

**Prelúdio para utilização da energia geotérmica superficial na climatização do ambiente  
construído na Cidade de Naviraí, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil**

**A prelude to the utilization of surface geothermal energy in the climatization of the  
constructed environment in the City of Naviraí, Mato Grosso do Sul State, Brazil**

**Preludio al uso de energía geotérmica superficial en la climatización del ambiente  
construido en la Ciudad de Naviraí, Estado del Mato Grosso do Sul, Brasil**

Recebido: 28/09/2020 | Revisado: 30/09/2020 | Aceito: 03/10/2020 | Publicado: 04/10/2020

**Ítalo Sabião Sanches**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3212-6199>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: [italosabiao@hotmail.com](mailto:italosabiao@hotmail.com)

**Édipo Sabião Sanches**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0783-772X>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: [ediposabiao@hotmail.com](mailto:ediposabiao@hotmail.com)

**Agleison Ramos Omido**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0014-8537>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: [agleisonomido@ufgd.edu.br](mailto:agleisonomido@ufgd.edu.br)

**Christian Souza Barboza**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0316-7626>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: [christianbarboza@ufgd.edu.br](mailto:christianbarboza@ufgd.edu.br)

**Rodrigo Aparecido Jordan**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4461>

Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

E-mail: [rodrigojordan@ufgd.edu.br](mailto:rodrigojordan@ufgd.edu.br)

**Resumo**

O aumento populacional tem acelerado o consumo de energia elétrica, gerada principalmente por meio de fontes não renováveis. A iminente escassez dessas fontes, aliada à intensificação

da emissão de gases do efeito estufa na atmosfera, gera uma preocupação quanto ao suprimento da demanda energética do país. Investir em fontes renováveis de energia é essencial para modificar essa matriz energética, além de melhorar a matriz elétrica do País. O presente trabalho busca expandir os estudos da Energia Geotérmica Superficial, ainda pouco difundida no Brasil, realizando o monitoramento da temperatura do solo da cidade de Naviraí/MS nas profundidades: 0,0m (temperatura ambiente), 2,0m, 4,0m e 6,0m. As medidas foram executadas com a utilização de metodologia própria, e os resultados mostraram que a temperatura do solo tende à estabilidade à medida que se aumenta a profundidade, expondo sua característica de grande fonte de armazenamento de calor, o que o credencia a ser utilizado como um dissipador de calor no verão e uma fonte de calor no inverno. Os estudos apresentaram uma estabilidade da temperatura no valor de 25,6°C a uma profundidade de 6,0 metros, uma difusividade térmica de  $0,468 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  e uma velocidade de propagação da onda de temperatura de  $0,744 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  para o solo Latossolo Vermelho da região analisado.

**Palavras-chave:** Energia geotérmica superficial; Estabilidade térmica; Fonte/Dissipador de calor.

### **Abstract**

Population growth has accelerated the consumption of electricity, generated mainly from non-renewable sources of energy. The imminent scarcity of these sources, together with the intensification of the emission of greenhouse gases has led to concern about meeting the country's energy needs. Investing in renewable sources of energy is essential to modifying this energy matrix and improving the country's electrical grid. This work seeks to expand studies of Surface Geothermal Energy, which remains relatively unknown in Brazil, by monitoring the ground temperature of the city of Naviraí, MS at depths of 0.0 m (ambient temperature), 2.0 m, 4.0 m, and 6.0 m. The measurements were made using our own methodology, and the results show that the ground temperature tends to be stable as depth increases, which illustrates its great capacity to store heat, making it useful in dissipating heat in the summer and also as a source of heat in winter. Our studies show a stable temperature of 25.6°C at a depth of 6.0 meters, thermal diffusivity of  $0.468 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \times \text{s}^{-1}$ , and a temperature wave propagation velocity of  $0.744 \times 10^{-6} \text{ m} \times \text{s}^{-1}$  to the red oxisol soil in the analyzed region.

**Keywords:** Surface geothermal energy; Thermal stability; Source/Dissipator of heat.

## Resumen

El crecimiento poblacional ha acelerado el consumo de energía eléctrica, generada principalmente a través de fuentes no renovables. La inminente escasez de esas fuentes, sumada a la intensificación de la emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, suscita preocupación en cuanto al abastecimiento de la demanda energética del país. Invertir en fuentes de energía renovable es fundamental para modificar esta matriz energética, además de mejorar la matriz eléctrica del país. El presente trabajo busca expandir los estudios de Energía Geotérmica Superficial, aún poco difundida en Brasil, mediante el monitoreo de la temperatura del suelo de la ciudad de Naviraí, MS en las profundidades: 0,0m (temperatura ambiente), 2,0; 4,0 y 6,0 m. Las mediciones se llevaron a cabo con la utilización de metodología propia, y los resultados mostraron que la temperatura del suelo tiende a estabilizarse a medida que aumenta la profundidad, poniendo de manifiesto su característica de gran fuente de almacenamiento de calor, lo que lo califica para ser utilizado como un disipador de calor en verano y una fuente de calor en invierno. Los estudios mostraron una estabilidad de temperatura de 25,6°C a una profundidad de 6,0 metros, una difusividad térmica de  $0,468 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  y una velocidad de propagación de la onda de temperatura de  $0,744 \cdot 10^{-6} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en el suelo Latosol Rojo analizado en la región.

**Palabras clave:** Energía geotérmica superficial; Estabilidad térmica; Fuente/Disipador de calor.

## 1. Introdução

O Brasil apresenta, atualmente, aproximadamente 53,9% de sua matriz energética de origem não renovável. A nível mundial, a participação das fontes não renováveis na matriz energética é ainda maior, atingindo o patamar de 86,1% do total (Empresa de Pesquisa Energética [EPE], 2020a). A dependência por essas fontes de energia gera preocupação no suprimento da demanda energética, por tratarem-se de recurso finito e, conseqüentemente, escasso em um futuro próximo (Kanbur et al., 2001; Omido, Barboza & Moreira Júnior, 2017; Omido, Barboza, Sanches & Sanches, 2019).

Nos últimos anos, as mudanças climáticas se intensificaram com a emissão de gases do efeito estufa (GEE) resultantes do uso de fontes não renováveis (Pereira, Horn & Dos Santos, 2010). Segundo o Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2018), o aquecimento causado por esses gases serão responsáveis por elevar em 1,5°C a temperatura média global entre os anos de 2030 e 2050. Nesse contexto, se faz necessária a busca por

fontes de energia renováveis para suprir a demanda energética no mundo (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2017).

A implantação de tecnologias que visam poupar energia requer uma troca por investimentos iniciais mais elevados e economia futura com os custos de energia (Wada, Akimoto, Sano, Oda & Homma, 2012). Nesse sentido, a busca pela eficiência energética no ambiente construído é essencial para proporcionar condições ambientais menos agressivas, uma vez que favorece a economia de energia e contribui para redução das emissões de CO<sub>2</sub> sem interferir na qualidade de vida da sociedade (Pilkington, Roach & Perkins, 2011; Wada et al., 2012).

