	324	6,0
Gleissolo	3,2	26	3,5	15,5	54	5,7
Argissolo	3,1	21	66,3	14,2	92	5,7

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A partir dos resultados da análise química foi realizada a separação das doses de calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) utilizado para correção em pH 6,0, juntamente com a separação de doses de nitrogênio (N) em forma de ureia, fósforo ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) em forma de superfosfato triplo e potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) em forma de KCl, utilizados para adubação. Essas doses foram calculadas a partir do que é proposto no Manual de Calagem e Adubação (TABELA 4).

Tabela 4 - Doses de adubação e calagem calculadas a partir do Manual de Calagem e Adubação para os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

TRATAMENTOS	Trigo			CaCO <sub>3</sub>
	N (g)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g)	KCl (g)	
Neossolo	0,4	0,9	0,6	1,0
Latossolo (1)	0,4	0,0	0,2	14,0
Latossolo (3)	0,35	2,0	0,4	36,0
Latossolo (2)	0,15	0,4	0,0	13,0
Gleissolo	0,15	1,5	0,35	27,0
Argissolo	0,4	0,0	0,17	17,0

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para realizar a correção foi simulado um preparo convencional, desta forma os solos foram removidos dos seus respectivos vasos, um por vez, e postos em uma bandeja de plástico, onde os mesmos foram incorporados ao calcário (FIGURA 3). A correção do solo foi realizada dois dias antes do plantio, já a adubação foi realizada conforme as doses calculadas de acordo com o Manual de Adubação e Calagem e se sucedeu juntamente com a semeadura de forma superficial diretamente nos vasos.

Figura 3 - Incorporação de calcário simulando preparo convencional.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após dois dias de correção do pH, a cultura do trigo foi semeada (FIGURA 4) sendo regada manualmente no momento do plantio e após em um intervalo de dois dias, mantendo os vasos próximos à capacidade de campo estimada. Dessa forma as

plantas eram regadas todos os dias as 17:00 horas, até atingirem o pleno florescimento.

Figura 4 - Semeadura e emergência das plantas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após as plantas atingirem o florescimento a irrigação foi suspensa e os respectivos vasos foram cobertos por papel alumínio com o objetivo manter a umidade e dispostos na casa de vegetação, assim, com o primeiro sinal de murcha no final da tarde os vasos foram transferidos para câmara escura mantendo uma umidade relativa do ar próximo a 75%, medida através do aparelho termo-higrômetro (FIGURA 5 e 6).

No experimento, a estratégia foi observar se, ao amanhecer, a planta ou pelo menos alguma folha se recuperasse após terem sido submetidas ao estresse hídrico. Se houvesse recuperação, o vaso seria devolvido à bancada da casa de vegetação, mantendo a planta em condições de estresse hídrico. No entanto, se a murcha permanente (morte) fosse observada, amostras de solo eram coletadas e o processo se repetiria diariamente até que todas as plantas atingissem o PMP. Sendo um método de uma abordagem prática e sistemática para determinar o PMP das plantas, permitindo a observação direta do ponto em que a planta não consegue mais se recuperar da murcha devido à falta de água disponível no solo.

Figura 5 - Plantas que atingiram o florescimento, cessada a irrigação e as mesmas no primeiro sinal de murcha.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Figura 6 - Plantas dispostas na câmara escura com umidade do ar próxima a 75%.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após detectar o ponto de murcha permanente (PMP) fisiológico das plantas, o solo dos vasos foi removido e disposto em bandejas para ser misturado, foram extraídas amostras do solo usando latas de metal previamente pesadas em uma balança de precisão para determinar sua massa. Essas latas foram preenchidas com uma quantidade específica de solo e depois fechadas e vedadas com fita (FIGURA 7). A vedação das latas com fita tem como objetivo reduzir a perda de umidade do solo durante o transporte das amostras para análise em laboratório ou para armazenamento, sendo que manter o solo em condições próximas às originais,

minimizando a perda de umidade, é fundamental para garantir que as características do solo sejam preservadas e possam ser adequadamente analisadas.

