

DETERMINAÇÃO DO PONTO DE MURCHA PERMANENTE UTILIZANDO DIFERENTES PLANTAS INDICADORAS

Maria Eduarda Coelho Amaral¹, Evandro Reina², Cibelle Christine Brito Ferreira³, Roberta Zani da Silva⁴, Thadeu Teixeira Júnior⁵, Alexandre Barreto Almeida dos Santos⁶

RESUMO:

O ponto de murcha permanente (PMP) corresponde ao limite mínimo de umidade do solo no qual as plantas perdem irreversivelmente a capacidade de absorver água, sendo um parâmetro fundamental para o manejo hídrico. Este estudo teve como objetivo determinar a umidade do PMP utilizando diferentes plantas indicadoras (milho, soja e sorgo) em Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho, bem como comparar os resultados obtidos pelo método fisiológico com o método físico padrão (1500 kPa). O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3×2 (culturas × solos), com cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey ($p \leq 0,05$), além de comparação entre métodos pelo teste t. Observou-se efeito significativo da interação entre culturas e solos, com maiores valores de umidade no PMP para o Latossolo Vermelho. Diferenças na capacidade de extração de água foram verificadas entre as culturas, especialmente no Latossolo, com destaque para o milho. A comparação entre métodos indicou equivalência entre os métodos físico e fisiológico para soja e sorgo no Latossolo, enquanto diferenças foram observadas no Cambissolo e para o milho. Conclui-se que o PMP não é um valor constante, variando conforme o solo, a espécie vegetal e o método de determinação, sendo a escolha do método dependente das condições edafoclimáticas e da cultura, com implicações diretas para o manejo da irrigação.

Palavras-chave: Cambissolo Háplico, Latossolo Vermelho, método físico, método fisiológico, umidade gravimétrica.

DETERMINATION OF THE PERMANENT WILTING POINT IN AN INCEPTISOL AND AN OXISOL USING DIFFERENT INDICATOR PLANTS

ABSTRACT:

The permanent wilting point (PWP) represents the minimum soil moisture level at which plants irreversibly lose their ability to absorb water, being a key parameter for water management. This study aimed to determine soil moisture at the PWP using different indicator plants (maize, soybean, and sorghum) in Inceptisol and Oxisol, and to compare the physiological method with the standard physical method (1500 kPa). The experiment was conducted in a greenhouse using a completely randomized design in a 3 × 2 factorial scheme (crops × soils), with five replications. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test ($p \leq 0.05$), and methods were compared using the t-test. A significant interaction between crops and soils was observed, with higher PWP moisture values in the Oxisol. Differences in water extraction capacity among crops were also identified, especially in the Oxisol, with maize showing superior performance. The comparison between methods indicated equivalence for soybean and sorghum in the Oxisol, whereas significant differences were observed in the Inceptisol and for maize. The results demonstrate that PWP is not a fixed value, varying

¹Mestranda em Agronomia (Ciência do Solo). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" -Unesp, Jaboticabal-SP; mec.amaral@unesp.br, <https://orcid.org/0000-0003-3767-8977>. ²Professor Doutor do curso de Agronomia na AFYA Faculdade Porto Nacional, Porto Nacional – TO, evandro.reina@afya.com.br, [0000-0002-4952-3465](https://orcid.org/0000-0002-4952-3465). ³Professora Doutora do curso de Agronomia no Centro Universitário Católica do Tocantins –Unicatólica. Palmas-TO, cibelle.ferreira@p.catolica-to.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-2658-3983>; roberta.silva@p.catolica-to.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-3817-8520>. ⁴Professor Mestre do curso de Agronomia no Centro Universitário Católica do Tocantins –Unicatólica. Palmas-TO, thadeu.junior@p.catolica-to.edu.br, <https://orcid.org/0000-0002-6947-2386>; barreto_fca@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5693-7191>.

according to soil type, plant species, and determination method, highlighting the need for context-specific approaches in irrigation management.

Keywords: Inceptisol, Oxisol, physical method, physiological method, gravimetric moisture.

INTRODUÇÃO

As culturas de milho (*Zea mays*), soja (*Glycine max*) e sorgo (*Sorghum bicolor* L.) destacam-se pela elevada relevância econômica e ampla adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, sendo amplamente cultivadas no Brasil. Além de sua importância produtiva, essas espécies apresentam potencial para utilização como plantas indicadoras em estudos relacionados à dinâmica da água no solo, incluindo a determinação do ponto de murcha permanente (PMP) (SENAR, 2017).