O cenário da matriz elétrica brasileira também precisa de uma certa cautela, uma vez que, do total de energia elétrica consumida no Brasil, somente os setores residencial e comercial são responsáveis pelas parcelas de 26,1% e 17,4%, respectivamente (EPE, 2020b), sendo fundamental promover uma versatilidade nas fontes renováveis de energia.

Nesse sentido, uma das opções para reduzir esse consumo e, simultaneamente, garantir o conforto térmico das edificações, é fazer uso da energia armazenada no subsolo na forma de calor com auxílio de bombas de calor geotérmicas (Omido et al., 2017; Santa et al., 2020).

### 1.1 Energia geotérmica superficial

A energia que se encontra armazenada na forma de calor abaixo da superfície terrestre é conhecida como Energia Geotérmica (Barbier, 2002; Galiano, 2014). A ela atribui-se o caráter de energia limpa e renovável, estando disponível para uso independente da estação do ano (Rabelo, De Oliveira, De Rezende & Wendland, 2002; Vosgueritchian, 2006).

A Energia Geotérmica pode ser dividida em quatro grupos quanto ao seu nível de entalpia, conforme Quadro 1.

**Quadro 1** - Classificação da Energia Geotérmica.

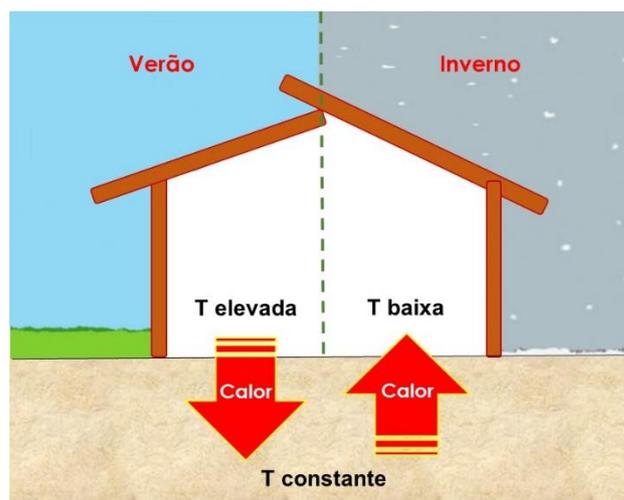
<i>Energia Geotérmica</i>	<i>Temperatura (°C)</i>
Muita Baixa Entalpia	$T < 30$
Baixa Entalpia	$30 < T < 90$
Média Entalpia	$90 < T < 150$
Alta Entalpia	$T > 150$

Fonte: Adaptado de Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) (2012).

Conforme observado, é importante ressaltar a respeito de sua aplicabilidade, os pontos extremos da temperatura ( $T > 150^{\circ}\text{C}$  e  $T < 30^{\circ}\text{C}$ ) que caracterizam a Energia Geotérmica. Para temperatura acima de  $150^{\circ}\text{C}$ , a Energia Geotérmica de alta entalpia é utilizada para geração de energia elétrica. Para temperatura inferiores a  $30^{\circ}\text{C}$ , a Energia Geotérmica de muito baixa entalpia, também chamada de Energia Geotérmica Superficial, tem sua aplicação voltada para o aquecimento e arrefecimento de ambientes por meio do uso de bombas de calor geotérmicas, para climatização de ambientes agrícolas, fins recreativos e de lazer (IDAE, 2012).

O solo, à pequenas profundidades, apresenta um regime térmico estacionário, com valores de temperatura praticamente constantes, inferior à máxima e superior à mínima da região, o que permite utilizá-la como fonte/dissipador de calor (Rio, 2011) como apresentado na Figura 1.

**Figura 1** - Representação gráfica da troca de energia entre o solo e o ambiente construído.

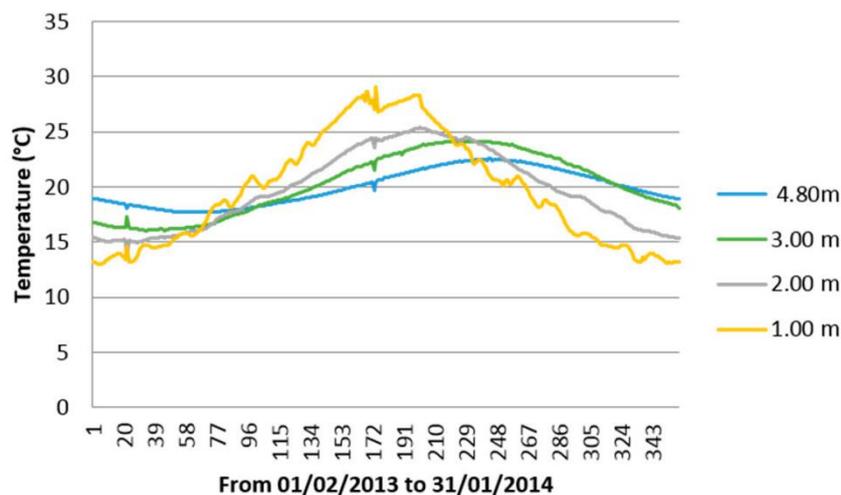


Fonte: Autor (2020).

Assim, percebe-se o arrefecimento do ambiente construído no verão, em que o calor é transferido do espaço a ser climatizado para o solo. No inverno, nota-se uma inversão, em que o calor passa a ser transferido do solo para o espaço a ser climatizado, uma vez que no verão a temperatura do solo encontrar-se-á menor que a temperatura ambiente, e no inverno a temperatura do solo encontrar-se-á maior que a temperatura ambiente (Webb & Freitas, 2012; Santa et al., 2020).

Estudos conduzidos por Márquez, Bohórquez e Melgar (2016) revelam as baixas amplitudes térmicas apresentadas pelo subsolo, conforme Figura 2.

**Figura 2** - Temperatura do solo à pequenas profundidades.



Fonte: Adaptado de Márquez et al. (2016).

Dessa forma, observa-se o comportamento térmico do solo para as profundidades de 1,00m, 2,00m, 3,00m e 4,80m, pelos quais pode-se perceber a redução da amplitude térmica com o aumento da profundidade, constatando a ocorrência de temperaturas cada vez mais constantes a medida em que as camadas se tornam mais distantes da superfície do solo.

Segundo Vilela (2004), o uso da Energia Geotérmica Superficial é uma estratégia promissora para o condicionamento térmico do ambiente construído, e, em concordância, Ferreira (2013) afirma que em qualquer região a temperatura do solo em pequenas profundidades permanece constante, o que potencializa a utilização da Energia Geotérmica Superficial.

