

## AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DE SENSORES DE UMIDADE E TEMPERATURA DO SOLO EM DIFERENTES SISTEMAS AGROFLORESTAIS

Antonio Vanklane Rodrigues de Almeida<sup>1</sup>; Icaro Vasconcelos do Nascimento<sup>2</sup>; Antônio Vinícius da Costa Braga<sup>3</sup>; Nazaré Suziane Soares<sup>4</sup>; Jaedson Cláudio Anunciato Mota<sup>5</sup>; Carlos Alexandre Gomes Costa<sup>6</sup>

**RESUMO:** A umidade e a temperatura do solo são variáveis essenciais para compreender os processos hidrológicos e melhorar a produtividade agrícola. Este estudo teve como objetivo avaliar a exatidão e confiabilidade de sensores digitais de umidade e temperatura, instalados em solos de diferentes Sistemas Agroflorestais. A umidade real foi determinada pelo método gravimétrico, e a temperatura, comparada com leituras de um termômetro de mercúrio. As análises, baseadas em equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), indicaram boa linearidade e forte correlação ( $R^2 > 0,85$ ), evidenciando a eficiência dos sensores para monitoramento hídrico do solo em condições de campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** engenharia de solo e água, monitoramento da irrigação, eficiência do uso da água

## EVALUATION OF THE ACCURACY OF SOIL MOISTURE AND TEMPERATURE SENSORS IN DIFFERENT AGROFORESTRY SYSTEMS

**ABSTRACT:** Soil moisture and temperature are essential variables for understanding hydrological processes and improving agricultural productivity. This study aimed to evaluate the accuracy and reliability of digital moisture sensors and a waterproof temperature sensor installed in soils from different Agroforestry Systems. Actual soil moisture was determined using the gravimetric method, and temperature readings were compared with a mercury thermometer. The analyses, based on regression equations and coefficients of determination

<sup>1</sup> Doutorando, Universidade Federal do Ceará, 62640000, Pentecoste, Ceará. (85) 991293302. e-mail: vanklaneprece@hotmail.com

<sup>2</sup> Bolsista Pos Doc, Depto de Solos, UFC, Fortaleza, CE

<sup>3</sup> Graduando, Estudante de Agronomia, UFC, Fortaleza, CE

<sup>4</sup> Bolsista Pos Doc, Depto de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE

<sup>5</sup> Prof. Doutor, Depto de Solos, UFC, Fortaleza, CE

<sup>6</sup> Prof. Doutor, Depto de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, CE

( $R^2$ ), indicated good linearity and strong correlation ( $R^2 > 0.85$ ), demonstrating the effectiveness of the sensors for soil water monitoring under field conditions.

**KEYWORDS:** soil and water engineering, irrigation monitoring, water use efficiency

## INTRODUÇÃO

O monitoramento da umidade e da temperatura do solo é um fator determinante para a sustentabilidade agrícola, pois influencia processos hidrológicos, a ciclagem de nutrientes e a dinâmica microbiana, impactando diretamente a produtividade das culturas (SANTOS et al., 2021). A umidade condiciona a disponibilidade hídrica para as plantas e a eficiência do uso da água, enquanto a temperatura regula processos fisiológicos, como a germinação e a absorção de nutrientes (SOUSA et al., 2022). Em um contexto de mudanças climáticas e crescente pressão sobre os recursos naturais, a medição precisa desses parâmetros é essencial para garantir a resiliência e a eficiência dos sistemas produtivos (SAIDAK et al., 2024).

Nos Sistemas Agroflorestais (SAFs), a complexidade estrutural e a heterogeneidade espacial dos componentes arbóreos, arbustivos e herbáceos impõem desafios adicionais ao monitoramento. A diversidade de espécies, a cobertura do dossel e a variabilidade textural do solo geram microclimas diferenciados, que afetam tanto a umidade quanto a temperatura, exigindo estratégias de monitoramento adaptadas (OTTOBONI; ANDREANI JR., 2024; SOUSA et al., 2022). Essa heterogeneidade, embora benéfica para a biodiversidade e estabilidade ecológica, dificulta a aplicação uniforme de práticas agrícolas e torna indispensável o uso de tecnologias que capturem com precisão as variações locais (BICHEL; ZANIN, 2021).