De acordo com o Cepea (2025), o agronegócio brasileiro representa 23,2% do Produto Interno Bruto (PIB), sendo fortemente sustentado pela produção de grãos. Nesse contexto, o Brasil se destaca como o maior produtor e exportador mundial de soja, com produção superior a 171 milhões de toneladas na safra 2024/2025. Para o milho, o país ocupa a terceira posição mundial, com produção de 139 milhões de toneladas, enquanto o sorgo apresenta produção superior a 6 milhões de toneladas (Conab, 2025). No estado do Tocantins, a produção de grãos ultrapassou 9 milhões de toneladas na mesma safra, consolidando-se como o maior produtor da região Norte (Seplan-TO; Tocantins, Fregonesi, 2025).

Diante desse cenário de elevada produção agrícola, aliado às mudanças climáticas, à crescente demanda por alimentos e à expansão da agricultura no Cerrado, a disponibilidade de água no solo torna-se um fator determinante para a sustentabilidade dos sistemas produtivos. A produtividade das culturas está diretamente relacionada à quantidade de água efetivamente disponível às plantas, a qual depende das propriedades físicas do solo e da interação solo-planta (Campos *et al.*, 2024).

Nesse contexto, compreender os limites de retenção e disponibilidade hídrica do solo é essencial para o manejo adequado da irrigação. Um desses limites é o ponto de murcha permanente (PMP), definido como o teor de umidade no solo no qual as plantas não conseguem mais recuperar a turgescência, mesmo sob condições favoráveis de umidade. Esse fenômeno ocorre quando a água está retida sob altas tensões, dificultando sua absorção pelas raízes (Barbosa, 2024).

O valor de referência mais utilizado para o PMP corresponde à tensão de -1500 kPa (Souza, 2004). No entanto, estudos recentes indicam que esse valor não é universal, podendo variar conforme a

espécie vegetal e as características do solo (Garg *et al.*, 2020). Trabalhos como os de Klein *et al.* (2006) e Pereira *et al.* (2005) evidenciam que diferentes plantas indicadoras apresentam respostas distintas na determinação do PMP, reforçando que esse parâmetro resulta da interação entre solo e planta.

Tradicionalmente, espécies como feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) e girassol (*Helianthus annuus*) são utilizadas no método fisiológico para determinação do PMP (Briggs; Shantz, 1912). Entretanto, a utilização de culturas de maior relevância agrônômica, como milho, soja e sorgo, ainda é pouco explorada, especialmente em solos contrastantes e nas condições edafoclimáticas do Cerrado.

Nesse sentido, a substituição das espécies indicadoras tradicionais por culturas amplamente cultivadas pode gerar informações mais representativas para o manejo agrícola regional. Assim, o presente estudo se diferencia ao avaliar o ponto de murcha permanente utilizando milho, soja e sorgo como plantas indicadoras, em Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho no Tocantins.

Dessa forma, objetivou-se determinar a umidade referente ao ponto de murcha permanente utilizando diferentes plantas indicadoras no município de Palmas - TO e comparar os resultados com a umidade obtida pelo método físico padrão, a fim de identificar a precisão dos métodos de manejo hídrico para as culturas regionais.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação (estufa) no campo experimental da Fazenda Escola do Centro Universitário Católica do Tocantins - UniCatólica, localizado nas coordenadas geográficas Longitude 48°16'34" W e Latitude 10°32'45" S, altitude de 230 m, na cidade de Palmas, Tocantins. O experimento foi desenvolvido no segundo semestre do ano de 2025, durante os meses de setembro e outubro. Posteriormente, as análises foram realizadas no laboratório de solos da instituição.

Coleta e Análise do solo

Para o início do método fisiológico, foram coletados os solos Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho, previamente identificados com base no Mapa de Solos de 2022 elaborado pela Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins

(Governo do Tocantins, 2022), classificados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS) (Embrapa, 2025). O Cambissolo Háplico foi coletado na área experimental do UniCatólica e o Latossolo Vermelho na área do Polo de Fruticultura Irrigada São João, no município de Porto Nacional, localizado nas coordenadas geográficas Latitude 10°27'42.52"S e Longitude 48°19'17.15"O. Após a coleta, os solos foram acondicionados em vasos com volume individual de 5 litros, contendo 3 kg de solo cada e devidamente irrigados antes da realização da semeadura.

Para a realização do método físico, foram coletadas 300 g de amostras de cada uma das classes de solo. As amostras foram enviadas ao Laboratório de Solos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Minas Gerais, para análise em Câmara de Richards, utilizando a tensão padrão do PMP de 1500 kPa. A granulometria foi obtida mediante o envio de amostras de solo ao laboratório MB Agronegócios Soluções Inteligentes.