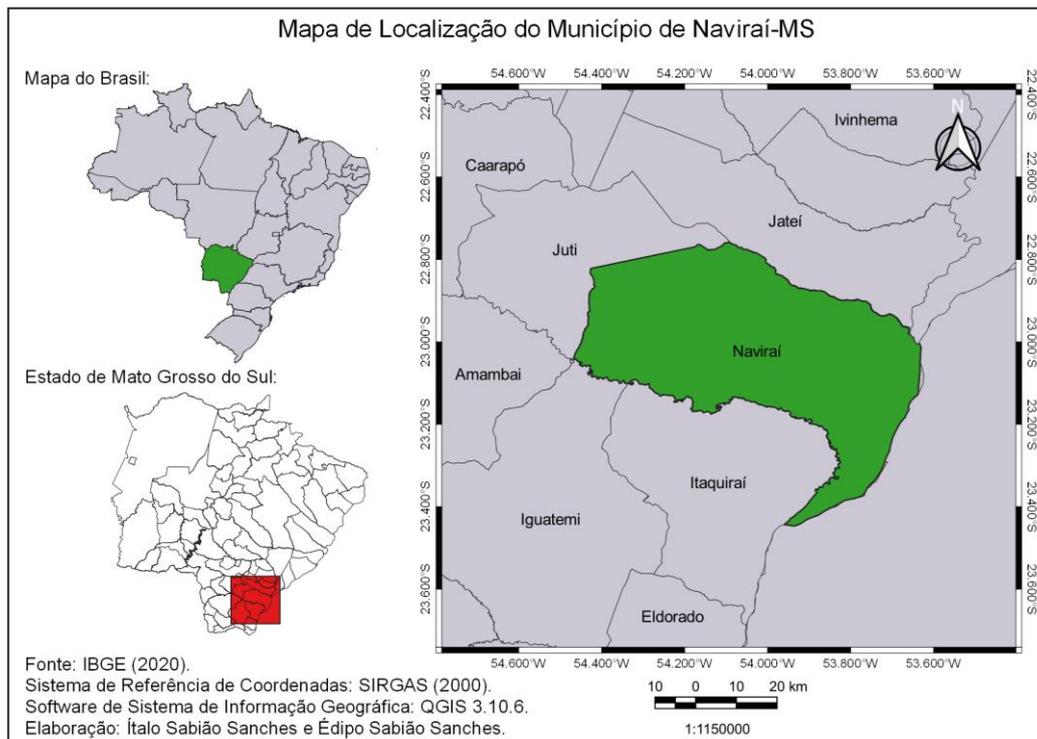
O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento térmico do subsolo da cidade de Naviraí/MS, a fim de iniciar a construção de uma base de dados geotérmicos para utilização da energia geotérmica no aquecimento e resfriamento de edificações, aproveitando a estabilidade térmica do subsolo, difundida na literatura por estudos conduzidos por Ferreira (2013), Florides e Kalogirou (2005), Márquez et al. (2016) e Rio (2011), entre outros. Essa base de dados é fundamental no suprimento de subsídios necessários à projeto e execução de sistemas geotérmicos destinados à climatização de edifícios.

## 2. Metodologia

O presente estudo foi realizado na cidade de Naviraí, Mato Grosso do Sul, Brasil, localizada na micro região de Iguatemi, 23° 03' 45" de Latitude Sul e 54° 11' 26" de Longitude Oeste (Figura 3). Naviraí encontra-se a 355 Km da capital do estado, Campo

Grande, e a uma altitude de 362 metros. A cidade apresenta um clima tropical de altitude, caracterizado pelo verão chuvoso e inverno seco (Naviraí, 2018), com precipitação pluviométrica média anual de 1000 a 1200 milímetros e temperatura média anual variando de 24°C a 26°C (Instituto Nacional de Meteorologia [INMET], 2019a, 2019b).

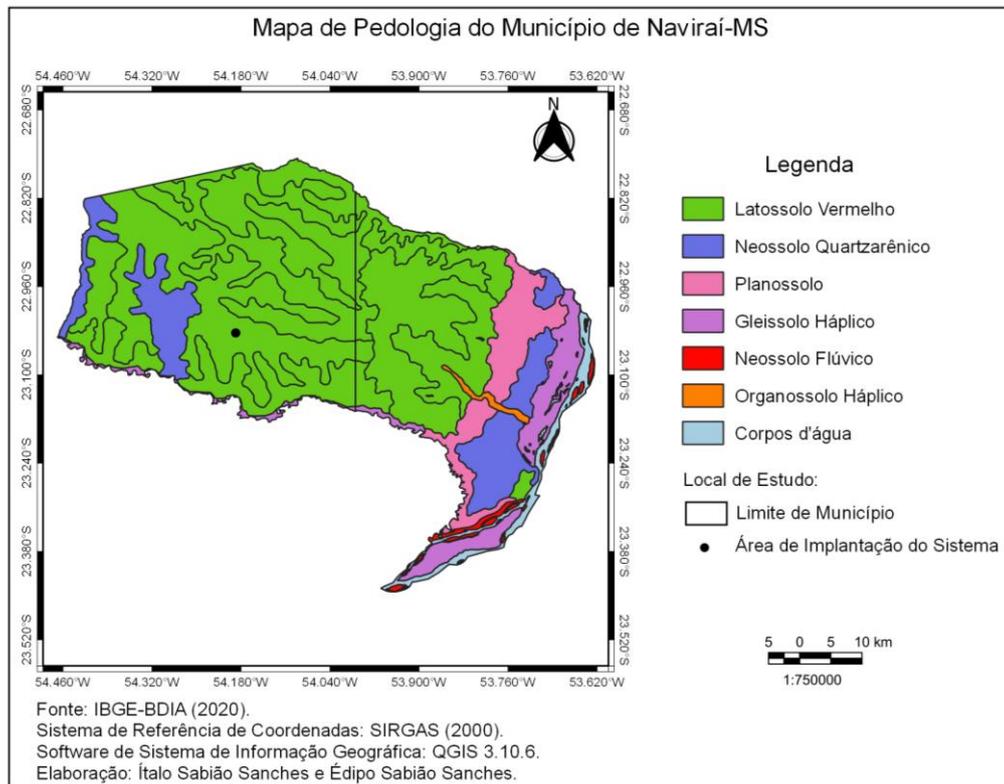
**Figura 3 - Mapa de Localização do Município de Naviraí-MS.**



Fonte: Autor (2020).

O solo predominante é do tipo Latossolo Vermelho Escuro (69,85%) (Naviraí, 2018; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Banco de Dados de Informações Ambientais [IBGE-BDIA], 2020). O município apresenta também uma parcela de solo Neossolo Quartzarênico (12,06%), Planossolo (7,23%), Gleissolo Háplico (6,48%), Neossolo Flúvico (0,95%), Organossolo Háplico (0,52%) e corpos d'água (2,91%) (IBGE-BDIA, 2020). As análises da temperatura do subsolo foram realizadas em solo Latossolo Vermelho Escuro, conforme ilustra a Figura 4.