Figura 7 - Remoção do solo dos vasos e amostragem em latas vedadas.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Em seguida, as amostras foram levadas ao laboratório, onde as latas foram abertas e pesadas novamente em uma balança de precisão para determinar a massa do solo úmido. Em seguida, o solo foi levado à estufa e submetido a uma secagem a 105°C por 48 horas para remover toda a umidade, após esse período, as latas com o solo seco foram pesadas novamente para determinar a massa do solo seco.

A partir dos dados da massa do solo úmido e seco, foi calculada a umidade gravimétrica, que é a quantidade de água presente no solo em relação à massa do solo seco, geralmente expressa em gramas de água por grama de solo seco ( $\text{g g}^{-1}$ ) e também a umidade volumétrica, que se refere à quantidade de água no solo em relação ao volume total do solo, que é calculada a partir da umidade gravimétrica e da densidade do solo, expressa em centímetros cúbicos de água por centímetro cúbico de solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ), onde ambas foram calculadas seguindo as equações abaixo.

$$Ug = \frac{(MSU - MSS)}{MSS}$$

Onde:

MSU = massa do solo úmido (g);

MSS = massa do solo seco (g);

$$\Theta_v = \Theta_g \times D_s$$

Onde:

$\Theta_g$  = umidade gravimétrica;

$D_s$  = densidade média dos solos.

Figura 8 - Amostras após pesadas prontas para serem levadas à estufa.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A umidade do solo no ponto de murcha permanente (PMP) também foi determinado em laboratório utilizando o método indireto, mais especificamente através da câmara de Richards. Neste método, as amostras de solo foram preparadas em anéis, saturadas e colocadas na câmara de Richards (FIGURA 9), submetidas a uma tensão de -1500 kPa, que é a metodologia padrão recomendada por representar a água retida no solo no ponto de murcha permanente das culturas agrícolas.

Após esse processo na câmara de Richards, as amostras foram levadas para a estufa a 105°C por 48 horas para secar completamente, uma vez secas, as amostras foram pesadas em uma balança de precisão para determinar a massa do solo seco. A partir desses dados de massa do solo úmido e seco, foi possível calcular a umidade

gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e a umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) usando as equações mencionadas anteriormente.

Figura 9 - Amostras de solo saturadas para posterior determinação do PMP pelo método indireto na Câmara de Richards.



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Com os dados de umidade do solo na capacidade de campo (CC) obtidas submetendo amostras de solo saturadas na tensão de 10 kPa em mesa de tensão e a umidade do solo no ponto de murcha permanente, obtidas pelo método fisiológico e pelo método da câmara de Richards, calculou-se a capacidade de água disponível (CAD) para cada solo, considerando uma profundidade (P) de 40 cm, usando a equação abaixo.

$$\text{CAD} = (\theta \text{ CC} - \theta \text{ PMP}) \times P$$

Os dados obtidos foram submetidos a análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Comparou-se as médias da umidade do solo no PMP entre os diferentes solos e também entre diferentes métodos de determinação para o mesmo solo. Também foi realizada a análise de correlação de Pearson entre a umidade do solo no PMP e a textura do solo (teores de areia, silte e argila), utilizando assim o *software* SAS para realizar ambas as análises estatísticas presentes no trabalho.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

De acordo com os dias da determinação do ponto de murcha permanente (PMP) utilizando plantas indicadoras considerando desde a suspensão da irrigação até a murcha irreversível, pelo método visual foi possível a percepção de que o PMP variou conforme o solo em que a cultura estava implantada.

Diante das amostras retiradas dos solos quando determinado o PMP, na Tabela 5 estão representados os valores encontrados para a umidade gravimétrica ( $Ug$ ) e volumétrica ( $\Theta v$ ) dos solos no método fisiológico das duas culturas indicadoras, onde é possível a observação do coeficiente de variação (%) que demonstra a homogeneidade dos dados do experimento.

Tabela 5 – Análise de variância (ANOVA) obtida através do software SAS para o método fisiológico e câmara de Richards na umidade gravimétrica ( $g\ g^{-1}$ ) e umidade volumétrica no ponto de murcha permanente ( $cm^3\ cm^{-3}$ ) para a cultura do Trigo (*Triticum spp.*).