Construção da câmara de avaliação do ponto de murcha permanente (PMP)

Para a avaliação do PMP, o objetivo da construção da câmara com lona escura, foi criar um ambiente controlado de restrição hídrica, sem interferência de luz, vento e variações externas, para observar com mais precisão a perda de turgor das plantas. A câmara apresentou dimensões aproximadas de 3 metros de comprimento, 1,19 metros de largura e 1 metro de altura, cobrindo integralmente os vasos contendo as plantas.

No interior da câmara foram posicionados recipientes com água, a fim de possibilitar a recuperação do turgor das plantas até o momento em que elas não apresentassem mais capacidade de recuperação.

Plantio e Condução

O plantio e sua condução foram realizados na casa de vegetação da área experimental. Foi realizada a separação de lotes de sementes do Milho Híbrido DM 2860 (PRO4), da Donmario Sementes©. Esta variedade se destaca por ser um híbrido de milho de alta performance, ideal para a safra de safrinha e plantio normal, com ciclo precoce, excelente potencial produtivo, qualidade de grãos e pelo pacote fitossanitário. Para soja, utilizou-se a cultivar Olimpo IPRO Brasmax©, que apresenta alto potencial produtivo, boa estabilidade, excelente

desenvolvimento inicial, arquitetura de planta favorável e ampla adaptação, características que a tornam uma opção agronomicamente eficiente. Para o Sorgo Granífero, a cv Nugrain 250 da Nuseed©, que possui elevado potencial produtivo, ótima adaptação às condições de cultivo, excelente desempenho inicial, superprecoce e recomendação para fechamento de plantio.

Cada lote conteve três sementes e a semeadura ocorreu no dia 03 de setembro de 2025. Após o plantio, para o desenvolvimento das culturas, as mesmas foram irrigadas normalmente. Quando ocorreu a germinação, foi feito o desbaste, o qual restou apenas uma planta em cada vaso.

No momento em que as plantas apresentaram dois pares de folhas, cessou-se a irrigação, o que ocorreu no dia 19 de setembro. Após cinco dias, as plantas demonstraram sinais de murcha, assim, foram encaminhadas para o interior da câmara úmida por um período de 24 horas. Decorrido este tempo observou-se a turgescência das plantas. Caso a turgescência fosse recuperada as plantas retornariam para o interior do viveiro, até que apresentassem sintomas de murcha novamente e, assim, seriam colocadas novamente no interior da câmara escura.

Caso a turgescência não fosse recuperada, assume-se que a umidade do solo se encontra no PMP e então determina-se a umidade do solo daquele momento. Desde a primeira vez em que os vasos foram para a câmara escura até o momento em que se identificou o PMP decorreram 8 dias.

Procedimento utilizado para determinação do Ponto de Murcha Permanente

Foram coletadas amostras deformadas de solo com massa de 100 g para cada repetição, as quais foram posteriormente encaminhadas à estufa, mantida a 105 °C por 24 horas. Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas. Dessa forma, a diferença entre as massas úmida e seca permitiu determinar a quantidade de água presente no solo. Esse valor foi dividido pela massa do solo seco, resultando na umidade correspondente ao ponto de murcha permanente de cada tratamento, obtida pelo método gravimétrico, representado pela seguinte fórmula:

$$\text{Umidade gravimétrica} = \frac{\text{massa de água (g)}}{\text{massa do solo seco (g)}}$$

A umidade do ponto de murcha permanente obtida pelo método gravimétrico (g/g) foi comparada ao valor-padrão de 1500 kPa e à umidade determinada pelo método fisiológico, no qual plantas indicadoras foram utilizadas para identificar o ponto de murcha irreversível.

Delineamento experimental e análise estatística

A pesquisa foi conduzida em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 3x2, onde os fatores e seus respectivos níveis são: Solos com dois níveis (Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho) e culturas com três níveis (Milho, Soja e Sorgo), com cinco repetições, perfazendo um total de 30 unidades amostrais.

Após verificação de interação significativa entre os fatores avaliados foi realizado o desdobramento desta interação e aplicado o teste de comparações múltiplas (Tukey ao nível de 5% de probabilidade) para analisar as interações, pelo programa SISVAR (5.6) (Ferreira, 2019).

Os valores de umidade gravimétrica obtidos pelo método fisiológico foram comparados às umidades dos solos submetidos ao método físico, utilizando-se a tensão padrão de 1500 kPa. Essa comparação foi realizada por meio do Teste t ($p < 0,05$), executado no programa BIOESTAT (5.3) (Santos *et al.* 2007), permitindo avaliar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre os métodos e verificar a correspondência entre os resultados obtidos, o Teste t foi necessário para analisar a diferença entre os dois métodos de determinação da umidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização física dos solos avaliados revelou contrastes importantes. Os dados granulométricos detalhados encontram-se no Quadro 1, enquanto os valores de umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (submetidos à tensão de 1500 kPa) são apresentados no Quadro 2.