Nesse contexto, sensores digitais emergem como ferramentas essenciais para a agricultura de precisão, proporcionando leituras rápidas e contínuas. Entre os principais dispositivos, destacam-se os sensores dielétricos, como o ECH<sub>2</sub>O EC-5, amplamente utilizados para medição da umidade, e os sensores digitais de temperatura, como o DS18B20, ambos capazes de integrar-se a sistemas de monitoramento automatizados (BITELLA et al., 2014; SILVA et al., 2024). Esses sensores funcionam com base em propriedades elétricas do solo, como a constante dielétrica, que varia conforme o teor de água, e a resistência térmica, no caso da temperatura. Entretanto, a precisão dessas medições é influenciada por fatores como textura, densidade, condutividade elétrica e heterogeneidade estrutural, tornando necessária a calibração específica para cada tipo de solo (ALBERGEL et al., 2012; BITELLA et al., 2014).

Estudos recentes reforçam a importância de procedimentos calibratórios para reduzir erros sistemáticos e garantir a confiabilidade das medições. Saidak et al. (2024) observaram que sensores digitais podem apresentar erros médios inferiores a 13,5% quando calibrados adequadamente com métodos padrão, como o gravimétrico para umidade e o termômetro de mercúrio para temperatura. De forma semelhante, Albergel et al. (2012) destacaram que a calibração em condições locais é essencial para minimizar a superestimação da umidade, sobretudo em solos com alta salinidade ou variabilidade textural.

Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo avaliar a acurácia e a confiabilidade de sensores digitais de umidade (ECH<sub>2</sub>O EC-5) e temperatura (DS18B20) em diferentes Sistemas Agroflorestais, comparando suas leituras com métodos de referência, como o gravimétrico e o termômetro de mercúrio. Com isso, busca-se fornecer subsídios para o aprimoramento do manejo hídrico em SAFs, promovendo uma integração eficiente entre inovação tecnológica, sustentabilidade e produtividade agrícola.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal do Ceará, com o objetivo de avaliar a acurácia de sensores de umidade (ECH<sub>2</sub>O EC-5) e de temperatura (sensor de temperatura DS18B20 à prova d'água). As amostras de solo foram coletadas em cinco diferentes Sistemas Agroflorestais (SAFs), abrangendo classes texturais distintas (arenosa, argilosa e franco-arenosa), Figura 1.

Cada amostra foi peneirada em malha de 2 mm, seca ao ar, homogeneizada e acondicionada em latas de alumínio com volume de 540 mL. Os sensores, dois de umidade e um de temperatura, foram instalados a 8 cm de profundidade, e as leituras foram registradas digitalmente. Os testes foram realizados em cinco níveis distintos de umidade: inicialmente com o solo seco ao ar, seguido da adição sucessiva de 150 mL de água 30 minutos antes de cada leitura, totalizando cinco medições por tipo de sensor.

A umidade real do solo foi determinada pelo método gravimétrico, com pesagem da amostra úmida, secagem em estufa a 105 °C por 24 horas, pesagem da amostra seca e cálculo da umidade gravimétrica (%). As leituras dos sensores de temperatura foram comparadas com os valores obtidos por um termômetro de mercúrio, utilizado como referência.

A densidade do solo foi determinada pelo método da proveta, conforme descrito por Embrapa (2011). Inicialmente, uma proveta de 100 mL foi pesada vazia. Em seguida,

adicionou-se solo seco ao ar em três etapas sucessivas, utilizando aproximadamente 35 mL por vez, medidos em béquer de 50 mL. Após cada adição, o solo foi compactado batendo-se a base da proveta 10 vezes sobre um tapume de borracha com 5 mm de espessura, a uma altura aproximada de 10 cm. Esse procedimento foi repetido até que o nível de terra atingisse o traço de aferição da proveta. Posteriormente, a proveta contendo a amostra foi pesada, e a densidade foi calculada pela razão entre a massa de solo seco ao ar e o volume da proveta. Para corrigir a influência da umidade residual presente no solo seco ao ar, aplicou-se o fator de correção  $f$ , obtido pela razão entre a massa de terra fina seca ao ar (20 g) e a massa de terra fina seca em estufa a 105 °C por 24 horas. Assim, a densidade do solo foi obtida multiplicando-se a densidade calculada com proveta pelo fator  $f$ .



