

## MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DO SUBSOLO NA CIDADE DE CAARAPÓ-MS PARA FINS DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.15.24.X-003>

Camilla de Oliveira Bazzano (\*), Christian Souza Barboza, Agleison Ramos Omido

\* Universidade Federal da Grande Dourados (camillabazzano2016@gmail.com)

### RESUMO

A expansão do consumo de energia aponta para a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção mundialmente alicerçada em fontes não renováveis. Com as circunstâncias, se faz necessária a busca por fontes de energia renováveis para suprir a demanda energética mundial. A Energia Geotérmica é uma fonte de energia limpa originada do calor armazenado no interior da terra. O trabalho verifica o comportamento da temperatura na superfície e no subsolo de Caarapó-MS, iniciando o levantamento de informações para a composição de uma base de dados. As verificações das temperaturas deram-se a 1,5 m, 3,5 m, 4,5 m e 6,0 m de profundidade. Os resultados indicam uma diferença de amplitude térmica entre a temperatura ambiente e o subsolo, demonstrando a estabilidade térmica do solo com o aumento da profundidade. Dessa maneira, o subsolo confirmou ser uma grande fonte de armazenamento de energia, devido sua alta estabilidade e poder de renovação de temperatura, apresentando potencial de utilização como fonte de aquecimento e resfriamento do ambiente. A temperatura média nos 6 metros de profundidade apresenta tendência de permanecer estável e próxima da temperatura média anual, com amplitude térmica de 2,62 °C dentro período observado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia Geotérmica, Fonte de Energia limpa, Estabilidade Térmica.

### INTRODUÇÃO

Durante todo o século XX, a oferta farta de energia, obtida principalmente a partir dos combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, deu suporte ao crescimento e às transformações da economia mundial. Já nos primeiros anos do século atual, o cenário mudou ao ser colocada à prova por uma nova realidade: a necessidade do desenvolvimento sustentável (ANEEL, 2008).

A busca pela eficiência energética é essencial, pois o crescimento acelerado da população mundial acarreta em um maior consumo de energia que atualmente é oriunda, principalmente, de fontes não renováveis, provocando a emissão de altos níveis de gases poluentes na atmosfera. Dentre eles, o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), é o gás que mais contribui para o aquecimento global e é libertado essencialmente através da queima de combustíveis fósseis, para a produção de calor e de eletricidade e até mesmo pelos transportes (OMIDO et al., 2018).

O aquecimento global é reportado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) como uma das principais ameaças à continuidade do desenvolvimento humano e tem causado impactos generalizados, como elevação da temperatura média do solo e oceanos, bem como extremos quentes e precipitação intensa em várias regiões (FERREIRA et al., 2023).

As mudanças climáticas indicam cenários de aumento médio das temperaturas globais de 1,0°C a 5,7°C até o ano de 2100. Caso as emissões de gás de efeito estufa não diminuam, e as transformações iminentes não sejam feitas em todos os setores, pode-se atingir o limite de aquecimento de 1,5°C até 2050, conforme estabelecido no Acordo de Paris. Para tanto, as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) precisam parar de crescer até 2025 e, depois, cair 43% até 2030, em relação aos níveis de 2019 (FERREIRA et al., 2023).

Um estudo conduzido no Brasil, considerando registros meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), aponta elevação na frequência das ondas de calor no país nas últimas cinco décadas, com maioria das ocorrências concentradas após o ano 2000. Constatou-se, também, que elas estão mais duradouras e intensas, o que sugere que as mudanças climáticas globais têm influenciado o campo de temperatura no Brasil (FERREIRA et al., 2023).

Segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) (2018), a emergência pela implementação de fontes de energias renováveis foi uma pauta na Agenda 2030 para as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). As ODS orientam as ações no âmbito econômico, social e ambiental, e as metas indicam como e quais medidas devem ser adotadas para promover seu alcance.

Dentre os 17 objetivos nacionais propostos, dois estão diretamente relacionados a questão energética, a meta número 7 e 13, onde determinam metas com uma base sustentável (SCHULTZ, 2022).

A primeira meta mencionada tem o objetivo de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos. Onde o acesso confiável se considera o grau de confiança no fornecimento de energia, incluindo a estabilidade do fornecimento de energia. E as energias modernas se diz respeito as novas energias limpas e renováveis, que provocam menor impacto no meio ambiente e menor emissão de gases de efeito estufa (IPEA, 2018).

