

Desenvolvimento de um equipamento para medida de temperatura do solo baseado em sistema *open source* de baixo custo

Development of equipment to measure soil temperature based on a low-cost open source system

Fernando Yudi Obara ¹, Gabriel Augusto Luz do Carmo ², Augusto Luengo Pereira Nunes ³, Jefferson Sussumu Aguiar Hachiya ⁴, Leonardo Carmezini Marques ⁵, Daniele Albuquerque ⁶, Marcelo Hidemassa Anami ⁷

RESUMO

Estima-se que a demanda por insumos agrícolas deverá aumentar em ao menos 60% até 2050, nesse contexto, garantir que a produção agrícola se dê com mais eficiência, tem se tornado preocupação crescente para a atual geração. Nesse sentido, o estudo, ao considerar que a temperatura do solo, demonstra influência prática sobre o desenvolvimento dos cultivos, e portanto em sua qualidade e quantidade, tem por objetivo desenvolver um sistema automatizado para o monitoramento da variabilidade térmica do solo, com precisão, eficiência e custo compatível, que possa auxiliar o pequeno produtor a tomar medidas mais assertivas. O sistema foi implementado sobre uma placa de desenvolvimento Arduino[®] Mega 2560 Rev3., nele foram integrados três termômetros digitais de modelo OneWire DS18B20 e um módulo de gravação em cartão micro SD para garantir a segurança dos dados. Em relação aos custos, o orçamento destinado para aquisição dos componentes ficou em R\$200,00. Para verificar sua precisão houve a fidedigna reprodução de um ensaio controlado em avaliação às propriedades termo-hidráulicas de uma amostra de solo, cujo os resultados mostraram-se condizentes aos sintetizados por outros autores. Conclui-se que o protótipo desenvolvido é adequado à proposta, apresentando baixo custo e precisão satisfatória.

PALAVRAS-CHAVE: Aquecimento global; Arduino, Automação.

ABSTRACT

The sustainability of agricultural systems can be harmed by climate instability due to global warming. In this context, monitoring and analyzing the thermal variability presented by the soil can show the relationship between climate, soil and productivity. This search aimed to develop an autonomous system for recording and monitoring soil thermal variability, with due precision and efficiency at a compatible cost. The system was implemented on an Arduino[®] Mega 2560 development board. and 3 units of the OneWire DS18B20 digital thermometer were integrated into the prototype and to guarantee its autonomy, along with the other components, a recording module on a micro SD card was added. To verify the accuracy presented by the thermometers implemented in the solution, a test carried out was reproduced, based on the methods applied by other researchers, in evaluating the thermo-hydraulic properties of the soil. The results in relation to costs, the budget allocated for the acquisition of components was around US\$40.00 during the second half of

1 Bolsistas do CNPq. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: fernando.obara.tinfem2020@gmail.com. ID Lattes: 8588501963066298

2 Bolsistas do CNPq. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: gabrluz123@gmail.com. ID Lattes: 4845002082494473

3 Docente. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: augusto.nunes@ifpr.edu.br. ID Lattes: 6074532556808054

4 Docente. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: jefferson.hachiya@ifpr.edu.br. ID Lattes: 2703279126438378.

5 Docente. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: leonardo.carmezini@ifpr.edu.br. ID Lattes: 7559934174616296

6 Técnica de Laboratório - Bióloga. Instituto Federal do Paraná, Londrina, Paraná, País. E-mail: danielle.albuquerque@ifpr.edu.br. ID Lattes: 0605762301603623.

7 Docente. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, Paraná, Brasil. E-mail: mhanami@utfpr.edu.br. ID Lattes: 3307401491797973.

2022. Based on the reference values obtained by the temperature variation curve in relation to time, the results are consistent with the results obtained by other researchers. It is concluded that the prototype developed is adequate, with low cost and high precision.

KEYWORDS: Arduino; Automation; Global warming.

INTRODUÇÃO

A relação entre eficiência e sustentabilidade em um modo produtivo agrário, sempre se fez presente entre as mais relevantes pautas de discussão global, figurando uma das principais preocupações da atual geração. Estima-se que a demanda por insumos agrícolas deverá aumentar em ao menos 60% até 2050, aponta a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (2015). Para Ehlers (2009), um padrão sustentável de desenvolvimento se dá na otimização da produção agrícola, de modo que, também se minimize os impactos climáticos e ambientais relacionados, reduzindo a liberação de produtos químicos no meio ambiente, mas que em conjunto possa garantir a manutenção dos recursos naturais à longo prazo.