**Figura 1.** Disposição das amostras (A) e a forma de instalação do sensor de umidade do solo no corpo de prova com ângulo de 30° (B).

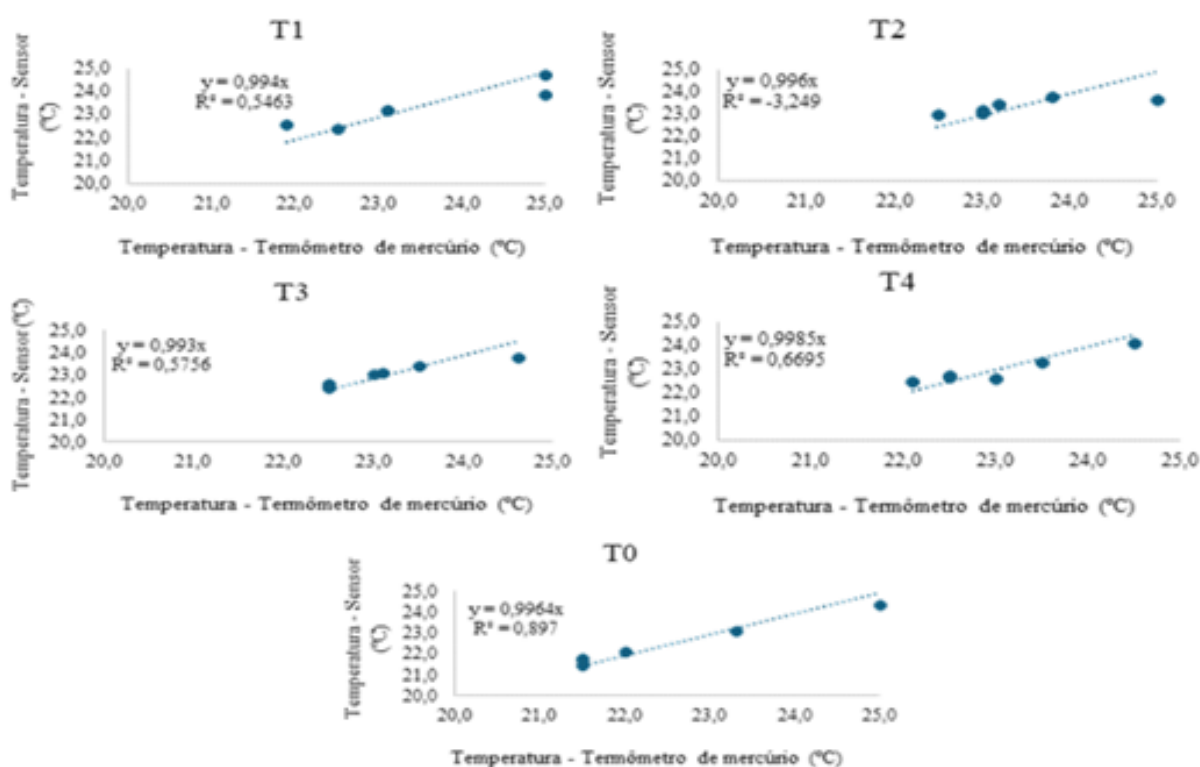
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A calibração dos sensores de temperatura teve como objetivo verificar a fidelidade das respostas dos sensores digitais em comparação com um instrumento de referência, no caso, um termômetro de mercúrio. Por meio das equações de regressão e dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), foi possível avaliar a precisão e a exatidão dos sensores em condições de campo.

De modo geral, os resultados indicaram boa linearidade nas relações entre os sensores e o termômetro de referência, com coeficientes angulares próximos de 1 em todos os ambientes avaliados. Esse comportamento sugere que os sensores digitais respondem de forma

proporcional às variações reais de temperatura. No entanto, os valores de  $R^2$  apresentaram variações, refletindo diferenças na consistência das leituras entre os ambientes, possivelmente associadas a fatores externos como umidade do solo, interferências ambientais ou variações na instalação dos sensores (Figura 2).