A meta 13 tem como propósito a adesão de medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos, sua relação principal está no fato de que a maior parte das fontes de energias causam um grande impacto ambiental. Logo, se faz necessário um plano integrado que aumente a capacidade de adaptação aos impactos adversos da mudança climática, promovendo o desenvolvimento da resiliência climática e a baixa emissão de gases de efeito estufa (IPEA, 2018).

A alta demanda provocada pelo crescimento da população refletiu na 1ª crise do petróleo na década 1970, período em que se percebeu a real necessidade de pensar em fontes renováveis de energia com o intuito de racionalizar o seu consumo. (OMIDO et al., 2018).

A expansão acentuada do consumo de energia, embora possa refletir o aquecimento econômico e a melhoria da qualidade de vida, apresenta, contudo, aspectos negativos. Um deles é a possibilidade do esgotamento dos recursos utilizados para a produção de energia (ANEEL, 2008). Soluções como a energia solar fotovoltaica, a energia eólica, a biomassa, a energia geotérmica, entre outras, apresenta perspectivas de que a utilização da eletricidade não será interrompida, além de projetar, também, uma redução à agressão ao meio ambiente (OMIDO; BARBOZA; JÚNIOR, 2017).

A Energia Geotérmica é a energia que se encontra armazenada na forma de calor debaixo da superfície da terra, proveniente da absorção de radiação solar pelo solo, fluxo de águas subterrâneas e energia térmica armazenada no terreno. Esta energia é inesgotável uma vez que sofre a renovação constante exercida pelos efeitos do sol, da chuva e do próprio calor interno da crosta terrestre (OMIDO et al., 2018).

A Energia Geotérmica pode ser classificada em quatro categorias, dependendo da temperatura com que é extraída, ou seja, de acordo com sua entalpia. Essas categorias são:

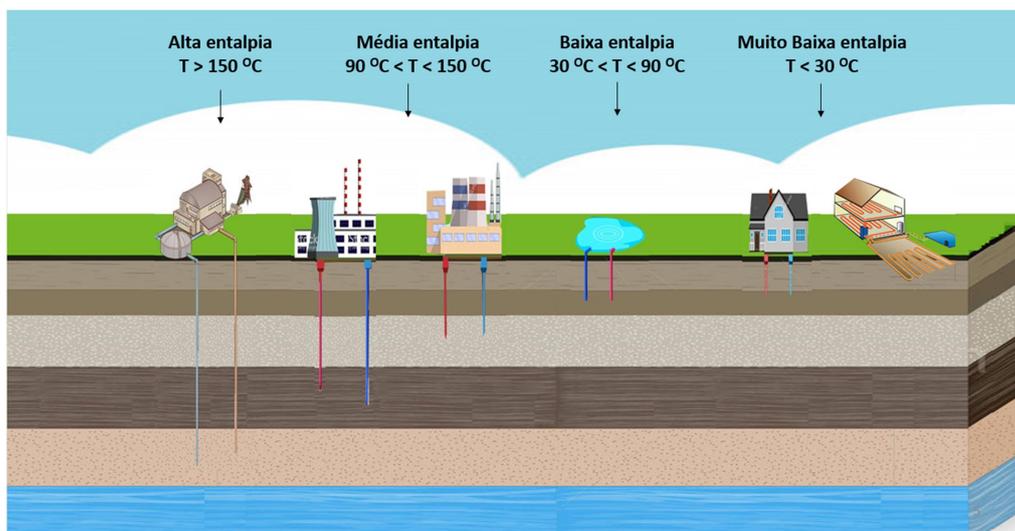
I - Alta entalpia ( $T > 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): utilizada na produção de energia elétrica em indústrias para secagem de produtos, refrigeração, lavagem, etc.

II - Média entalpia ( $90\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): utilizada em indústrias para secagem de produtos, refrigeração, destilação, etc.

III - Baixa entalpia ( $30\text{ }^{\circ}\text{C} < T < 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): utilizada na agricultura e alimentação, lazer e saúde para aquecimento de estufas, aquicultura, centros de lazer, etc.

IV - Muito baixa entalpia ( $T < 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ): utilizada em habitações para climatização e aquecimento de águas para usos residenciais (OMIDO; BARBOZA; JÚNIOR, 2017).