**Figura 4 - Mapa dos tipos de solo de Naviraí-MS.**



Fonte: Autor (2020).

Haja vista a necessidade de aquisição de dados numéricos de temperaturas do solo com auxílio de sensores digitais, e posterior análise dos mesmos com utilização de técnicas matemáticas (métodos analíticos) a fim de avaliar o comportamento térmico do solo, optou-se por utilizar o método quantitativo, conforme descrito por Pereira, Shitsuka, Parreira & Shitsuka (2018).

A coleta dos valores de temperatura do subsolo de Naviraí-MS foi realizada na superfície do terreno à 0,0m (ambiente) e nas profundidades de 2,0m, 4,0m e 6,0m, com o propósito de monitorar, através de uma metodologia própria, os valores dessa grandeza e verificar a difundida estabilidade térmica do subsolo, estabelecendo, para a região, a que profundidade ela ocorre. Também foi determinado a difusividade térmica do solo ( $\alpha$ ) pelo método da amplitude, em  $m^2.s^{-1}$ , conforme equação 1:

$$\alpha = \frac{\omega}{2} \times \left( \frac{(Z_2 - Z_1)^2}{[\ln(A_1/A_2)]^2} \right) \quad \text{Equação 1}$$

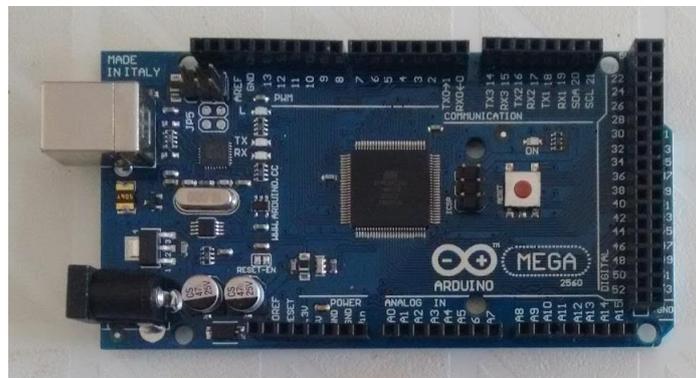
As amplitudes representadas por  $A_1$  e  $A_2$  nas profundidades  $Z_1$  e  $Z_2$ , respectivamente, são obtidas através da diferença entre as temperaturas máxima e média anual em cada

profundidade. A frequência angular ( $\omega$ ) é obtida em relação ao ciclo de 4 meses analisado. O método em questão foi empregado devido sua confiabilidade evidenciada por diversos autores (Rao, Da Silva & Moreira, 2005; Verhoef, Van Den Hurk, Jacobs & Heusinkveld, 1996). A partir da difusividade térmica foi possível determinar a velocidade de propagação da onda de temperatura ( $V$ ), em  $m.s^{-1}$ , utilizando a equação 2:

$$V = \sqrt{2 \cdot \omega \cdot \alpha} \quad \text{Equação 2}$$

O instrumento desenvolvido para a aquisição de dados consistiu em uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única, o Arduino Mega 2560 (Figura 5), configurado em linguagem C/C++, que permite organizar as informações de maneira lógica e prática. É importante realçar que, dentre as muitas placas existentes, a placa de Arduino Mega 2560 R3 foi a escolhida, pelo fato de a mesma conter 54 entradas/saídas digitais somados à 16 analógicas decorrentes da presença de seu micro controlador Atmega 2560 16-AU, sendo essencial para efetivação do projeto.

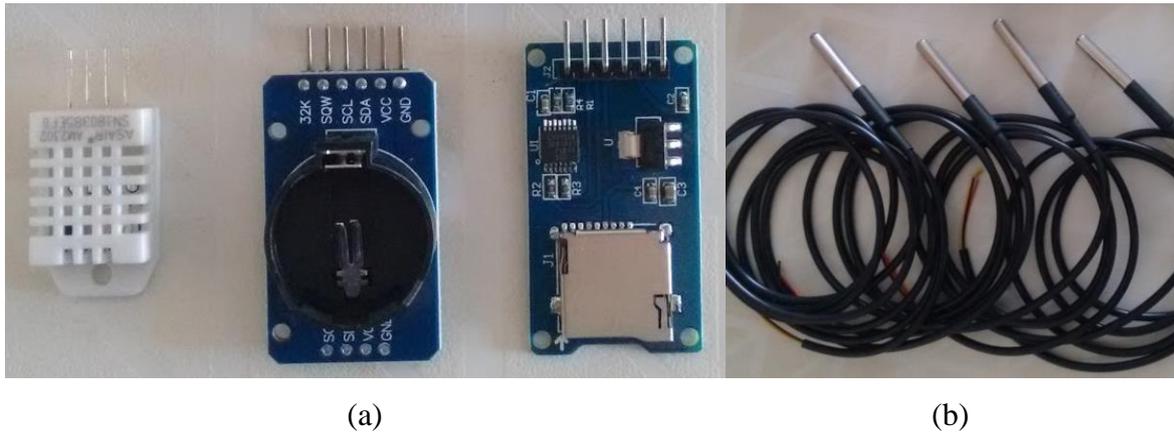
**Figura 5** - Temperatura do solo à pequenas profundidades.



Fonte: Autor (2020).

Acoplada ao arduino encontra-se uma placa protoboard de 830 furos, na qual foram conectados três diferentes módulos fundamentais para o funcionamento de todo o sistema de coleta e armazenamento de temperatura: Módulo DHT22, Módulo Micro SD Card e Módulo RTC DS3231 (Figura 6-a), além dos 4 sensores de temperatura DS18B20 à prova da água (Figura 6-b) com sensibilidade de  $\pm 0,5^{\circ}C$ . Segundo Martinazzo e Orlando (2016), os sensores digitais DS18B20, aliados ao arduino, apresentam maior confiabilidade e eficiência quando comparado aos sensores analógicos (Termistor e LM35).

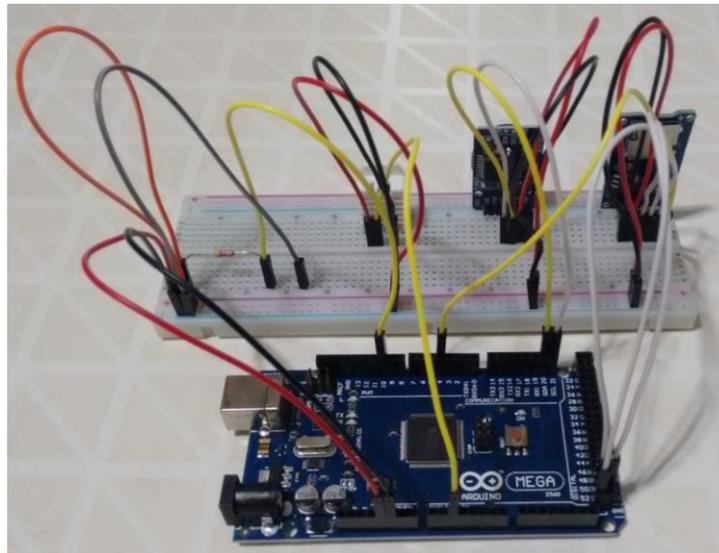
**Figura 6** - Equipamentos eletrônicos. (a) Módulos DHT22, RTC DS3231 e Micro SD Card, respectivamente e (b) Sensores DS18B20.