Segundo Gero et al. (2008), na calibração de sensores digitais, tanto a proporcionalidade (expressa pela inclinação da reta de regressão) quanto a consistência das medições (representada pelo coeficiente de determinação,  $R^2$ ) são parâmetros essenciais para avaliar a confiabilidade do sensor, especialmente quando comparado a instrumentos de referência com elevado grau de precisão, como o termômetro de mercúrio.

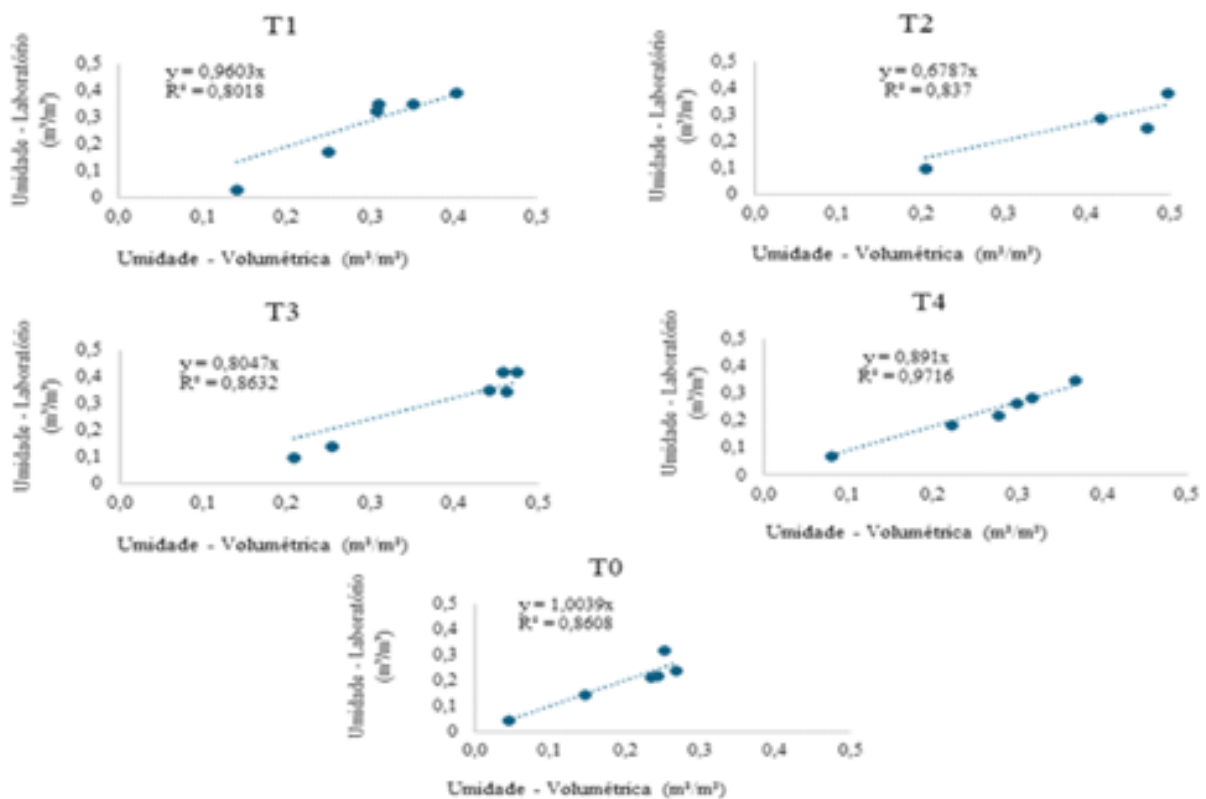


**Figura 2.** Reta 1:1 para a relação entre a Temperatura atual e a observada nos diferentes solos, (T1, T2, T3, T4 e a testemunha T0).