Paralelamente encontra-se a crescente tendência de intensificação do processo de aquecimento global e seus produtos, dentre os quais, a expansão das amplitudes térmicas, distribuição hídrica irregular e massificação de fenômenos climáticos, destaca relatório promovido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (2022). Nesse sentido, considerar que “a atividade microbiológica pode ser interrompida, as sementes poderão não germinar e as plantas não se desenvolverem, se o solo não apresentar uma temperatura dentro dos limites fisiológicos dos processos envolvidos” (PREVEDELLO, 2010, p. 178), como elemento central das incertezas do ofício, o objetivo desta pesquisa foi de desenvolver um sistema autônomo para registro, monitoramento da variabilidade térmica do solo, com devida precisão e eficiência a custo compatível, como alternativa para se transformar a relação entre clima, solo e produtividade.

Buscando levantar distintas alternativas para proceder com o desenvolvimento do projeto avaliou-se pesquisas semelhantes. Em Eustáquio et. al. (2012), o protótipo se encarregou da análise de fatores como temperatura, umidade e luminosidade de uma produção agrícola. Em Lima et. al. (2023), o eletrônico foi desenvolvido para o controle de temperatura de um aparelho refrigerador destinado à conservação de imunizantes. Em Martinazzo e Orlando (2016), os pesquisadores fundamentam comparação entre os principais sensores de temperatura disponíveis no mercado, elemento central da pesquisa.

MATERIAL E MÉTODOS

Para execução da proposta, e o atendimento dos objetivos, procedeu-se da seguinte maneira: 1) delimitação do tema, contextualização do problema e definição dos objetivos; 2) levantamento do referencial teórico e das soluções correlatas; 3) esquematização e construção do protótipo; 4) desenvolvimento do sistema para configuração do eletrônico; 5) fundamentação dos procedimentos metodológicos; 6) avaliação dos resultados; 7) considerações finais do estudo.

Dadas as constatações, o sistema foi implementado sobre uma placa de desenvolvimento Arduino® Mega 2560 Rev3, que oferece 16 MHz de processamento, 8 KB de memória SRAM, 256 KB de memória flash e 4 KB de armazenamento EEPROM,

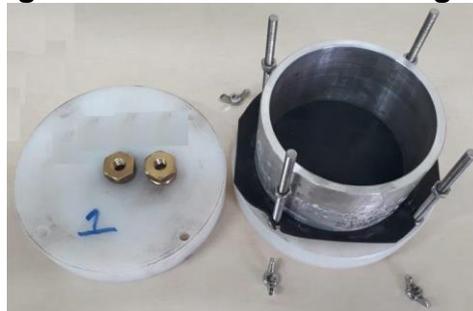
bem como 70 pinos de comunicação, sendo 54 deles digitais (0-1) e 16 analógicos (0-1027), além de disponibilizar 4 canais seriais, descreve Arduino (2023), apesar de aparentemente limitado, quando comparado aos computadores e celulares modernos, tais aspectos tornam o eletrônico capaz de gerenciar dezenas de equipamentos, configurando-o como um dos mais potentes modelos oferecidos pela fabricante.

Para que o dispositivo inicie os registros das temperaturas do solo, tomando por base as constatações de Martinazzo e Orlando (2016), em relação à precisão referente aos distintos modelos de sensores, destacando-se o termômetro digital OneWire DS18B20. Assim foram integrados ao protótipo 3 unidades deste modelo que apresentou maior assertividade, sendo capazes de aferir medidas dentro de -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$, porém, com superior precisão quando expostos à temperaturas contidas dentro da faixa de -10°C à $+85^{\circ}\text{C}$, ideal para análise solar, operando através da análise da diferença de resistividade elétrica entre os meios, sendo muito mais ágil que os métodos tradicionais, apresentando até $0,5^{\circ}\text{C}$ de variação em suas leituras e revestimento à prova d'água, específica Maxim Integrated (2015).

Para garantir certa autonomia, junto aos demais componentes, foi acrescentado a configuração de um módulo de gravação em cartão micro SD, trazendo mais segurança para as informações registradas, uma vez que mesmo que se perca a conexão com o computador e/ou com sua fonte de energia, as informações ficarão armazenadas no cartão de memória "fria".