Fonte: Autor (2020).

A função do Módulo DHT22 foi registrar a temperatura e umidade do ambiente em que o sistema de aquisição (Figura 7) ficou exposto. O Módulo RTC DS3231 foi responsável por obter a data e hora em que ocorria a coleta dos dados, projetada para intervalos de 5 minutos. O Módulo Micro SD Card armazenou os dados adquiridos em formato de arquivo tipo texto.

**Figura 7** - Sistema de aquisição de temperaturas do subsolo.



Fonte: Autor (2020).

Para proporcionar uma maior estabilidade mecânica aos sensores DS18B20, foi necessário acoplá-los à caps de PVC de 3/4", seguidos por uma extensão de aproximadamente 20 centímetros de tubo de PVC de 3/4". Por padrão de fábrica, os sensores possuem um metro

de comprimento de cabo. Dessa forma, utilizou-se o cabo do tipo Cat E6 para realizar as extensões necessárias à cada profundidade estabelecida neste trabalho. A escolha do cabo Cat E6 ocorreu pelo fato do mesmo apresentar melhor velocidade na transmissão de dados. Em seguida, todo arranjo foi envolvido por um tubo de PVC de 3/4" em comprimento referente às profundidades determinadas, conforme Figura 8.

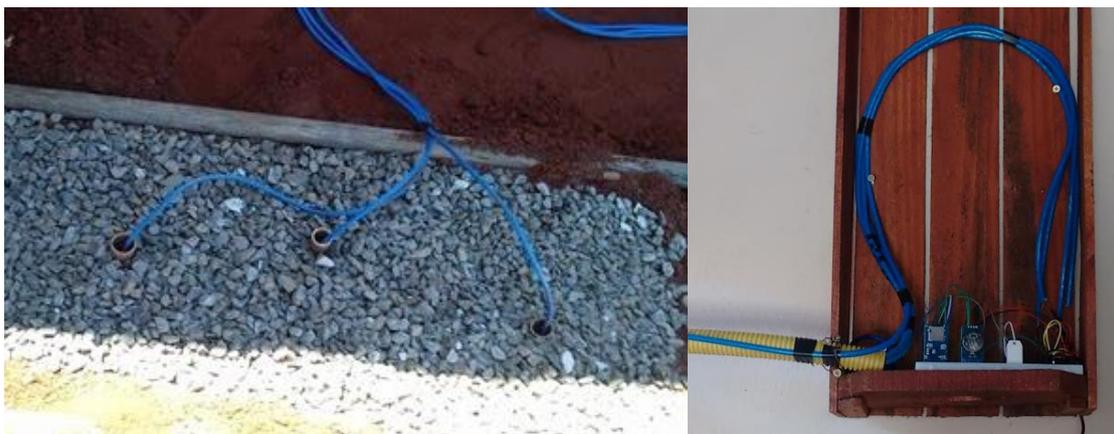
**Figura 8** - Sistema a ser implantado no subsolo de Naviraí-MS.



Fonte: Autor (2020).

Na sequência os sensores foram implantados no subsolo de Naviraí-MS (Figura 9-a) e conectados ao sistema de aquisição de dados (Figura 9-b). A alimentação do arduino foi estabelecida por uma fonte de 9V.

**Figura 9** - Instalação em Naviraí-MS. (a) Sistema implantado no subsolo e (b) Conexão dos sensores DS18B20 ao arduino.



(a)

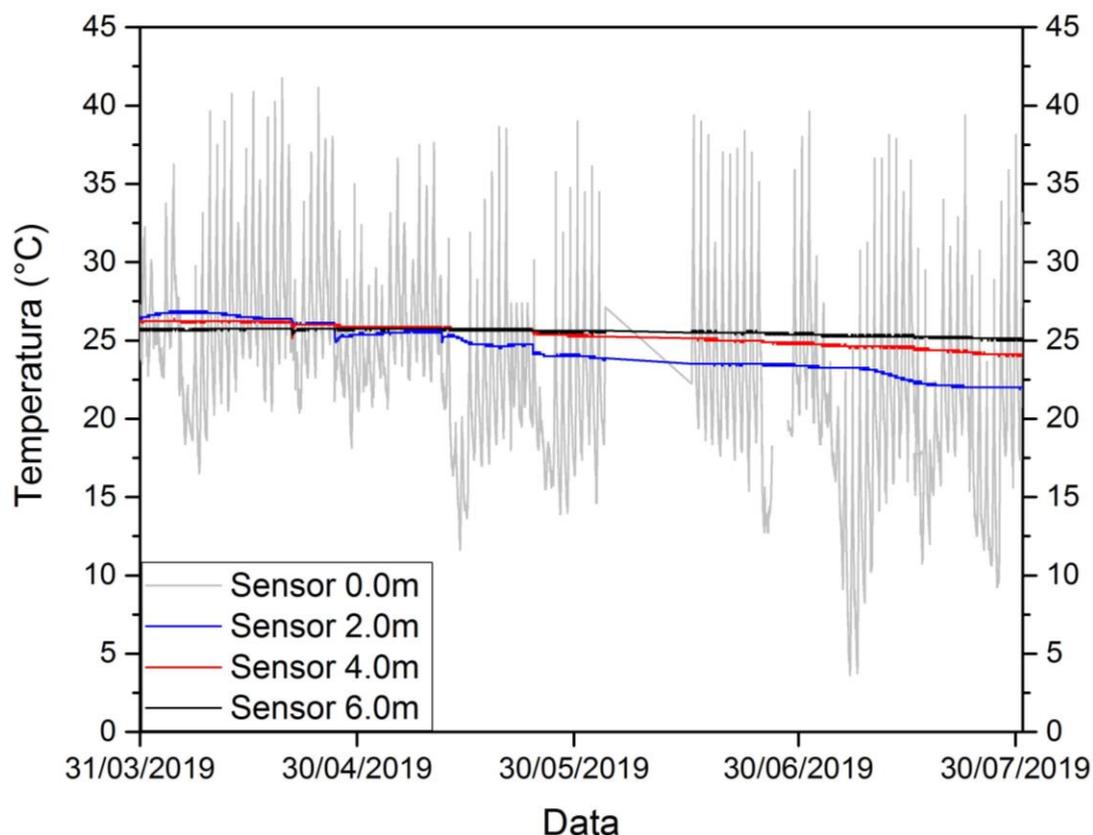
(b)

Fonte: Autor (2020).