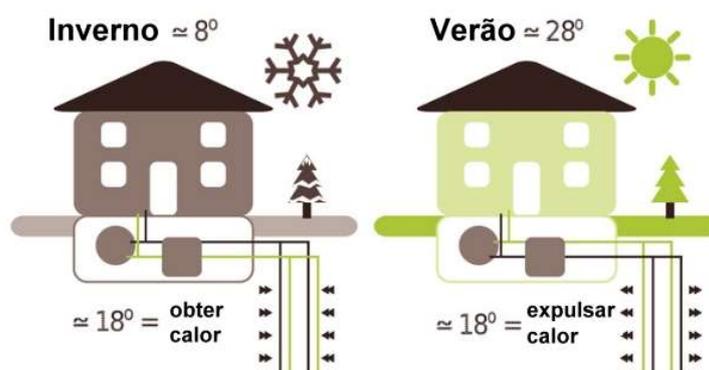
**Figura 1: Classificação da energia geotérmica. Fonte: Autor, 2024.**



De acordo com Musskopf (2006), as camadas superficiais da terra são aquecidas por meio da condução da radiação solar após absorvidas. Logo, as camadas com profundidades inferiores a 1 metro possuem uma variação de temperatura diária. E as camadas com até 20 metros sofrem variações anuais.

Deste modo, em pequenas profundidades a temperatura do solo permanece estável, permitindo que ela atue como um dissipador de calor no verão (período onde a temperatura do solo encontra-se menor que a do ambiente externo), e atue como uma fonte de calor no inverno (período onde a temperatura do solo será maior que a do ambiente externo), como mostra a Figura 2 (Webb; Freitas, 2012).

**Figura 2: Diferença de temperatura entre o solo e o ambiente. Fonte: Greenphase, 2022.**



O uso da geotermia de muito baixa entalpia ( $T < 30^{\circ}\text{C}$ ), é conhecida por Geotermia Superficial (GS) (VIEIRA, 2019). O uso dela na climatização (aquecimento e arrefecimento) e no aquecimento de águas sanitárias (AQS) é feito a partir de bombas de calor geotérmicas (RIO, 2011).

As bombas de calor são os equipamentos que fazem o aproveitamento e transferência do calor armazenado a poucos metros de profundidade da superfície da terra, permitindo o aquecimento e arrefecimento (TAVARES, 2011). No Inverno, a água glicolada transporta o calor da Terra para o grupo geotérmico e este eleva a temperatura e aquece as habitações e as águas sanitárias. No caso do Verão, como a temperatura do subsolo é inferior à do ar, consegue-se resfriar as habitações (RIO, 2011).

## OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para a divulgação e incentivo do uso de energia limpa e renovável. Para isso, foi analisado o comportamento da temperatura do subsolo a partir de um sistema instalado em Caarapó – MS em diferentes profundidades.

O objetivo específico deste trabalho foi monitorar o comportamento da temperatura na superfície e no subsolo em 4 (quatro) profundidades diferentes: 1,5 metros; 3,5 metros; 4,5 metros e 6,0 metros, iniciando, assim, o levantamento de informações necessárias para a composição de uma base de dados de forma a contribuir na elaboração de projetos para a utilização da Energia Geotérmica em nossa região.

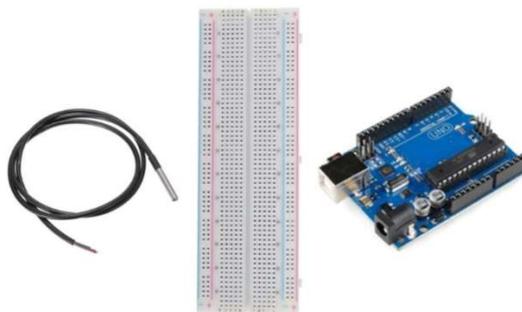
## METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos, foi realizado no dia 22 de setembro de 2023 a montagem e instalação do dispositivo para coletar e armazenar dados da temperatura ambiente e do subsolo. Foi escolhida para a montagem do sistema de monitoramento de temperatura a cidade de Caarapó localizada no estado de Mato Grosso do Sul. O município possui aproximadamente 30.612 habitantes, com latitude: 22° 37' 47" Sul e longitude: 54° 49' 31" Oeste (IBGE, 2022).