Quadro 1. Composição granulométrica (%) dos solos Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho

Composição granulométrica (%)			
Solos	Areia Total	Silte	Argila
Cambissolo Háplico	74,97	5,03	20,00
Latossolo Vermelho	55,87	16,13	28,00

Quadro 2. Umidade gravimétrica do ponto de murcha permanente do Cambissolo Háplico e Latossolo Vermelho, submetidos ao método físico em Câmara de Richards.

Identificação	1500kPa
	Umidade gravimétrica (%)
Cambissolo Háplico	5,69
Latossolo Vermelho (0 – 20 cm)	14,33

Os Latossolos e Cambissolos apresentam texturas contrastantes que refletem seus diferentes estágios de evolução pedogenética. Segundo Cunha *et al.* (2021) o Latossolo Vermelho é um solo altamente intemperizado e profundo, caracterizado por sua textura que varia de média a argilosa, com um teor significativo de argila (geralmente acima de 25%) e baixo teor de silte. Essa composição e a forte estrutura granular conferem-lhe alta estabilidade e uma excelente capacidade de retenção de água, além de boa drenagem. Por outro lado, o Cambissolo Háplico é um solo pouco desenvolvido, muitas vezes superficial. Sua composição é variável, quando

apresentam alta proporção de areia, resulta em baixa capacidade de retenção de água e alta permeabilidade, tornando-o mais vulnerável ao estresse hídrico e à erosão em comparação com o Latossolo.

Nota-se que, a composição granulométrica do solo é o fator primordial que rege sua capacidade de retenção de água (Olarde & Ruge, 2020). Neste estudo, o Latossolo Vermelho, devido ao seu avançado intemperismo e à maior proporção de argila e silte, desenvolve uma estrutura estável que permite uma excelente capacidade de armazenamento hídrico. Em contrapartida, o Cambissolo Háplico, sendo um solo menos evoluído e dominado pela fração areia,

apresentou textura mais grosseira, que resulta em baixa retenção de água e alta permeabilidade, tornando-o significativamente mais vulnerável ao estresse hídrico e à rápida perda de umidade.

Observou-se efeito significativo das culturas ao nível de 5% de probabilidade e dos solos ao nível

de 1% (Tabela 1). Além disso, a interação entre os fatores também foi significativa ao nível de 5% de probabilidade, o que justificou o desdobramento desta interação para melhor explicar a interação entre os tratamentos.

Tabela 1. Resumo da análise de variância do fatorial 3x2 (Culturas x Solos) para a variável umidade gravimétrica

Fontes de Variações	Graus de Liberdade (GL)	Quadrado Médio (QM)
Culturas	3	335,0224**
Solos	1	12,2752*
Interação	2	63,2367**
Tratamentos	5	-
Resíduo	24	2,0924
Total	29	-
CV (%)	11,01	

*Significativo ao nível de 1% de probabilidade; **Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

As médias de umidade gravimétrica no ponto de murcha permanente (PMP), considerando o desdobramento da interação entre culturas e tipos de solo, estão apresentadas na Tabela 2.

Para o desdobramento do tipo de solo dentro das culturas, a interação entre o Cambissolo Háptico com as culturas demonstra que a cultura do sorgo (14,23%) apresentou maior média e as culturas de

milho (1,18%) e soja (0,82%) são estatisticamente semelhantes (Tabela 2). Para o Latossolo podemos observar que a cultura do sorgo (10,88%) apresenta maior média para a umidade gravimétrica, seguido pela cultura da soja (7,46%) e do milho (1,73%), evidenciando que a cultura do sorgo apresenta destaque nos dois tipos de solos (Tabela 2).

Tabela 2. Médias de umidade gravimétrica (%) no ponto de murcha permanente (PMP) no desdobramento da interação entre culturas e tipos de solo.

Solos	Culturas		
	Milho	Soja	Sorgo
Cambissolo Háptico	1,18 Ba	0,82 Bb	14,23 Aa
Latossolo Vermelho	1,73 Ca	7,46 Ba	10,88 Ab

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, não se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, não se diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Para o desdobramento das culturas dentro de cada tipo de solo, o milho não apresentou interação significativa entre os dois tipos de solo, sendo a resposta obtida no Cambissolo e Latossolo estatisticamente iguais. Para as culturas da soja e do sorgo as interações são todas significativas sendo que a cultura da soja obteve o melhor resultado para a interação com o Latossolo (7,46%) seguido pelo Cambissolo (0,82%) (Tabela 2). O sorgo apresenta melhores resultados de umidade gravimétrica no PMP para a interação com o Cambissolo (14,23%) e a interação com o Latossolo com menor valor (10,88%) (Tabela 2).