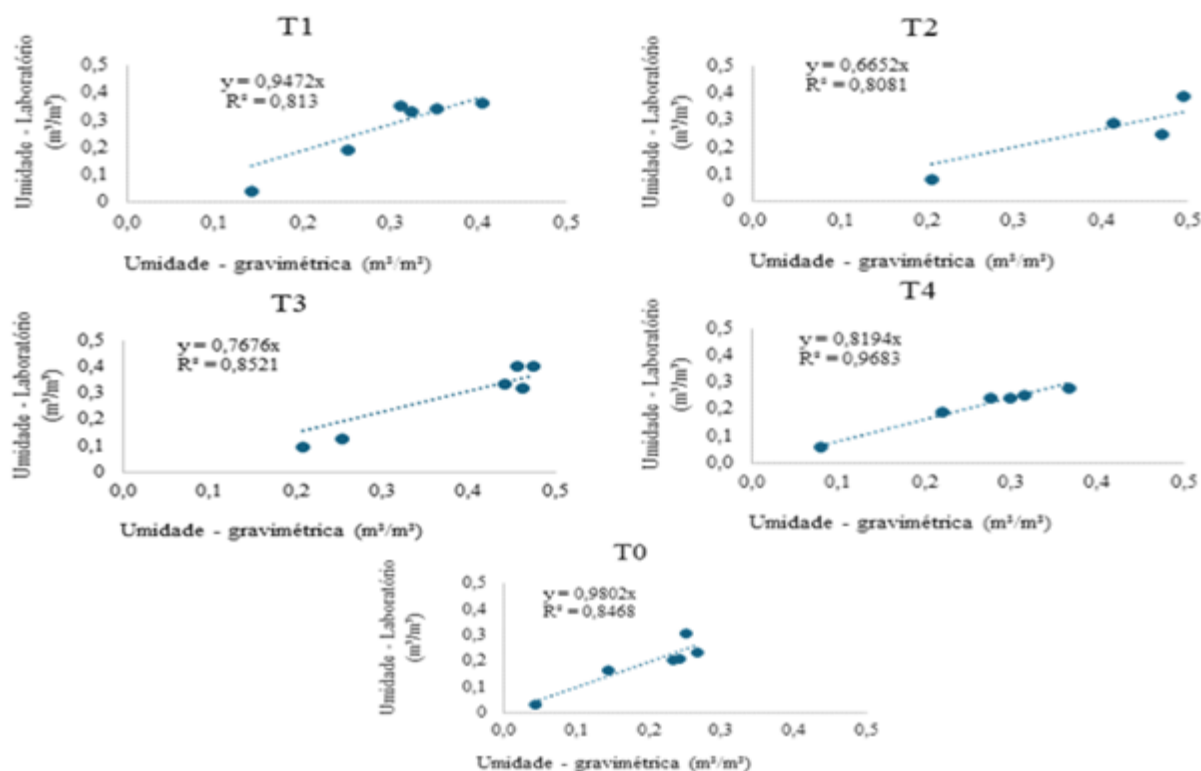
O objetivo da segunda calibração foi verificar a relação linear entre os valores de umidade volumétrica do solo ( $\theta_v$ ), obtidos por meio de sensores, e a umidade real determinada em laboratório pelo método gravimétrico ( $\theta_{lab}$ ). As Figuras 3 e 4 apresentam os gráficos de regressão linear obtidos para diferentes Sistemas Agroflorestais (SAFs) e para uma área testemunha, com suas respectivas equações de regressão e coeficientes de determinação ( $R^2$ ), os quais indicam a acurácia da calibração em cada condição avaliada para ambos os sensores utilizados.

De modo geral, todas as regressões apresentaram forte correlação ( $R^2 > 0,85$ ), evidenciando a consistência dos sensores na estimativa da umidade volumétrica do solo em comparação com o método de referência. No entanto, observaram-se variações nos coeficientes angulares (a) e nas intercepções (b) das equações de regressão, o que reforça a necessidade de calibração específica para cada tipo de solo e condição ambiental, conforme demonstrado por Dobson et al. (1985).

Conforme também relatado nesses estudos, verificou-se uma tendência dos sensores à superestimação dos valores de umidade, especialmente em condições de maior teor de água no solo. Tal comportamento pode ser atribuído à limitação na resposta dielétrica dos sensores, que se torna menos precisa à medida que a umidade se aproxima da saturação. Isso ocorre porque a permissividade dielétrica do solo saturado é inferior à da água pura e varia em função da textura, estrutura e porosidade do solo, como evidenciado por Dobson et al. (1985).