De acordo com Escritório de Parcerias estratégicas (EPE) (2020), a cidade apresenta um clima do subtipo Cfa (subtropical úmido, mesotérmico, com inverno brando e verão quente), a temperatura média do mês mais frio é inferior a 10 °C e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C. As profundidades do subsolo analisadas seriam de 1,5 m, 3,5 m, 4,5 m e 6,0 m, sendo que nas camadas superficiais tem-se a ocorrência da Energia Geotérmica Superficial.

Para a coleta da temperatura, foi utilizado o sensor DS18B20 (Figura 3), adequado para condições de solo saturado ou submerso, e instalado em diferentes profundidades. Este sensor possui uma ponteira metálica para leitura de temperatura e três fios, utilizados para transmissão de dados, fornecimento de energia e neutro do sistema.

**Figura 3: Sensor de Temperatura DS18B20, Protoboard de 830 furos e Arduino UNO, respectivamente. Fonte: MakerHero, 2024.**



A coleta e armazenamento dos dados de temperatura foram realizados com o Arduino UNO R3, conectado a outros componentes por meio de uma protoboard de 830 furos e jumpers macho-macho. Os componentes conectados incluem o sensor DHT11, responsável por medir a temperatura e umidade ambiente, o RTC DS3231, que fornece a data e a hora das leituras realizadas a cada cinco minutos, e o módulo de leitura de micro cartão SD para armazenamento dos dados coletados. O sistema incorpora quatro sensores DS18B20, e todos os elementos estão representados na Figura 4.

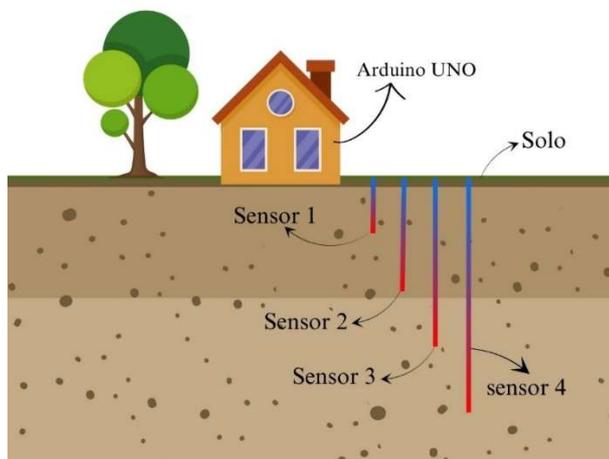
**Figura 4: DHT11, Módulo leitor micro cartão SD, RTC DS3231 e Jumpers Macho-Macho, respectivamente. Fonte: MakerHero, 2024.**



Realizou-se a conexão dos sensores com os tubos de PVC 3/4", cada qual com seu respectivo comprimento (1,5m, 3,5m, 4,5m e 6,0m), para que assim, obtivessem maior estabilidade quando inseridos no solo. Nesta etapa, utilizou-se caps de PVC de 3/4" e tubos de PVC 3/4". Foi feito um orifício em cada cap com diâmetro correspondente ao da ponteira metálica do sensor, para que fosse inserido e fixado com cola de cano PVC.

Dessa forma, com a configuração dos sensores de temperatura prontos para serem efetivamente instalados, foi realizada a abertura dos furos, onde foram inseridas as tubulações com os sensores em sua extremidade.