No trabalho realizado por Pimentel *et al.* (2024) a umidade do ponto de murcha permanente apresentou maior valor no Latossolo Vermelho, 26%, enquanto o Cambissolo Háptico apresentou 15 % de umidade do PMP, evidenciando a baixa disponibilidade de água para as plantas. No estudo também se confirma que quanto maior o teor de argila presente no solo, maior a umidade referente ao PMP devido às características intrínsecas das partículas argilosas, que possuem elevada área superficial específica e grande capacidade de adsorção de água. Isso faz com que parte significativa da água fique fortemente retida na superfície das partículas,

formando camadas adsorvidas que não podem ser extraídas pelas plantas. Além disso, solos argilosos possuem poros capilares muito pequenos, que exercem intensas forças de capilaridade, mantendo a água presa em tensões muito elevadas. Dessa forma, embora esses solos armazenem grandes quantidades de água, uma parcela considerável permanece indisponível às plantas, resultando em um PMP mais alto.

No Latossolo Vermelho avaliado por Silva *et al.* (2014), a umidade de PMP apresentou o valor de 16,74%, evidenciando que parte expressiva da água retida pelo Latossolo encontra-se fortemente adsorvida, se tornando indisponível para as plantas. Em relação à densidade do solo, o estudo mostrou que o horizonte superficial A, com elevado teor de argila (763 g kg^{-1}), apresenta maior densidade, cerca de $1,32 \text{ g cm}^{-3}$, enquanto o horizonte B, mais profundo e ainda mais argiloso (819 g kg^{-1}), possui densidade menor, aproximadamente $0,98 \text{ g cm}^{-3}$, refletindo maior porosidade nas camadas subsuperficiais. A dificuldade de extração de água nesse Latossolo decorre de sua textura e da presença marcante de microporos, que retêm água com grande força por capilaridade e adsorção.

Em síntese, os resultados evidenciaram que o Latossolo demonstrou um forte efeito de retenção de água, mantendo as culturas no PMP com teores de umidade significativamente mais altos em comparação com o Cambissolo. Essa diferença ressalta a maior capacidade do Latossolo em reter um volume de água mais elevado para as plantas, mesmo quando a tensão de água no solo atinge o limite crítico de murcha permanente.

O milho apresentou maior tolerância ao déficit hídrico no Latossolo em comparação às demais culturas, uma vez que foi capaz de extrair maior quantidade de água do solo antes de atingir o ponto de murcha permanente. Já no Cambissolo, as três culturas demonstraram desempenho semelhante, apresentando a mesma capacidade de extração de água até atingirem o PMP.

Mantovani *et al.* (2015) destaca que o milho possui elevada densidade radicular, sendo capaz de explorar com maior eficiência a água das camadas superficiais (0–20 cm) e intermediárias, mesmo em solos de baixa disponibilidade hídrica, como os Latossolos.

Resultados semelhantes foram observados por Yan *et al.* (2022), que demonstraram que o milho, mesmo apresentando menor biomassa radicular,

possui maior condutividade hidráulica e maior eficiência de uso da água, o que pode indicar elevada capacidade de absorção e transporte. Essa característica pode explicar o comportamento observado no presente estudo, em que o milho extraiu mais água do solo e apresentou menor sensibilidade ao PMP quando comparado à soja e ao sorgo, especialmente nos solos de Latossolo e Cambissolo avaliados.

De acordo com Coelho *et al.* (2015), o sorgo é amplamente reconhecido por ser uma cultura tolerante à seca e por sua eficiência na extração e uso da água do solo, as raízes do sorgo são profundas e bem distribuídas, permitindo uma extração mais eficiente da água em camadas mais profundas do perfil do solo do que em camadas superficiais.

Estudos recentes demonstram que o sorgo apresenta elevada eficiência no uso e na absorção de água, característica que o torna mais tolerante ao déficit hídrico em comparação a outras culturas. Tovignan *et al.* (2023) verificaram que plantas de sorgo submetidas a diferentes níveis de estresse hídrico mantiveram consumo de água relativamente baixo, com transpiração acumulada variando de 22,8 a 30,8 kg de água por planta sob estresse precoce e estresse com recuperação, respectivamente, enquanto plantas bem irrigadas alcançaram 46 kg. Essa resposta indica uma estratégia fisiológica que combina uso moderado da água, controle estomático eficiente e capacidade de manter balanço hídrico favorável mesmo em condições restritivas, refletida também em valores consistentes de eficiência no uso da água (EUA) (Santos *et al.*, 2020).