<b><math>\Theta_v</math> (F)</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr &gt; Fc</b>
Tratamento	5	0,0516	0,0103	371,2	<0001
Erro	18	0,0005	0,00003		
Correção Total	23	0,0520			
<b>CV (%): 6,39</b>					
<b><math>\Theta_v</math> (CR)</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr &gt; Fc</b>
Tratamento	5	0,2006	0,0401	153,7	<0001
Erro	18	0,0027	0,0003		
Correção Total	23	0,2054			
<b>CV (%): 9,55</b>					
<b><math>U_g</math> (F)</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr &gt; Fc</b>
Tratamento	5	0,0699	0,0139	718,5	<0001
Erro	18	0,0004	0,00001		
Correção Total	23	0,0702			
<b>CV (%): 5,37</b>					
<b><math>U_g</math> (CR)</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>Fc</b>	<b>Pr &gt; Fc</b>
Tratamento	5	0,2900	0,0580	2114	<0001
Erro	18	0,0049	0,0003		
Correção Total	23	0,2949			
<b>CV (%): 9,66</b>					

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme a comparação dos tratamentos de acordo com a capacidade de campo (CC) o Argissolo foi o que apresentou maior média, diferindo significativamente dos demais, o Gleissolo, Latossolo (3) e Latossolo (1) apresentaram médias intermediárias seguido pelo Latossolo (2) que diferiu significativamente dos demais. Por sua vez, o Neossolo apresentou a menor média entre os tratamentos, isso por que solos argilosos e siltosos têm uma maior capacidade de campo em comparação com os solos arenosos, já que os mesmos possuem partículas menores e têm uma estrutura mais fina e coesa, enquanto os solos arenosos têm uma estrutura mais porosa e espaçada, o que facilita a drenagem da água, resultando em uma capacidade de retenção menor.

Tabela 6 - Comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de campo (CC) de cada um dos solos utilizados.

TRATAMENTOS	CC
Argissolo	0,43a*
Gleissolo	0,38b
Latossolo (3)	0,37b
Latossolo (1)	0,36b
Latossolo (2)	0,31c
Neossolo	0,09d
<b>CV (%)</b>	<b>3,15</b>

\*Médias dos tratamentos não seguidos por mesma letra, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Conforme resultados obtidos, tanto a umidade gravimétrica ( $U_g$ ) quanto a umidade volumétrica ( $\Theta_v$ ) dos solos para a cultura do trigo no estádio definido para o estresse hídrico apresentou diferenças significativas pelo método fisiológico, sendo que o tratamento que apresentou maior média na umidade foi o Latossolo (1), seguido do Latossolo (2), estando relacionado pelo solo ser o mais argiloso dos tratamentos, sendo que quanto maior o conteúdo de argila presente no solo, maior é a retenção de água no mesmo (TABELA 7).

Os tratamentos que apresentaram médias intermediária foram o Gleissolo, Latossolo (3) e Argissolo, onde de acordo com a umidade gravimétrica ( $U_g$ ) ambos apresentaram diferenças significativas entre si. No que se refere a umidade volumétrica ( $\Theta_v$ ) os mesmos solos apresentaram médias intermediárias, porém o Gleissolo e Latossolo (3) não diferiram entre si, diferindo apenas do Argissolo. Por outro lado, em ambos os casos, ao contrário do Latossolo, o Neossolo que possui maior quantidade de areia em sua composição apresentou a menor média dos tratamentos, estando relacionado ao fato de que solos arenosos possuem menor retenção de água.

Quanto a comparação no teor de umidade no PMP, os resultados obtidos para a cultura do trigo apresentaram teores de umidade menores no método fisiológico se comparado a câmara de Richards como podemos observar na tabela 7 e 8, como proposto pelos autores COELHO et al, (2014); KLEIN et al, (2006) utilizando outras plantas indicadoras, evidenciando assim que a cultura do trigo conseguiu extrair água mesmo abaixo do potencial determinado para o PMP ( -1500 kPa).

Tabela 7 – Resultados das médias obtidas pelo método fisiológico, para umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente para a cultura do trigo (*Triticum spp.*).