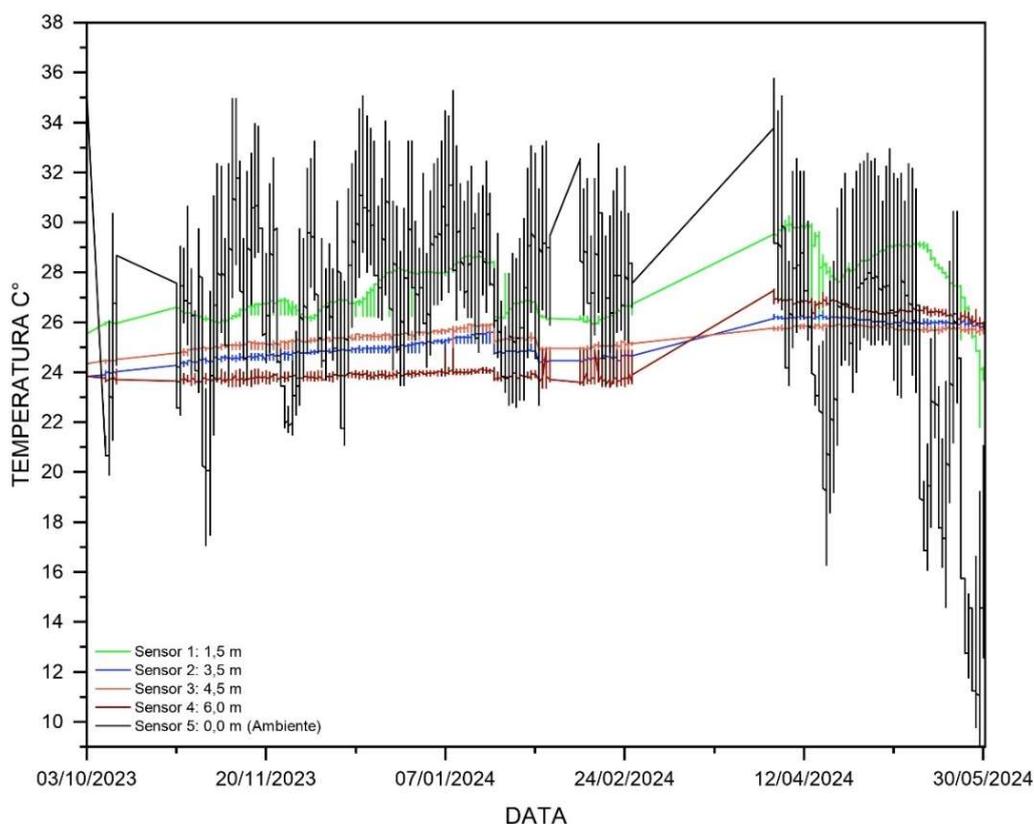
Figura 5: Esquema do posicionamento do Arduino UNO e sensores DS18B20. Fonte: Autor, 2024.



## RESULTADOS

Os dados obtidos no monitoramento das temperaturas do subsolo de Caarapó-MS que foi realizada no período de 03 de outubro de 2023 à 30 de maio de 2024, permitiu realizar análises do comportamento da temperatura no subsolo, utilizando em conjunto o software Origin Pro. É possível observar na Figura 6 todo o período de funcionamento do sistema (7 meses).

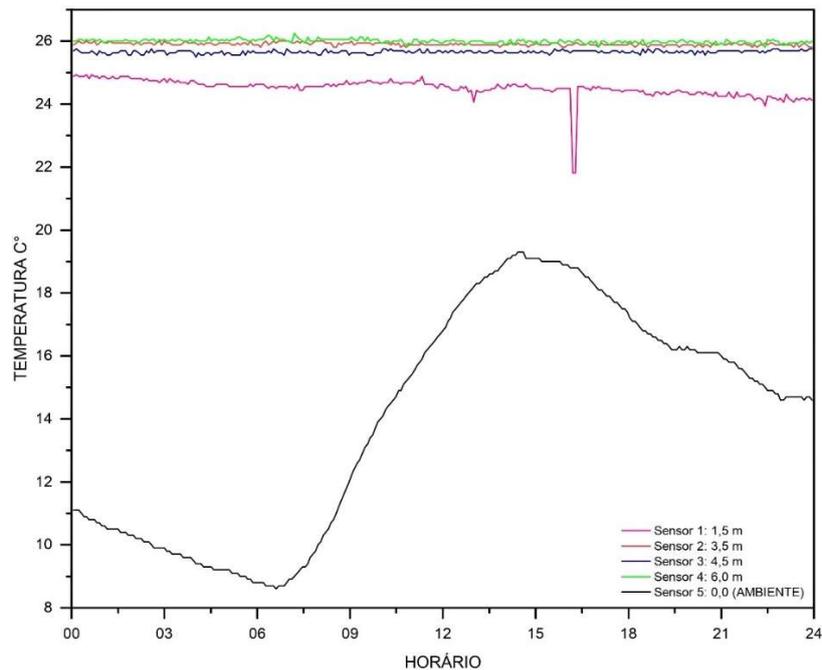
Figura 6: Variação da temperatura coletada do subsolo de Caarapó-MS. Fonte: Autor, 2024.