**Figura 3.** Reta 1:1 para a relação entre a umidade volumétrica atual e a observada, utilizando a calibração de fabricação para as densidades de 1,26 (T1); 1,18 (T2); 1,25 (T3); 1,16 (T4) e 1,46 (T0) Mg m<sup>-3</sup>.



**Figura 4.** Reta 1:1 para a relação entre a umidade volumétrica atual e a observada, utilizando a calibração de fabricação para as densidades de 1,26 (T1); 1,18 (T2); 1,25 (T3); 1,16 (T4) e 1,46 (T0) Mg m<sup>-3</sup>.

## CONCLUSÕES

A calibração dos sensores de umidade e temperatura demonstrou que os dispositivos utilizados apresentam boa capacidade de estimar as variações reais no solo, com elevado grau de correlação em relação aos métodos-padrão ( $R^2 > 0,85$ ). As equações de regressão evidenciaram forte linearidade, sobretudo para os sensores de temperatura, cujo desempenho foi consistente em todos os ambientes avaliados.

No caso dos sensores de umidade, observou-se variação nos coeficientes angulares e interceptações, indicando que a calibração deve ser realizada de forma específica para cada tipo de solo e condição de manejo. Além disso, verificou-se tendência de superestimação dos valores de umidade em condições de elevada umidade, possivelmente relacionada à limitação da resposta dielétrica do sensor em solos próximos à saturação.

Esses resultados reforçam a importância da calibração prévia em estudos de campo, especialmente em sistemas com elevada heterogeneidade, como os Sistemas Agroflorestais. A adoção de fatores de correção e o uso de regressões específicas podem aumentar a acurácia das

medições, tornando os sensores ferramentas eficazes para o monitoramento hídrico do solo em ambientes agrícolas e experimentais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERGEL, C.; DE ROSNAY, P.; et al. Soil moisture analyses at ECMWF: Evaluation using global ground-based in situ observations. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 93, n. 11, p. 1873–1885, 2012. DOI: 10.1175/BAMS-D-11-00074.1.

BICHEL, A.; ZANIN, E. Perspectiva de bem-estar único em sistemas agroflorestais: uma análise bibliométrica. **Agroecossistemas**, v. 13, n. 2, p. 56-72, 2021.

BITELLA, G.; ROSSI, R.; et al. A novel low-cost open-hardware platform for monitoring soil water content and multiple soil-air-vegetation parameters. **Sensors**, v. 14, p. 3706-3731, 2014. DOI: 10.3390/s140203706.

DOBSON, M.C.; ULABY, F.T.; HALLIKAINEN, M.T.; EL-RAYES, M.A. Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil-Part II: Dielectric Mixing Models. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Piscataway, v.GE-23, p.35-46, 1985.

EMBRAPA—Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. rev. – Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. (Documentos, 132).

GERO, P. J.; DYKEMA, J. A.; ANDERSON, J. G. A blackbody design for SI-traceable radiometry for Earth observation. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 25, n. 11, p. 2046–2054, 2008. DOI: 10.1175/2008JTECHA1100.1.

OTTOBONI, B. A.; ANDREANI JR., R.. Sistemas agroflorestais: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, 7(2), e80098, 2024. <https://doi.org/10.34140/bjbv7n2-036>

SAIDAK, R.; SAIDAK, A. Features of forming water availability for winter wheat in the south of Ukraine. **Journal of Agricultural Research**, 2024.

SANTOS, N. A. R. et al. A importância da medição da umidade do solo para a agricultura. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 18, n. 1, p. 2021–2030, 2021. DOI:10.18677/EnciBio\_2021A1

SILVA, A. C.; OLIVEIRA, R. F. de; et al. Plataforma Digital Integrada a Rede de Sensores Sem Fio para Monitoramento Contínuo da Umidade do Solo. In: Workshop de computação aplicada à gestão do meio ambiente e recursos naturais (wcama), 15, 2024, Brasília/DF. Anais... Porto Alegre: **Sociedade Brasileira de Computação**, 2024. p. 189–198. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2024.3208>.

SOUSA, V. S.; PAULETTO, D.; et al. Dinâmica da cobertura de dossel, temperatura e umidade do solo em sistemas agroflorestais no Oeste do Pará. **Revista Agroecossistemas**, v. 14, n. 1, p. 35-50, 2022. DOI:10.18542/ragros.v14i1.11610