### 3. Resultados e Discussão

O sistema de análise das temperaturas do solo de Naviraí-MS foi realizado no período de 31/03/2019 à 31/07/2019. Com a base de dados obtida foi possível gerar o gráfico da Figura 10, apresentando o comportamento da temperatura do subsolo em relação à profundidade.

**Figura 10** - Temperaturas do subsolo de Naviraí-MS.



Fonte: Autor (2020).

No período de 4 meses, compreendidos pela estação do outono (83 dias) e pelo inverno (40 dias), pode-se notar a estabilidade nas temperaturas apresentadas pelo solo nas três profundidades estudadas, mesmo com a temperatura ambiente sofrendo elevadas oscilações.

Na Figura 10, observa-se que a camada de 2 metros de profundidade é mais sensível às variações de temperatura ambiente, quando comparada com as camadas nas profundidades de 4 e 6 metros, tendo em vista que em meados de abril a temperatura à 2 metros se apresentava superior às demais profundidades, enquanto que na segunda quinzena de maio ela já registrava temperaturas inferiores. É válido ressaltar que a análise do solo em Naviraí ocorreu

após o término da estação do verão (20/03/2019), e se encerrou após 40 dias do início da estação do inverno (21/06/2019), o que justifica o comportamento observado.

O ambiente externo apresentou uma amplitude térmica de 38,12°C para o período analisado, enquanto que, na profundidade de 6 metros, a amplitude no mesmo período foi de apenas 0,75°C, próxima à sensibilidade do sensor utilizado ( $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ), apresentando, nessa profundidade, uma temperatura média de 25,6°C, nos 4 meses de estudo. Na Tabela 1 é possível observar as amplitudes térmicas para cada profundidade, bem como suas respectivas temperaturas máximas e mínimas para o período analisado.

**Tabela 1** - Temperaturas máximas e mínimas apresentadas pelos sensores.

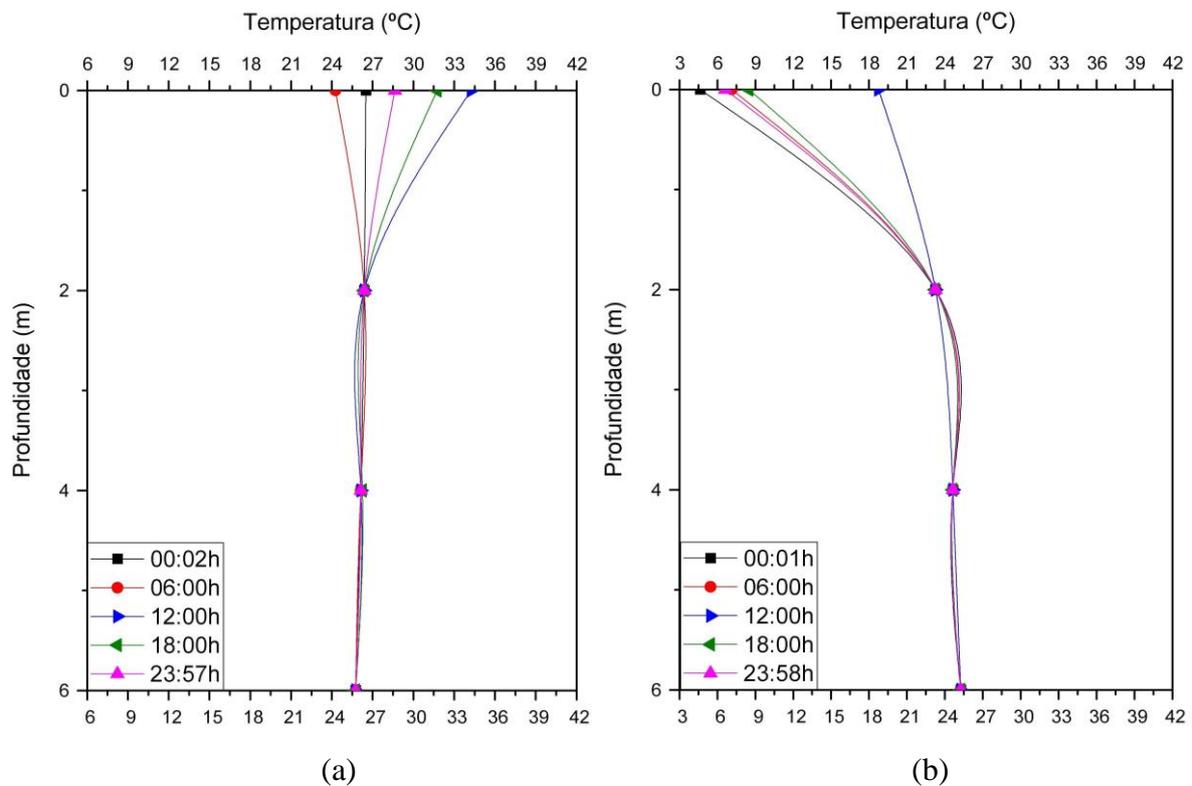
		Temperatura (°C)		
		Máxima	Mínima	Amplitude Térmica
Temperatura Ambiente	Sensor 0.0 m	41,75	3,63	38,12
	Sensor 2.0 m	26,88	21,88	5,00
Temperatura no Solo	Sensor 4.0 m	26,38	24,00	2,38
	Sensor 6.0 m	25,75	25,00	0,75

Fonte: Autor (2020).

Pelos valores apresentados na Tabela 1 nota-se a redução da amplitude térmica com o aumento da profundidade, ou seja, a temperatura do solo tende à estabilidade à medida que se aumenta a profundidade, evidenciando sua capacidade de armazenamento de calor. Estudos realizados por Florides e Kalogirou (2005) e Márquez et al. (2016) apresentaram resultados no mesmo sentido.

A análise diária da temperatura do solo também revela sua estabilidade térmica. Se no decorrer dos 4 meses as amplitudes térmicas do solo já se mostraram pequenas (Tabela 1), em apenas 1 dia a variação de temperatura do solo se torna praticamente imperceptível, mesmo exposto as radiações solares ao longo do dia. Esse fato acontece tanto para o dia com temperaturas ambientes elevadas (Figura 11-a), quanto para o dia com temperaturas ambientes baixas (Figura 11-b).

**Figura 11** - Análise diária da temperatura do subsolo de Naviraí-MS. (a) Dia com temperatura ambiente elevada - 19/04/2019 e (b) Dia com temperatura ambiente baixa - 07/07/2019.



Fonte: Autor (2020).

A temperatura à 6 metros de profundidade demonstrou-se mais estável comparada às demais profundidades (Tabela 1), com forte tendência a 25,6°C (Figura 11). A estabilidade observada no subsolo indica a possibilidade de utilizá-lo para o condicionamento térmico do ambiente construído, ou seja, para seu aquecimento e arrefecimento.