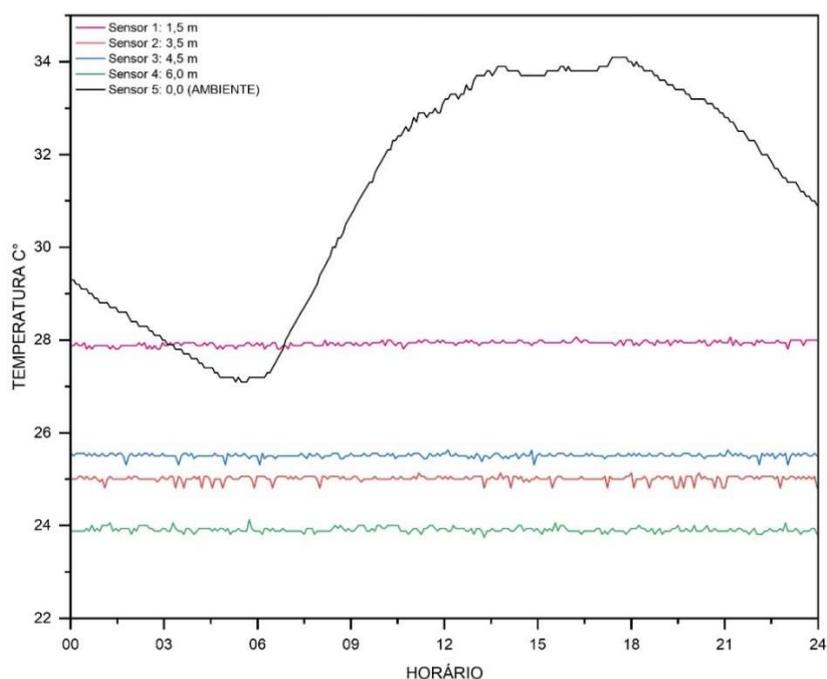
Com a Figura 6 percebe que a variação de temperatura do subsolo em maiores profundidades é praticamente imperceptível, mesmo exposto a longas horas de radiação solar. Nota-se que à 1,5 metros de profundidade houve uma pequena variação no decorrer do dia, enquanto que à 6 metros se tornam quase imperceptível essa variação.

Nas Figuras 7 e 8, percebe que em um ciclo diário a variação de temperatura do subsolo é praticamente imperceptível, mesmo exposto a longas horas de radiação solar. Nota-se que à 1,5 metros de profundidade houve uma pequena variação no percorrer do dia, enquanto que à 4 e 6 metros praticamente não houve variação. A mudança de temperatura em um dia frio e em um dia ensolarado fica mais evidente na superfície (temperatura ambiente), no entanto, analisando as demais camadas do subsolo (3,5 m; 4,5 m; 6,0 m) é possível observar que a temperatura permanece praticamente a mesma nos dois dias, variando de 24,00 °C a 26,00 °C.

**Figura 7: Análise diária do comportamento da temperatura do subsolo durante um dia frio (29/05/2024). Fonte: Autor, 2024.**



**Figura 8: Análise diária do comportamento da temperatura do subsolo durante um dia ensolarado (22/12/2023). Fonte: Autor, 2024.**



Nota-se variações mais acentuadas para pequenas profundidades, as quais apresentam maior sensibilidade durante o ano justamente por estarem próximas à superfície. Enquanto que a profundidades maiores observamos menores amplitudes térmicas. Os dados apresentados acima revelam a grande estabilidade térmica que o subsolo apresenta, visto que com o aumento da profundidade notamos amplitudes térmicas cada vez menores, indicando o solo como uma grande fonte e armazenamento de calor, assim como descrito por Lopes (2014) e Omido (2021). Enquanto a temperatura ambiente sofreu uma amplitude térmica de 27,20 °C, na profundidade de 6.0 metros a amplitude durante o período analisado foi de 4,00 °C. O Quadro 1 apresenta a temperatura máxima e mínima de cada profundidade.

**Quadro 1: Temperaturas máximas e mínimas apresentadas pelos sensores. Fonte: Autor, 2024.**

Profundidade (m)	Temperatura (°C)			
	Máxima	Mínima	Amplitude	Média
0,0	35,80	8,60	27,20	22,20
1,5	30,31	21,81	8,50	26,06
3,5	26,56	23,81	2,75	25,19
4,5	26,06	24,38	1,68	25,22
6,0	27,38	23,38	4,00	25,38

É válido ressaltar que a temperatura média nos 6 metros de profundidade ficou em aproximadamente 24,62 °C, ficou acima da temperatura média da região, que é de 22,00 °C segundo o INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Esse fato pode ser explicado pelo período que se realizaram as coletas de temperatura (verão).