Para verificar a precisão apresentada pelos termômetros escolhidos para construção da solução, houve a reprodução de um ensaio fundamentado nos métodos aplicados por Duarte (2004), em avaliação às propriedades termo-hidráulicas do solo. As amostras do solo foram inseridas em cilindros de alumínio com 5,0 mm de espessura e $519,257\text{ cm}^3$ de volume, sendo 10,22 cm de diâmetro da base, e 6,33 cm a altura, comportando em torno de 487.74 g de solo. Sendo fixado sobre duas chapas de nylon, a superior possuindo, ainda, duas entradas para o encaixe dos termômetros, como demonstra a Figura 1

Figura 1. Cilindro de amostragem



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

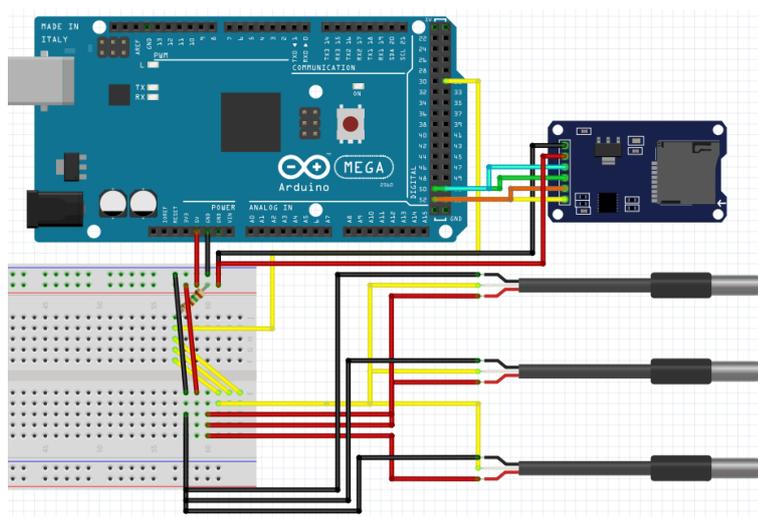
Após a inserção da amostra no cilindro, o recipiente foi vedado pela fixação das bases, com o artifício de quatro pares de porcas e parafusos. Com os sensores devidamente posicionados, um deles na área externa, e outros dois na interna sendo, um na parte interna mais próxima da parede do cilindro, e outro centralizado na amostra, o agregado foi permeado em banho-maria, preservando-se os intervalos para a recomposição da temperatura ambiente, às temperaturas constantes de 40, 50 e 60°C . Em cada uma das observações a amostra foi introduzida até que a temperatura se

estabilizasse, geralmente pouco abaixo da apresentada pelo meio, o intervalo entre as leituras e respectivas temperaturas, foram conferidas pelo protótipo, porém, para definição dos coeficientes apenas foram tratados os dados até que a amostra atingisse 50% na variação de temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com efeito, a sucessão dos métodos resultaram em um protótipo eletrônico funcional de baixo custo, com precisão adequada. Seu esquema está exposto em Figura 2 e seus respectivos custos em Quadro 1.

Figura 2. Esquema do Protótipo



Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Quadro 1. Levantamento dos Componentes

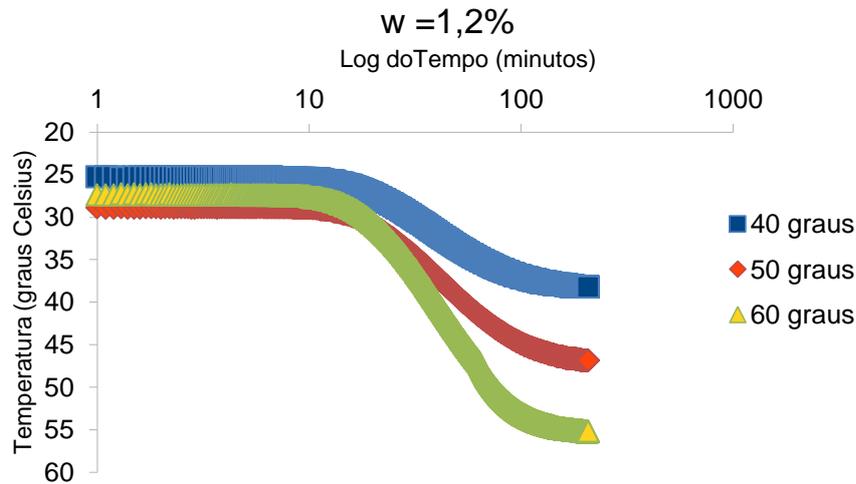
Equipamento	QTD	Valor de Mercado
Placa de desenvolvimento Arduino® Mega 2560 Rev 3	1	R\$140,00
Protoboard 400 pontos	1	R\$12,00
Conjunto de Jumper's	3	R\$3,00
Termômetro digital OneWire DS18B20	3	R\$33,00
Gravador cartão SD	1	R\$12,00

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Quanto aos custos, o orçamento destinado para aquisição dos componentes ficou em R\$200,00 durante o segundo semestre de 2022. Para efeito comparativo, um termômetro profissional com registrador de dados ou *data-logger* - uma das alternativas mais utilizadas nas produções agrícolas atuais, para o monitoramento e registro das informações térmicas - em geral pode ser encontrado no mercado por no mínimo R\$ 500,00, porém, para se adquirir os modelos mais tecnológicos, o valor a ser desembolsado pode chegar até R\$ 1500,00 cada um.