A análise da temperatura do solo durante os 4 meses permitiu verificar a difusividade térmica ( $\alpha$ ), para o Solo Latossolo Vermelho entre as camadas de 2 a 6 metros de profundidade, bem como a velocidade de propagação da onda de temperatura ( $V$ ). A Tabela 2 apresenta os resultados.

**Tabela 2** - Difusividade térmica e velocidade de propagação da onda de temperatura.

<i>Naviraí-MS</i>				
<i>Camadas</i>	<i>Temperatura Máxima (°C)</i>	<i>Temperatura Média (°C)</i>	<i>Difusividade Térmica (<math>10^{-6} m^2.s^{-1}</math>)</i>	<i>Velocidade de propagação (<math>10^{-6} m.s^{-1}</math>)</i>
2,0m - 6,0m	26,88 - 25,75	24,00 - 25,63	0,468	0,744

Fonte: Autor (2020).

Os resultados obtidos para a difusividade térmica do solo ( $0,468 \cdot 10^{-6} m^2.s^{-1}$ ) e para a velocidade de propagação da onda de temperatura ( $0,744 \cdot 10^{-6} m.s^{-1}$ ) revelam a lentidão no processo de propagação de calor por meio do solo. Dessa forma, percebe-se que independente da oscilação da temperatura ambiente, o comportamento do solo permanecerá estável, reforçando a ideia de que o mesmo pode atuar como um dissipador de calor, no verão, e uma fonte de calor, no inverno. A difusividade térmica referente ao Solo Latossolo Vermelho corroboram com os valores encontrados pela literatura. Soares, Antonino, Lima & Lira (2014), para um Solo Latossolo Amarelo, obtiveram uma difusividade térmica entre  $0,224 \cdot 10^{-6} m^2.s^{-1}$  e  $1,91 \cdot 10^{-6} m^2.s^{-1}$  e Maciel Neto et al. (2015), para o Solo Latossolo Amarelo, encontraram um valor entre  $0,101 \cdot 10^{-6} m^2.s^{-1}$  e  $0,740 \cdot 10^{-6} m^2.s^{-1}$ .

#### 4. Considerações Finais

A análise dos dados obtidos durante o período de monitoramento da temperatura do subsolo da cidade de Naviraí-MS permite concluir que:

- A profundidade do subsolo e a amplitude térmica apresentada são grandezas inversamente proporcionais;
- A estabilidade apresentada pelo solo nas profundidades analisadas o credencia a ser utilizado como fonte de calor no inverno e como dissipador de calor no verão, podendo assim, aquecer o ambiente interno da edificação no inverno e arrefecer no verão;
- Para o período analisado, a estabilidade de temperatura ocorreu a uma profundidade de 6,0 metros com um valor médio de  $25,6^{\circ}C$ ;
- O tipo de solo Latossolo Vermelho apresentou uma difusividade térmica de  $0,468 \cdot 10^{-6} m^2.s^{-1}$  e uma velocidade de propagação da onda de temperatura  $0,744 \cdot 10^{-6} m.s^{-1}$ ;

Em futuras pesquisas de avaliação do potencial geotérmico do subsolo, recomenda-se a determinação do coeficiente global de troca de calor em relação a um fluido de troca, podendo ser a água glicolada, usada como elemento de transporte de energia em bombas de

calor geotérmicas. Ainda, é necessário quantificar a troca de calor entre o fluido refrigerante e o solo da região para determinar parâmetros que permitam o dimensionamento do sistema, tais como, o material da tubulação utilizada, o distanciamento entre as linhas, a vazão do fluido, entre outros.

## Referências

Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(1), 3-65. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3).

EPE. Empresa de Pesquisa Energética - Brasil. (2020a). Balanço Energético Nacional 2020: Relatório Síntese / Ano base 2019. Rio de Janeiro: EPE. Recuperado de [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019\\_Final.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-521/Relato%CC%81rio%20Si%CC%81ntese%20BEN%202020-ab%202019_Final.pdf).

EPE. Empresa de Pesquisa Energética - Brasil. (2020b). Balanço Energético Nacional 2020: Ano base 2019/ Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro: EPE. Recuperado de [https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020\\_sp.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-479/topico-528/BEN2020_sp.pdf).

Ferreira, F. F. (2013). Energias renováveis e novas tecnologias: sustentabilidade energética nos museus (Tese de Doutorado). Universidade Lusófona da Humanidade e Tecnologias, Lisboa, Portugal. Recuperado de <http://recil.grupolusofona.pt/jspui/bitstream/10437/4979/1/TESE%20Volume%20I.pdf>.

Florides, G., & Kalogirou, S. (2005). Annual Ground Temperature Measurements at Various Depths. *Proceedings of CLIMA 2005 on CD-ROM*, Lausanne, Switzerland. Recuperado de <https://ktisis.cut.ac.cy/bitstream/10488/844/3/C78-CLIMA2005.pdf>.

Galiano, J. R. (2014). Estudio de la energía geotérmica en la eficiencia energética de las viviendas unifamiliares (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidad de Alicante, Escuela Politécnica Superior, Espanha. Recuperado de <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/1004>

5/39809/1/Estudio\_de\_la\_energia\_geotermica\_en\_la\_eficiencia\_ener\_RIERA\_GALIANO\_JORGE.pdf.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2020). Geociências. Recuperado de <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>.

IBGE-BDIA. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Banco de Dados de Informações Ambientais. (2020). Pedologia. Recuperado de <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>.

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía - Espanha (2012). Área Tecnológica: Geotermia. Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables. Observatorio tecnológico de la energía. Recuperado de [https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_Calor\\_y\\_Frio\\_Renovables\\_Geotermia\\_30012012\\_global\\_196afed7.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Calor_y_Frio_Renovables_Geotermia_30012012_global_196afed7.pdf).

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (2019a). Precipitação total anual. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=desvioChuvaAnual>.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia (2019b). Temperatura média anual. Recuperado de <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/page&page=anomaliaTempMediaAnual>.

IPCC. The Intergovernmental Panel on Climate Change. (2018). Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press. Recuperado de [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15\\_SPM\\_version\\_report\\_LR.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/05/SR15_SPM_version_report_LR.pdf).

IRENA. International Renewable Energy Agency (2017). Rethinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation. International Renewable Energy Agency. Abu

Dhabi. Recuperado de [https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena\\_rethinking\\_energy\\_2017.pdf](https://www.irena.org/documentdownloads/publications/irena_rethinking_energy_2017.pdf).