A soja é uma cultura notável por sua elevada demanda hídrica. Cassinelli *et al.* (2022) explicitam em seus pressupostos perda de até 100% de produtividade marcada pela sua sensibilidade ao estresse por falta de água, especialmente durante o crítico período reprodutivo, onde o déficit pode levar ao abortamento de flores e vagens e a perdas severas de rendimento. Conforme observado por Setúbal (2019), a soja apresenta elevada sensibilidade ao déficit hídrico, reduzindo a absorção de água mesmo quando a umidade do solo ainda se encontra acima PMP, estabelecido em 5%. O estudo também evidencia que a soja necessita de um teor de umidade superior a 70% da capacidade de campo para permitir o desenvolvimento radicular adequado.

Em suma, no Latossolo estudado, observou-se que o milho demonstrou a melhor capacidade de extração de água em comparação com a soja e o

sorgo, superando as demandas hídricas de ambas as culturas nesse perfil de solo específico. Tal resultado sugere que, sob as condições edáficas deste estudo, o sistema radicular do milho se mostrou mais eficiente ou profundo na captação da umidade do solo, suprindo a água extraída pela soja e pelo sorgo.

Além disso, os valores da umidade gravimétrica do PMP através do método fisiológico foram comparados aos valores determinados pelo método físico, através do Teste *t* (Tabela 3). Os valores dos tratamentos com o Cambissolo se diferenciaram entre os dois métodos em todas as culturas avaliadas. No Latossolo, o milho também

diferiu significativamente do método físico, enquanto soja e sorgo não apresentaram diferença estatística em relação aos valores obtidos na Câmara de Richards.

Na Tabela 3 apresenta que todas as plantas indicadoras cultivadas no Cambissolo (T1, T2 e T3) resultaram em valores de umidade fisiológica que apresentaram diferença estatisticamente significativa em relação ao método físico padrão. No Latossolo, o milho (T4) também apresentou diferença significativa entre os métodos. Em contraste, as culturas de soja e sorgo (T5 e T6), não diferiram estatisticamente pelo método físico (15 atm).

Tabela 3. Resultado do Teste *t* na comparação das médias de umidade gravimétrica do ponto de murcha permanente (PMP) obtidas pelo método fisiológico (cultura + solo) x o método físico padrão de tensão de 1500 kPa para cada tipo de solo

Comparações	<i>t</i>
T1: Milho com Cambissolo e método físico	-11,0372*
T2: Soja com Cambissolo e método físico	-11,6004*
T3: Sorgo com Cambissolo e método físico	-28,73*
T4: Milho com Latossolo e método físico	-34,61056*
T5: Soja com Latossolo e método físico	0,14746 ^{ns}
T6: Sorgo com Latossolo e método físico	2,67754 ^{ns}

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo.

Na pesquisa realizada por Pereira *et al.* (2005), as culturas de algodão, amendoim, gergelim e mamona foram utilizadas como plantas indicadoras para determinar a umidade do ponto de murcha permanente em Neossolo Flúvico, não apresentando diferenças estatísticas em relação ao feijão caupi, planta indicadora padrão da umidade referente ao PMP. O PMP fisiológico se manteve uniforme, valor menor que 6% entre as espécies avaliadas, corroborando à eficiência do método fisiológico na determinação do limite de absorção de água pelas plantas.

O trabalho realizado por Klein, Reichert e Reinert, (2006) em Latossolo Vermelho argiloso aprofunda a comparação metodológica ao incluir o método físico padrão (Câmara de Richards a 1500 kPa) e o método fisiológico (com milho e girassol). Os resultados centrais para a discussão são que a umidade do PMP, determinada pelo método

fisiológico, na faixa de 19-20%, foi significativamente menor do que o determinado no método físico, 23-24%. Tais resultados indicam que o PMP físico padrão superestimou o teor de umidade, e as plantas foram capazes de extrair água a potenciais mais baixos que -1500 kPa no Latossolo Vermelho argiloso, na ordem de -2000 kPa. Tais dados reforçam que o PMP é uma interação complexa influenciada pela espécie vegetal, além de que o milho apresentou resultados diferentes para ambos os métodos, enquanto girassol não apresentou diferença significativa.