A Figura 3 mostra a medição das temperaturas que serviram de base para calcular o calor específico do sólido.

Figura 3. Variação da temperatura com o tempo com umidade higroscópica de 1,2%



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quanto aos testes de integridade, tornou-se possível aferir após sua reprodução, que o calor específico do solo para as temperaturas 40°C, 50°C e 60°C são respectivamente 0,2393; 0,2528; e 0,2633 ($\text{cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$), através das medições realizadas pelo protótipo à uma frequência de seis leituras por minuto. O Quadro 2 mostra um resumo das temperaturas obtidas pelo protótipo.

Quadro 2 . Medidas e intervalos do ensaio

Temperatura Inicial (°C)	Temperatura Final (°C)	Temperatura do média do Líquido (°C)	Intervalo (minutos)
25,30°C	38,31°C	40,63°C	207,8
29,00°C	46,94°C	50,25°C	207,8
27,44°C	55,25°C	60,13°C	207,8

Fonte: Elaborado pelos autores (2023)

Os resultados obtidos são condizentes aos resultados obtidos por Duarte (2009), ao fazer uso de um termômetro profissional Minipa MT-511.

CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pelo protótipo desenvolvido são adequados à proposta, devido sua autonomia no registro das informações referentes à temperatura do solo. Os custos ficaram baixos e a precisão é compatível com equipamentos convencionais disponíveis no mercado, de maior custo.

Agradecimentos

Agradecemos à Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Instituto Federal do Paraná – IFPR, por disponibilizar os docentes, estrutura e apoio no desenvolvimento ao projeto, ao CNPq/CAPES pela concessão da bolsa.

Disponibilidade de código

Os códigos não estão disponíveis por questão de sigilo e futura solicitação de propriedade intelectual.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse, nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ARDUINO®. **Arduino® Mega 2560 Rev3 Product Reference Manual**. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/hardware/mega-2560>. 2023. Acesso em: 31/08/2023.
- DUARTE, Anna Paula Lougon. **Avaliação de Propriedades Termo-Hidráulicas de Solos Requeridas na Aplicação da Técnica de Dessorção Térmica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil, PUC-RIO. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro. 2004.
- EHLERS, Eduardo Mazzaferro. **O que é agricultura sustentável**. São Paulo: São Paulo. Brasiliense, 2009.
- EUSTÁQUIO, Joana Flora Lúcio de Lima. et al. Construção e desenvolvimento de um sensor de umidade de solos utilizando Arduino. In: Mostra Nacional de robótica. **Anais [...]** Fundação Bradesco de Jaboatão. Pernambuco: Jaboatão, 2012 . Disponível em: <http://sistemaolimpo.org/midias/uploads/c85c65e0c68fcdf7e6ccdfbbd7e847e5.pdf>. Acesso em 31/08/2023.
- LIMA, Michelle Silva. et al. Controle de temperatura com Arduino. **Mythos**, Minas Gerais: Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 48-55, jan. 2023.
- MARTINAZZO, Claudomir Antônio; ORLANDO, Tailan. Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduino. **PERSPECTIVA**, Erechim. v. 40, n.151, p. 93-104, setembro/2016
- MAXIM INTEGRATED®. **DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer**. 2019. Disponível em: https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/433920/MAXIM/DS18B20_08.html. Acesso em 31/08/2023
- ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA (FAO). Revisão de José Graziano da Silva, diretor-geral da FAO durante seminário “**Como alimentar o mundo**”. Genebra. 2015.
- PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Sexto relatório de avaliação das mudanças climáticas**. 2022. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorios/sexta-relatorio-de-avaliacao-do-ipcc-mudanca-climatica-2022>. Acesso em 31/08/2023
- PREVEDELLO, Celso Luiz. Energia térmica do solo. In: LIER, Quirijn de Jong Van. **Física do solo**. Minas Gerais: Viçosa. 2010. p. 177-211.