Com as temperaturas coletadas durante todo os sete meses, foram determinadas as médias mensais da temperatura do subsolo, como é apresentado no Quadro 2 abaixo:

**Quadro 2: Temperaturas médias mensais do subsolo de Caarapó-MS. Fonte: Autor, 2024.**

Profundidade (m)	TEMPERATURAS (°C)						
	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Abr.	Mai.
0,0	25,87	26,99	28,61	28,51	28,52	26,97	22,84
1,5	26,31	26,48	27,24	27,69	26,30	28,86	28,04
3,5	24,24	24,65	24,97	25,21	24,57	26,21	26,01
4,5	24,73	25,14	25,45	25,62	25,07	25,87	25,76

6,0	23,75	23,79	23,92	23,99	23,82	26,74	26,37
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Observando o Quadro 2 é possível verificar dentre as médias de temperatura a variação para cada profundidade que ocorre em período distintos. Para avaliação do potencial geotérmico, é imprescindível essa defasagem, visto que exatamente na profundidade de 6 metros o menor valor da média da temperatura ocorre no mês de outubro, momento que a temperatura ambiente começa a aumentar, já que estamos nos aproximando do verão, justamente quando a necessidade é dissipar calor do ambiente da edificação para o solo, e assim arrefecê-lo.

## CONCLUSÕES

A verificação do comportamento da temperatura no subsolo de Caarapó-MS, durante o período de 7 meses, validou ser o subsolo grande fonte e armazenamento de energia, devido sua alta estabilidade e poder de renovação de temperatura. Assim como já observado Webb e Freitas (2012), em pequenas profundidades a temperatura do solo permanece estável, permitindo que ela atue como dissipador e fonte de calor.

O estudo atingiu seu objetivo de traçar o perfil da temperatura do subsolo. O procedimento usado para realizar a coleta e armazenamento dos dados demonstrou-se eficiente, uma vez que foi possível medir a temperatura ambiente e a temperatura de diferentes profundidades.

Por meio dos dados obtidos verificou-se uma diferença de temperatura relevante entre o ambiente e as demais profundidades do subsolo, fator principal para o funcionamento do sistema de bomba de calor. Ademais, constatou-se a estabilidade da temperatura a 4,5 m e 6,0 m de profundidade, demonstrando assim o potencial para ser utilizado como fonte de calor.

As mínimas variações diárias das camadas e a baixa amplitude térmica da temperatura do subsolo, o configura para ser utilizado no verão como dissipador de energia e no inverno uma fonte de energia, podendo assim aquecer o ambiente interno da edificação no inverno e arrefecer no verão. Dessa maneira, a Energia Geotérmica Superficial aponta ser uma alternativa para o futuro, já que é uma fonte limpa e renovável de energia.