Esses resultados evidenciam que os valores de umidade do ponto de murcha permanente (PMP) não são fixos, variando em função da classe de solo e da espécie vegetal utilizada como planta indicadora. No entanto, observa-se que, para o Latossolo Vermelho, as culturas de soja e sorgo não apresentaram diferença estatística entre os métodos fisiológico e físico,

indicando que, nessas condições, o método físico padrão (1500 kPa) pode ser utilizado de forma confiável para estimar o PMP.

Por outro lado, para o Cambissolo Háplico e para a cultura do milho, as diferenças observadas entre os métodos indicam que o uso exclusivo do método físico pode não representar adequadamente a disponibilidade hídrica real para as plantas, sendo recomendada a utilização do método fisiológico para maior precisão.

Do ponto de vista prático, o método físico apresenta como principais vantagens a padronização, maior reprodutibilidade e rapidez na obtenção dos resultados. Entretanto, sua principal limitação está na desconsideração das características fisiológicas das plantas e da interação solo-planta, podendo levar a superestimativas ou subestimativas da água disponível. Em contrapartida, o método fisiológico, embora mais demorado e sujeito à variabilidade experimental, fornece uma estimativa mais realista do PMP, pois considera diretamente a resposta das plantas às condições de disponibilidade hídrica.

Dessa forma, a escolha do método mais adequado deve considerar tanto as características do solo quanto a espécie cultivada, sendo o método físico mais indicado em situações em que sua equivalência com o método fisiológico é comprovada, como observado para soja e sorgo em Latossolo, enquanto o método fisiológico se mostra mais apropriado em condições onde há divergência entre os métodos.

CONCLUSÃO

Os resultados demonstram que o ponto de murcha permanente (PMP) não é um valor fixo, variando em função da classe de solo e da espécie vegetal utilizada como indicadora. O Latossolo Vermelho apresentou maiores teores de umidade no PMP em comparação ao Cambissolo Háplico, evidenciando sua maior capacidade de retenção de água, embora parte dessa água esteja indisponível às plantas.

Em relação aos métodos de determinação, verificou-se que o método físico padrão (1500 kPa) apresentou resultados equivalentes ao método fisiológico para soja e sorgo no Latossolo, indicando que pode ser utilizado com segurança nessas condições. Por outro lado, para o Cambissolo e para a cultura do milho, as diferenças observadas entre os métodos evidenciam que o método físico pode não

representar adequadamente a disponibilidade hídrica real, sendo o método fisiológico mais indicado.

Dessa forma, a escolha do método para determinação do PMP deve considerar as características do solo e da cultura, sendo o método físico recomendado quando houver equivalência comprovada, devido à sua praticidade e padronização, enquanto o método fisiológico se mostra mais adequado em situações que demandam maior precisão na avaliação da disponibilidade de água para as plantas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, I. L. G. (2024). **Funções de pedotransferência para estimativa da capacidade de campo e ponto de murcha permanente na Bacia Hidrográfica do Rio Una – Ibiúna (SP)** (Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba). Repositório Institucional UNESP. <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstream/s/f3077b9e-82c5-4429-acf4-d7ff723871f1/content>.
- Brasmax Genética. (2022). **Brasmax Olimpo IPRO – Saiba tudo sobre a cultivar**. <https://www.brasmaxgenetica.com.br/blog/brasmax-olimpo/>.
- Briggs, L. J., & Shantz, H. L. (1912). **The wilting coefficient for different plants and its indirect determination** (Bulletin No. 30). U.S. Government Printing Office.
- Campos, G. M., Santos, G. O., Alievi, L. A., & Cantão, V. C. G. (2024). Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a água no solo no cultivo de soja e milho em sucessão no cerrado. **Observatório de la economía latinoamericana**, 22(5), e4833. <https://doi.org/10.55905/oelv22n5-152>.
- Cassinelli, A. A., et al. (2022). Como detectar o déficit hídrico na soja. **Revista Cultivar**. <https://revistacultivar.com.br/artigos/como-detectar-o-deficit-hidrico-na-soja>.
- Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA. (2025). **PIB do agronegócio brasileiro**. ESALQ/USP. <https://www.cepea.org.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>