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>Ug (<math>\text{g g}^{-1}</math>)</b>	<b><math>\theta</math> (<math>\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}</math>)</b>	<b>Densidade (<math>\text{g cm}^{-3}</math>)</b>
Latossolo (1)	0,145 a*	0,137 a*	0,91
Latossolo (2)	0,147 a	0,132 a	0,91
Gleissolo	0,095 b	0,090 b	0,95
Latossolo (3)	0,072 c	0,087 b	1,15
Argissolo	0,300 d	0,037 c	1,30
Neossolo.	0,003 e	0,010 d	1,70
<b>CV (%)</b>	<b>5,37</b>	<b>6,39</b>	

\*Médias dos tratamentos não seguidos por mesma letra, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para o método da câmara de Richards de acordo com a umidade gravimétrica, o tratamento que obteve maior média foi o Gleissolo, seguido do Latossolo (2), sendo que os tratamentos que apresentaram média intermediária foi o Latossolo (1), Latossolo (3) e Argissolo, onde Latossolo (3) e Argissolo não diferiram significativamente entre si. Dessa forma, o tratamento que apresentou menor média foi o Neossolo, isso porque como podemos observar na Tabela 8 o Neossolo é o que apresenta maior densidade e quanto maior a densidade do solo, menor será o espaço poroso disponível para reter água.

Já para a umidade volumétrica o tratamento que obteve maior média foi o Gleissolo, com  $0,290 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$  diferindo significativamente dos demais, assim como o Neossolo que obteve menor média com  $0,020 \text{ cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . Por outro lado, os tratamentos Latossolo (UM SA1) e Latossolo (UM SA2) não diferiram entre si, onde da mesma forma Latossolo (UM CA) e Argissolo também não diferiram entre si, vindo a apresentar médias intermediárias.

Tabela 8 – Resultados das médias obtidas pelo método da câmara de Richards, para umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente para a cultura do trigo (*Triticum spp.*).

TRATAMENTOS	Ug ( $\text{g g}^{-1}$ )	$\theta$ ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )	Densidade ( $\text{g cm}^{-3}$ )
Gleissolo	0,310 a*	0,290 a*	0,95
Latossolo (2)	0,280 a	0,247 b	0,91
Latossolo (1)	0,232 b	0,217 b	0,91
Latossolo (3)	0,100 c	0,122 c	1,15
Argissolo	0,090 c	0,117 c	1,30
Neossolo	0,010 e	0,020 d	1,70
<b>CV (%)</b>	<b>9,66</b>	<b>9,55</b>	

\*Médias dos tratamentos não seguidos por mesma letra, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Foi realizada ainda uma análise comparativa empregando o método fisiológico e o método da câmara de Richards, onde além de comparar os métodos utilizados, foi comparada a umidade gravimétrica e umidade volumétrica para a cultura indicadora nos seus respectivos tratamentos (TABELA 9). É importante ressaltar que a umidade na câmara de Richards é determinada no potencial de - 1500 kPa e autores como KLEIN et al. (2006) descobriram que o teor de água do solo no ponto de murcha fisiológico das plantas foi significativamente menor do que aquele obtido usando a câmara de Richards no potencial determinado para o PMP. Isso pode indicar que o método da câmara de Richards pode não refletir totalmente as condições reais de disponibilidade de água para as plantas no ponto de murcha fisiológico.

Sendo assim, para o Gleissolo, a umidade gravimétrica da câmara de Richards não diferiu da umidade volumétrica, da mesma forma a umidade gravimétrica fisiológica não diferiu da umidade volumétrica fisiológica, mas ambos os métodos diferiram entre si.

Para o Neossolo pelo método da câmara de Richards a umidade gravimétrica diferiu significativamente da umidade volumétrica, no método fisiológico a umidade gravimétrica também diferiu da umidade volumétrica e ambos os métodos também diferiram entre si, onde o mesmo resultado se repetiu no Latossolo (3).

No Latossolo (1) a umidade gravimétrica da câmara de Richards diferiu da umidade volumétrica, já a umidade gravimétrica fisiológica não diferiu significativamente da umidade volumétrica fisiológica, porém ambos os métodos diferiram entre si e da mesma forma o resultado se repetiu no Latossolo (2).