No que se refere a estudos futuros, propõem-se a realização de um estudo comparativo entre outras fontes limpas de energia (painéis solares, energia eólica, etc.) e a geotermia, analisando consumo e custos aplicados na construção civil. Inclusive, recomenda-se a realização de estudos em outros tipos de solos, testando diferentes saturações e composições mineralógicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica**. 3. ed – Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: [https://www.fisica.net/energia/atlas\\_de\\_energia\\_eletrica\\_do\\_brasul\\_3a-ed.pdf](https://www.fisica.net/energia/atlas_de_energia_eletrica_do_brasul_3a-ed.pdf). Acesso em 02 de nov. 2023.
2. BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). **Agenda 2030 - ODS - Metas nacionais dos objetivos de desenvolvimento sustentável: proposta de adequação**. Brasília, IPEA: 2018. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/portal/publicacoes>. Acesso em: 12 nov. 2023.
3. FERREIRA, A. C.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. et al. **Revisão sistemática e patentária sobre geotermia aplicada a sistemas de resfriamento de edificações em clima tropical**. E&S Engineering and Science, v. 12, ed. 12:2, 2023. DOI 10.18607/ES20231216064. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/16064/12480>. Acesso em: 3 nov. 2023.
4. Geotermia: O que é a Geotermia?. **Greenphase**, 2022. Disponível em: <https://greenphase.pt/servicos/geotermia/>. Acesso em: 28 jun. 2024.
5. GOVERNO DO ESTADO DE MATO GROSSO DO SUL. **MODELAGEM TÉCNICA: Estudos de Engenharia, Ambiental e Social. EPE Segov**, 2020. Disponível em: <https://www.epe.segov.ms.gov.br/wp-content/uploads/2020/01/16.-Caarap%C3%B3.pdf>. Acesso em: 22 mar. 2024.
6. IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Caarapó. **gov.br**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ms/caarapo/panorama>. Acesso em: 20 mar. 2024.
7. MAKERHERO. Disponível em: <https://www.makeherhero.com/>. Acesso em: 18 jan. 2024.
8. MUSSKOPF, D. B.. **Estudos exploratórios sobre ventilação natural por tubos enterrados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/11803/000614153.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 27 dez. 2023.
9. OMIDO, A. R.; BARBOZA, C. S.; JÚNIOR, O. M.. **ENERGIA GEOTÉRMICA: UMA ALIADA NA BUSCA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA**. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental – CONGEA, Campo

- Grande, MS, 29 de nov. 2017. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-005.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2023.
10. OMIDO, A. R.; BARBOZA, C.S.; SANCHES, É. S.; SANCHES, Í. S.; PRETTO, T. R.. **ESTUDOS INICIAIS PARA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA NA CLIMATIZAÇÃO DE EDIFÍCIOS**. In: IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental São Bernardo do Campo/SP - CONGEA, São Bernardo do Campo - SP, 29 nov. 2018. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/X-007.pdf>. Acesso em: 3 nov. 2023.
  11. RIO, J. P. T. E. **Geotermia e Implicações nas Tecnologias da Construção: Estudo de Caso**. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2011. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/302911547.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2023.
  12. SCHULTZ, A. M. B.; DALLAVECHIA, G. S. O. ENERGIAS RENOVÁVEIS E SUSTENTABILIDADE: UMA REVISÃO. **Salão do Conhecimento**, [S. l.], v. 8, n. 8, 2022. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/22339>. Acesso em: 12 nov. 2023.
  13. TAVARES, J. C.. **Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em Edifícios**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2011. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/19983/1/Tese-Juv%c3%aancio%20%281%29.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2023.
  14. VIEIRA, A. C.; ANDRÈS, B. D.; GOMES, L. M. F. et al. **CONTRIBUIÇÕES PARA A UTILIZAÇÃO DE ENERGIA GEOTÉRMICA NO BRASIL**. In: TULLIO, F. B.M.. **Engenharia de construção civil e urbana**. Ponta Grossa - PR: Atena, 2019. ISBN 978-85-7247-852-6. Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/post/contribuicoes-para-a-utilizacao-de-energia-geotermica-o-brasil>. Acesso em: 4 nov. 2023.
  15. WEBB, P. B.; FREITAS, T. M. B.. **Considerações geotécnicas no dimensionamento e exploração de fundações com aproveitamento geotérmico**. In: XIII Congresso Nacional de Geotecnia, 2012, Lisboa, Portugal. Anais (Online). Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Peter-Bourne-Webb/publication/303340243\\_Consideracoes\\_geotecnicas\\_no\\_dimensionamento\\_e\\_exploracao\\_de\\_fundacoes\\_com\\_aproveitamento\\_geotermico-The\\_geotechnics\\_of\\_ground\\_source\\_energy\\_systems/links/573d965d08aea45ee842b3a9/Consideracoes-geotecnicas-no-dimensionamento-e-exploracao-de-fundacoes-com-aproveitamento-geotermico-The-geotechnics-of-ground-source-energy-systems.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Peter-Bourne-Webb/publication/303340243_Consideracoes_geotecnicas_no_dimensionamento_e_exploracao_de_fundacoes_com_aproveitamento_geotermico-The_geotechnics_of_ground_source_energy_systems/links/573d965d08aea45ee842b3a9/Consideracoes-geotecnicas-no-dimensionamento-e-exploracao-de-fundacoes-com-aproveitamento-geotermico-The-geotechnics-of-ground-source-energy-systems.pdf). Acesso em: 27 dez. 2023.