Kanbur, R., Calvo, C. M., Das Gupta, M., Grootaert, C., Kwakwa, V. & Lustig, N. (2001). Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial 2000/2001 - Luta Contra a Pobreza. Relatório de desenvolvimento mundial, 1, 22684. Oxford University Press. Recuperado de <http://documents.worldbank.org/curated/pt/927161468164645652/Relatorio-sobre-o-desenvolvimento-mundial-2000-2001-luta-contr-a-pobreza>.

Maciel Neto, J. de A., Antonino, A. C. D., Lima, J. R. de S., De Souza, E. S., Soares, W. de A., Alves, E. M., De Almeida, C. A. B. & Da Silva Neto, A. (2015). Caracterização Térmica de Solos no Agreste Meridional do Estado de Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física, 8(1), 167-178. Recuperado de: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233510>.

Márquez, J. M. A., Bohórquez, M. A. M., & Melgar, S. G. (2016). Ground Thermal Diffusivity Calculation by Direct Soil Temperature Measurement. Application to very Low Enthalpy Geothermal Energy Systems. Sensors, 16(3) 306. Recuperado de <https://doi.org/10.3390/s16030306>.

Martinazzo, C. A. & Orlando, T. (2016). Comparação entre três tipos de sensores de temperatura em associação com arduíno. Perspectiva, 40(151), 93-104. Recuperado de [http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/151\\_587.pdf](http://www.uricer.edu.br/site/pdfs/perspectiva/151_587.pdf).

Naviraí. Prefeitura Municipal (2018). Aspectos geográficos. Recuperado de <https://www.navirai.ms.gov.br/conheca/>.

Omido, A. R., Barboza, C. S. & Moreira Júnior, O. (2017). Energia Geotérmica: Uma Aliada Na Busca Da Eficiência Energética. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental - CONGEA, Campo Grande, MS. Anais (on-line). Recuperado de <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-005.pdf>.

Omido, A. R., Barboza, C. S., Sanches, É. S. & Sanches, Í. S. (2019). Uso da Energia Geotérmica na Construção Civil: Um Panorama da Sua Aplicação em Edificações Brasileiras.

In: III Encuentro Latinoamericano y Europeo de Edificaciones y Comunidades Sostenibles - EURO ELECS, pp. 294-303, Santa Fé - Paraná, Argentina. Recuperado de <https://euroelecs2019.frsf.utn.edu.ar/actas-del-evento/libro-de-actas>.

Pereira, A. O. K., Horn, L. F. D. R. & Dos Santos, D. M. (2010). Relações de consumo: globalização. Caxias do Sul, RS: Educ, 268 p. Recuperado de [https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/RC\\_GLOBALIZACAO\\_EBOOK.pdf](https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/RC_GLOBALIZACAO_EBOOK.pdf).

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J. & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Recuperado de [https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic\\_Computacao\\_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1](https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1).

Pilkington, B., Roach, R. & Perkins, J. (2011). Relative benefits of technology and occupant behaviour in moving towards a more energy efficient, sustainable housing paradigm. *Energy Policy*, 39(9), 4962-4970. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.06.018>.

Rabelo, J. L., De Oliveira, J. N., De Rezende, R. J. & Wendland, E. (2002). Aproveitamento da Energia Geotérmica do Sistema Aquífero Guarani - Estudo de Caso. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS, Florianópolis, Santa Catarina. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22057>.

Rao, T. V. R., Da Silva, B. B. & Moreira, A. A. (2005). Características térmicas do solo em Salvador, BA. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 9(4), 554-559. Recuperado de <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000400018>.

Rio, J. P. T. E. (2011). Geotermia e implicações nas tecnologias da construção: estudo de casos (Dissertação de Mestrado). Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Porto, Portugal. Recuperado de [file:///D:/Downloads/000149855%20\(8\).pdf](file:///D:/Downloads/000149855%20(8).pdf).

Santa, G. D., Galgaro, A., Sassi, R., Cultrera, M., Scotton, P., Mueller, J., Bertermann, D., Mendrinós, D., Pasquali, R., Perego, R., Pera, S., Di Sipio, E., Cassiani, G., De Carli, M. &

Bernardi, A. (2020). An updated ground thermal properties database for GSHP applications. *Geothermics*, 85, 101758. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101758>.

Soares, W. de A., Antonino, A. C. D., Lima, J. R. S. & Lira, C. A. B. O. (2014). Comparação de Seis Algoritmos para a Determinação da Difusividade Térmica de um Latossolo Amarelo. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 7(1), 146-154. Recuperado de [https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233133/27045?fbclid=IwAR1s2HSETZm5j6fekjEfX\\_XyZHVmtVxuHu\\_JvSmlKgnG4RswzwyTt9M-hR0](https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233133/27045?fbclid=IwAR1s2HSETZm5j6fekjEfX_XyZHVmtVxuHu_JvSmlKgnG4RswzwyTt9M-hR0).

Verhoef, A., Van Den Hurk, B. J. J. M., Jacobs, A. F. G. & Heusinkveld, B. G. (1996). Thermal soil properties for vineyard (EFEDA-I) and savanna (HAPEX-Sahel) sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 78(1), 1-18. Recuperado de [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(95\)02254-6](https://doi.org/10.1016/0168-1923(95)02254-6).

Vilela, M. M. (2004). Estudo de método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica a baixa profundidade. (Tese de Doutorado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de <https://docplayer.com.br/79725593-Estudo-de-metodo-experimental-para-determinar-a-potencialidade-do-uso-de-energia-geotermica-a-baixa-profundidade.html>.

Vosgueritchian, A. B. (2006). A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo - FAUUSP, São Paulo, SP, Brasil. Recuperado de [https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-08092010-100635/publico/ABVosgueritchian\\_Mestrado.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/16/16132/tde-08092010-100635/publico/ABVosgueritchian_Mestrado.pdf).

Wada, K., Akimoto, K., Sano, F., Oda, J. & Homma, T. (2012). Energy efficiency opportunities in the residential sector and their feasibility. *Energy*, 48(1), 5-10. Recuperado de <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.01.046>.

Webb, P. B. & Freitas, T. M. B. (2012). Considerações geotécnicas no dimensionamento e exploração de fundações com aproveitamento geotérmico. In: XIII Congresso Nacional de Geotecnia, Lisboa, Portugal. Anais (On-line). Recuperado de

[https://www.researchgate.net/publication/303340243\\_Consideracoes\\_geotecnicas\\_no\\_dimens ionamento\\_e\\_exploracao\\_de\\_fundacoes\\_com\\_aproveitamento\\_geotermico\\_The\\_geotechnics\\_of\\_ground\\_source\\_energy\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/303340243_Consideracoes_geotecnicas_no_dimens ionamento_e_exploracao_de_fundacoes_com_aproveitamento_geotermico_The_geotechnics_of_ground_source_energy_systems).

**Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Ítalo Sabião Sanches – 25%  
Édipo Sabião Sanches – 25%  
Agleison Ramos Omido – 25%  
Christian Souza Barboza – 15%  
Rodrigo Aparecido Jordan – 10%