Por sua vez, no Argissolo a umidade gravimétrica da câmara de Richards diferiu da umidade volumétrica, também, a umidade gravimétrica fisiológica diferiu da umidade volumétrica fisiológica e do mesmo modo ambos os métodos diferiram significativamente entre si.

Dessa forma, há uma diferença no teor de umidade entre o método fisiológico e a câmara de Richards, como proposto por Klein *et al.* (2006). Essa diferença pode ocorrer por algumas razões, uma delas sendo a capacidade das plantas de extrair água abaixo do potencial do PMP (-1500 kPa), ou ainda, pela possibilidade de não ter sido atingido um equilíbrio na câmara de Richards, já que o mesmo autor ainda propõe que o método da câmara pode ser utilizado para determinação da umidade a 1500 kPa porém ele não considera as características das plantas indicadores e nem os fatores ambientais e isso são fatores importantes na determinação do PMP.

Ainda, sobre a comparação de métodos, em estudos realizados por Procópio (2016) os métodos em laboratório indicaram valores maiores de umidade do que o método fisiológico, proporcionando sensibilidade da cultura indicadora ao estresse hídrico, o que também aconteceu no presente trabalho, onde a umidade obtida pela câmara de Richard diferiu significativamente da umidade no ponto de murcha fisiológico.

Tabela 9 – Comparação do método fisiológico e câmara Richards na umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente para a cultura do Trigo (*Triticum spp.*).

TRATAMENTOS	MÉTODOS			
	Ug F	$\Theta_v$ F	Ug CR	$\Theta_v$ CR
Gleissolo	0,095 b	0,089 b	0,309 a*	0,291 a
Latossolo (2)	0,146 c	0,131 c	0,277 a	0,248 b
Latossolo (1)	0,147 c	0,136 c	0,236 a	0,219 b
Latossolo (3)	0,071 d	0,086 c	0,102 b	0,124 a
Argissolo	0,029 d	0,038 c	0,090 b	0,118 a
Neossolo	0,003 d	0,005 c	0,012 b	0,021 a

Ug F/CR (umidade gravimétrica no método fisiológico e na câmara de Richards);  $\Theta_v$  F/CR (umidade volumétrica no método fisiológico e na câmara de Richards);

\*Médias dos tratamentos não seguidos por mesma letra na linha diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A partir dos resultados obtidos para umidade gravimétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) e umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) tanto pelo método fisiológico quanto pela câmara de Richards, foi estabelecida uma correlação com a textura do solo, buscando verificar se a textura

do solo tem influência na retenção de água, utilizando a correlação de Pearson por meio do software SAS para estabelecer esses resultados (TABELA 10).

Tabela 10 – Correlação de Person da umidade gravimétrica ( $\text{g g}^{-1}$ ) e umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no ponto de murcha permanente dos métodos utilizados e textura dos solos utilizados no experimento, para a cultura do Trigo (*Triticum spp.*), através do software SAS.

TEXTURA	MÉTODOS			
	Ug F	$\Theta_v$ F	Ug CR	$\Theta_v$ CR
Argila	0,960	0,962	0,686	0,655
Areia	-0,957	-0,924	-0,949	-0,933
Silte	0,692	0,634	0,941	0,944

Ug (umidade gravimétrica);  $\Theta_v$  (umidade volumétrica). \*Significativo a 1%.  
Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A significância estatística dos resultados da correlação ( $P < 0.001$ ) indica que há uma relação entre a umidade no ponto de murcha permanente (PMP) e a textura do solo. Isso está alinhado com a ideia de que a classe textural do solo influencia a retenção e atividade da água no mesmo, conforme mencionado por Felisberto (2014).

Sendo assim, como é possível observar na Tabela 10 solos com maiores teores de partículas de argila e silte apresentam maior capacidade de retenção de água, isso se deve à natureza dessas partículas, que têm superfícies menores e maior área específica em comparação com as partículas de areia.