- Coelho, A. M., *et al.* (2015). **Cultivo do sorgo**. Embrapa Milho e Sorgo. (9^a ed.). Embrapa Milho e Sorgo. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/749082/1/Milho-Manejo-de-solos.pdf>.
- Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. (2025). **Acompanhamento da safra brasileira de grãos: Safra 2024/25 – 12º levantamento** (v. 12, n. 12). https://www.gov.br/conab/pt-br/atuacao/informacoes-agropecuarias/safras/safra-de-graos/boletim-da-safra-de-graos/12o-levantamento-safra-2024-25/e-book_boletim-de-safras-12o-levantamento_2025.pdf.
- Cunha, T. J. F., *et al.* (2021). **Latossolos**. Embrapa Semiárido. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/solos/latossolos>.
- DonMario Sementes. (s.d.). **Cerrado milho** – Catálogo milho DonMario. <https://www.donmario.com.br/cultivares-cerrado-milho/>.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos ganha nova edição**. Brasília, DF: Embrapa, 2025. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/101551226/sistema-brasileiro-de-classificacao-de-solos-ganha-nova-edicao>. Acesso em: 6 maio 2026.
- Ferreira, D. F. (2019). Sisvar: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, 37(4), 529–535.
- Garg, A., *et al.* (2020) Uma nova análise do murchamento de plantas: evidências observacionais baseadas na interação solo-planta-fotossíntese não saturada. **Sci Rep** 10, 22064. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78893-z>
- Klein, V. A., Reichert, J. M., & Reinert, D. J. (2006). Água disponível em um Latossolo Vermelho argiloso e murcha fisiológica de culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 10(3), 646–650.
- Mantovani, E. C., Pereira, F. T. F., Pereira Filho, I. A., Viana, J. H. M., Albuquerque Filho, M. R., Alvarenga, R. C., & Cruz, J. C. (2015). **Manejo de solos**. In I. A. Pereira Filho (Org.), **Cultivo do milho** (9^a ed.). Embrapa Milho e Sorgo. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/749082/1/Milho-Manejo-de-solos.pdf>.
- Nuseed. (2025). Nugrain 250 – **Sorgo granífero**: Folheto técnico. <https://nuseed.com/br/wp-content/uploads/sites/15/2022/05/2025-FOLHETO-SORGO-GRANIFERO-NUGRAIN250-JUL-175x25cm-WEB.pdf>.
- Olarte, M. C., & Ruge, J. C. (2020). Analysis of the relationship between the water retention curve, particle size and pore size distribution in the characterization of a collapsible porous clay. **Respuestas**, 25(1), 33–43. <https://doi.org/10.22463/0122820X.2403>.
- Pimentel, L. G., *et al.* (2024). Estimativa da umidade do solo no ponto de murcha permanente para solos do sul do Mato Grosso do Sul. **Agrometeoros**, 32, e027637.
- Pereira, J. R., *et al.* (2005). **Ponto de murcha permanente de um Neossolo Flúvico usando novas plantas indicadoras** (Comunicado Técnico No. 241). Embrapa Algodão.
- Santos, A., *et al.* (2007). BioEstat 5.3: Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas. **ScienceOpen**.
- Santos, G. C. L., Garcia, P. H. M., Viana, T. B. L., Borges, P. F., Araujo, L. S., & Gonzaga, S. (2020). Crescimento e eficiência do uso da água do sorgo sob distintos regimes hídricos contínuos. **Archivos de Zootecnia**, 69(266), 164–171. <https://doi.org/10.21071/az.v69i266.5111>.
- Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. (2017). **Grãos: Manejo integrado de pragas (MIP) em soja, milho e sorgo**. <https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/181-GR%C3%83OS.pdf>
- Setúbal, R. M. (2019). **Uso de irrigação suplementar na cultura da soja em áreas de elevado risco climático no município de Luís Eduardo Magalhães – BA** (Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Oeste da Bahia).
- Silva, B. M., *et al.* (2014). Plant-available soil water capacity: Estimation methods and implications.

Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(2), 464–475.

Souza, M. S. de. (2004). **Caracterização do intervalo hídrico ótimo de três solos da região Norte Fluminense** (Dissertação de mestrado, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro).

Tocantins, Governo do Estado do & Fregonesi, P. (2025). **Tocantins atinge novo recorde na produção de grãos com 9,1 milhões de toneladas colhidas na safra 2024/25**. Secretaria da Comunicação.

<https://www.to.gov.br/secom/noticias/tocantins-atinge-novo-recorde-na-producao-de-graos-com-91-milhoes-de-toneladas-colhidas-na-safra-202425/4yn9wagr1dn5/>.

Secretaria do Planejamento e Orçamento do Tocantins - SEPLAN-TO. (2022). **Mapa de solos do Estado do Tocantins**. <https://central.to.gov.br/download/293464>.

Tovignan, T. K., *et al.* (2023). Precision phenotyping of agro-physiological responses and water use of sorghum under different drought scenarios. **Agronomy**, 13(3), 722. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030722>.

Yan, M., *et al.* (2022). The higher water absorption capacity of small root systems improved the yield and water use efficiency of maize. **Plants**, 11(17), 2300. <https://doi.org/10.3390/plants11172300>