Por outro lado, diante dos resultados da mesma tabela, os resultados negativos entre a umidade no ponto de parede permanente (PMP) e a presença de partículas de areia na tabela corroboram a ideia de que solos com maiores teores de areia tendem a apresentar menor retenção de água, isso por que areia, por ter partículas maiores e menos espessas, não retém água tão eficientemente quanto a argila e o silte, já que solos com uma proporção maior de partículas de areia geralmente apresentam maior porosidade, o que facilita a drenagem da água, resultando em menor retenção de umidade. Estando alinhado com o que foi proposto por diferentes autores, como Reichardt e Timm (2004), Klein *et al.* (2010) e Felisberto (2014), todos apontando que a textura do solo exerce influência na retenção de água e, conseqüentemente, na determinação do PMP.

Quanto a comparação dos tratamentos levando em consideração a Capacidade de Água Disponível (CAD) para as plantas para o método fisiológico o solo que apresentou maior média foi o Argissolo, diferindo significativamente dos demais,

enquanto o Gleissolo e Latossolo (3), não diferiram significativamente entre si, apresentando média intermediária, seguido do Latossolo (1) que diferiu significativamente do tratamento Latossolo (2), já o tratamento Neossolo apresentou a menor média, sendo explicado pelo fato de que a capacidade de água disponível varia em solos com diferentes texturas (TABELA 11).

A capacidade de água disponível (CAD) para as plantas refere-se à quantidade de água que o solo retém e que é acessível para as plantas, essa capacidade é determinada pela diferença entre a água retida no solo na capacidade de campo (CC) e a água disponível no ponto de murcha permanente (PMP).

Solos arenosos têm partículas maiores e menos espessas, o que resulta em maior espaçamento entre as partículas, levando a uma capacidade de retenção de água mais baixa. Geralmente, a capacidade de água disponível em solos arenosos é limitada devido à rápida drenagem e menor retenção de umidade comparado a solos siltosos e argilosos já que os mesmos possuem partículas muito pequenas e uma estrutura mais coesa. Assim, devido à sua alta porosidade e grande área superficial, apresentam uma capacidade mais alta de retenção de água.

Tabela 11 - Comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de água disponível (CAD) de cada um dos solos utilizados para o método fisiológico.

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>CADf (mm)</b>
Argissolo	157,43 a*
Gleissolo	117,56 b
Latossolo (3)	113,72 b
Latossolo (1)	89,36 c
Latossolo (2)	71,82 d
Neossolo	36,99 e
<b>CV (%)</b>	<b>3,21</b>

\*Médias dos tratamentos não seguidos por mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

CADf : Capacidade de água disponível no método fisiológico.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Foi realizada ainda a comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de água disponível para o método da câmara de Richards, onde novamente o Argissolo apresentou maior média diferindo significativamente dos demais tratamentos, seguido do Latossolo (3) diferindo dos demais, e Latossolo (1) que também diferiu dos demais tratamentos, seguido do Neossolo e Gleissolo que

não diferiram entre si apresentando médias intermediárias, por sua vez a menor média foi do Latossolo (2) diferindo significativamente dos demais tratamentos (TABELA 12).

Tabela 12 - Comparação dos tratamentos levando em consideração a capacidade de água disponível (CAD) de cada um dos solos utilizados para o método da câmara de Richards.

<b>TRATAMENTOS</b>	<b>CADcr (mm)</b>
Argissolo	136,08 a*
Latossolo (3)	107,46 b
Latossolo (1)	49,55 c
Neossolo.	34,31 d
Gleissolo	29,94 d
Latossolo (2)	17,66 e
<b>CV (%)</b>	<b>9,38</b>

\*Médias dos tratamentos não seguidos por mesma letra diferem entre si pelo teste de Tukey, com nível de 5% de significância.

CADcr : Capacidade de água disponível no método da câmara de Richards.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A capacidade de água disponível está diretamente ligada as características físicas das partículas presentes em diferentes tipos de solos, essa capacidade varia de acordo com a textura, estrutura, profundidade do solo e teor de matéria orgânica. Solos com maior quantidade de argila e matéria orgânica tendem a ter uma maior capacidade de retenção de água do que solos predominantemente arenosos.

No entanto, é importante ressaltar que a capacidade de água disponível pode variar dentro de cada tipo de solo dependendo de fatores como textura, estrutura, matéria orgânica e condições climáticas locais. Assim, enquanto a tendência geral Latossolos tendem a apresentar uma capacidade de água disponível maior que Neossolos, porém existem variações significativas que podem ocorrer em diferentes áreas e condições específicas, como é o caso da avaliação da capacidade de água disponível comparando o método fisiológico e o da câmara de Richards onde mesmo se tratando da mesma avaliação ambos os métodos apresentaram valores discrepantes.

Isso ocorre devido a diferentes princípios e abordagens utilizadas em cada método, o método fisiológico envolve observar diretamente como as plantas respondem à disponibilidade de água no solo, sendo sensível às condições específicas das plantas, suas espécies e a capacidade adaptativa delas, resultando

em medidas que refletem mais diretamente o impacto da água no crescimento das plantas.

Por outro lado, o método da câmara de envolve medições diretas da umidade do solo usando dispositivos como tensiômetros, fornecendo uma avaliação mais prática da água presente no solo em determinados pontos e profundidades, todavia, esse método pode não captar completamente a interação entre a água disponível e a resposta das plantas. Sendo assim, é importante considerar as limitações e os pontos fortes de cada método ao interpretar e comparar os valores de capacidade de água disponível obtidos por diferentes técnicas de medição.

## CONCLUSÕES

Após a realização das análises o Latossolo (1) foi o que apresentou maior umidade no solo na determinação do PMP fisiológico, seguido pelo tratamento Latossolo (2), já os tratamentos Gleissolo, Latossolo (3) e Argissolo apresentam umidade média, onde por sua vez o Neossolo apresentou menor umidade no solo no PMP.

Pelo método da câmara de Richards quanto a umidade retida a - 1500 kPa, o Gleissolo apresentou maior umidade seguido do Latossolo (2), os tratamentos Latossolo (1), Latossolo (3) e Argissolo apresentaram umidade intermediária e o Neossolo apresentou a menor umidade comparado aos demais tratamentos.

Quanto a comparação dos métodos, os teores de umidade no solo foram significativamente menores pelo método fisiológico se comparado ao método da câmara de Richards, evidenciando que a cultura do trigo conseguiu extrair água abaixo do potencial de - 1500 kPa determinado para o PMP. Assim é possível observar que o método da Câmara de Richards não representa o ponto de murcha permanente para todos os solos, podendo superestimar o teor de umidade presente no solo no PMP fisiológico da cultura do trigo, subestimando a capacidade da planta em captar água em menores potenciais.

De acordo com a correlação da umidade com a textura do solo, fica evidente que a textura é o principal fator que afeta a retenção de água nos solos, isso porque solos com maior teor de argila tendem a reter mais água devido à natureza de suas partículas que proporcionam maior capacidade de retenção de umidade, enquanto solos com teor maior de areia geralmente apresentam maior porosidade, o que facilita a drenagem da água, resultando em menor retenção de umidade.

Com base na comparação dos tratamentos levando em consideração a Capacidade de Água Disponível para as plantas o método fisiológico foi o mais representativo, sendo que o solo que apresentou maior média foi o Argissolo, diferindo significativamente dos demais, enquanto o tratamento Neossolo apresentou a menor média, sendo explicado pelo fato de que a capacidade de água disponível varia em solos com diferentes texturas, como ressaltado ao longo do trabalho.

## REFERÊNCIAS

ARRUDA, F.B. et al. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** v.11, p.11-15, 1987.

BEUTLER A. N. et al. RETENÇÃO DE ÁGUA EM DOIS TIPOS DE LATOSSOLOS SOB DIFERENTES USOS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Jaboticabal SP, p. 829-824, maio de 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300029>. Acesso em: 02 maio 2023

BRIGGS, L. J.; SHANTZ, H. L. The wilting coefficient for different plants and its indirect determination. **Washington DC: Department of Agriculture, Bureau of Plant Industries**, 1912, Bulletin nº 30. Disponível em: <file:///C:/Users/55981/Downloads/2467365.pdf>. Acesso em: 02 maio 2023.

CARDUCCI, C. E. **Retenção de água e capacidade de suporte de carga de latossolos da região do Cerrado**. 2010. 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/2156>. Acesso em: 02 maio 2023.

CARVALHO, L. A. DE. **Condutividade hidráulica do solo no campo: as simplificações do método do perfil instantâneo**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2002. 98 p. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-29052003-141211/publico/laercio.pdf> Acesso em: 02 maio 2023.

CONAB. **Safra brasileira de grãos**, 2017. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 17 maio 2023.

CONAB. **Mercado impulsiona a produção de trigo**, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4850-mercado-impulsiona-producao-de-trigo-que-atinge-novo-recorde-com-mais-de-9-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 17 maio 2023.

DALMAGO G. A. et al. Retenção de disponibilidade de água às plantas em solo sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande - PB, v. 13, p. 855-864, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662009000700007>. Acesso em: 02 maio 2023.

FELISBERTO, T. da S.; MARINHO, L. B.; DEON, M. D.; ANDRADE, E. de A.; FILHO, J. R. de S. Água disponível no solo no ponto de murcha permanente obtidos por diferentes métodos. **II INOVAGRI International Meeting**, Fortaleza, p. 5078-5083, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114765/1/Magnus-2014.pdf>. Acesso em: 17 abril 2023.

GRIGOLON, G. B. **Curva de retenção de água no solo determinada a partir de um número mínimo de pares de umidade e tensão na câmara de Richards**. 2013. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde-15012013->

161745/publico/Gilmar\_B atista\_Grigolon\_versao\_revisada.pdf. Acesso em: 20 nov. 2023.

KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M. ; MADALOSSO, T. ; MARCOLIN, Clovis Darli. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, ed. 7, p. 1550-1556, Jul 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010005000110>. Acesso em: 28 abril 2023.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.857-67, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000400003>. Acesso em: 28 abr. 2023.

KLEIN, V. A.; REICHERT, J.M.; REINERT, D. J. Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n.3,2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300016>. Acesso em: 27 nov. 2023.

MAIA, F. C. O. **Curva de retenção e capacidade de água disponível em latossolos**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2016. 52 p. Monografia. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/16489>. Acesso em: 17 maio 2023.

MAGALHÃES, A. A. de. **Necessidade de Água pelas Plantas**. CPATSA/EMBRAPA. 1978. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/175856/1/32398.pdf>. Acesso em: 27 nov. 2023.

Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina / **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo** - Núcleo Regional Sul. - [s.l.] : Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 376 p., 2016.

PIMENTEL, Carlos, 1955. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur, 2004. 191p. Disponível em: A Relação da Planta com a Água. Acesso em: 20 nov. 2023.

PROCÓPIO, S. O. et al. **Ponto de murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas**. Planta Daninha, Viçosa, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582004000100005>. Acesso em: 19 maio 2023.

SILVA, A. M. da. **Banco de dados de curvas de retenção de água de solos brasileiros**. 2005. 125 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São paulo, São Carlos - SP. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-27012006-043239/publico/SilvaAM2005.pdf>. Acesso em: 19 maio 2023.

SILVA, E. M. da et al. Valores de tensão na determinação da curva de retenção de água de solos do Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 2, p. 323–330, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2006000200018>. Acesso em: 19 maio 2023.

SILVA, Jucielton Hítalo da; CARARO, Denis Cesar. Ponto de murcha permanente do feijoeiro comum em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico em Rondônia. II Reunião de **Ciência do Solo da Amazônia Ocidental**, p. 75-79, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/124038/1/denis-75-79.pdf>. Acesso em: 19 maio 2023.

PINTO, V. C. et al. Deficiência hídrica para o trigo semeado no início de junho em Ponta Grossa-PR. **VII Reunião Paraense de Ciência do solo**, pg. 1-4,2019. Disponível em: [http://rpcs2019.com.br/trabalhos\\_aprovados/arquivos/05132019\\_100527\\_5cd96c4bc288f.pdf](http://rpcs2019.com.br/trabalhos_aprovados/arquivos/05132019_100527_5cd96c4bc288f.pdf). Acesso em: 19 maio 2023.

SOUZA, Philipe Guilherme Corcino - **1991 Obtenção da curva de retenção de água em latossolo empregando dados de mini-infiltrômetro e técnicas de modelagem** 2015. 102 p.: il. Disponível em: [https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/PhilipeVersaoFinal\(1\).pdf](https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgca/PhilipeVersaoFinal(1).pdf). Acesso em: 19 maio 2023.