

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA SUPERFICIAL DE DRACENA-SP COM ÊNFASE NA CLIMATIZAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Édipo Sabião Sanches¹; Agleison Ramos Omido².
ediposabiao@hotmail.com¹; agleisonomido@ufgd.edu.br².

RESUMO - Nos últimos anos, a mudança climática causada pela emissão de gases poluentes na atmosfera, advindos de combustíveis fósseis, um recurso não renovável, tem se tornado uma grande preocupação mundial. Nesse contexto, se faz necessária a busca por fontes de energia renováveis para suprir a demanda energética mundial. O presente trabalho avalia o potencial da Energia Geotérmica Superficial de Dracena-SP, como fonte auxiliar na climatização do ambiente construído. Um sistema de avaliação do potencial geotérmico foi implantado no subsolo de Dracena-SP. As aferições de temperatura do subsolo ocorreram a 2,0m 4,0m e 6,0m de profundidade. Também foi monitorado a temperatura ambiente. Os estudos demonstraram a estabilidade térmica do solo com a redução da amplitude térmica a medida que a profundidade do solo aumenta. Portanto, a Energia Geotérmica Superficial apresenta elevado potencial de utilização, uma vez que a estabilidade verificada demonstra ser o solo uma fonte estável para troca de calor, com a possibilidade de ser utilizado como fonte fria durante o arrefecimento e fonte quente no aquecimento do ambiente construído.

Palavras-chave: Sistemas Alternativos de Energia Renovável. Energia Geotérmica Superficial. Climatização do Ambiente Construído.

ABSTRACT - In the past few years, climate changes caused by air pollutant emissions into the atmosphere, resulting from the use of fossil fuels, which are non-renewable resources, have been a global concern. In this regard, it is necessary to search for renewable energy sources to meet the demand for energy worldwide. The present work evaluates the potential of near-surface geothermal energy at Dracena-SP as an auxiliary power source for indoor climate control systems. A setup for the evaluation of geothermal energy potential was installed underground, in Dracena-SP. Temperature was measured underground, at 2.0m, 4.0m and 6.0m deep. The ambient temperature was also monitored. Studies prove that the earth thermal rate stays stable as the temperature range reduces with the increasing of the depth. Therefore, near-surface geothermal energy has a high potential in this regard, since the verified stability evidences that earth is a stable source for heat exchange, which can be used as a cold source for air conditioning and as a heat source for heating systems for buildings.

Keywords: Alternatives renewable energy systems. Near-surface geothermal energy. Indoor climate control.

1 INTRODUÇÃO

O momento em que o país se encontra é de grande consumo de energia elétrica voltada, principalmente, para o conforto pessoal, tanto em obter um ambiente com temperatura agradável, quanto desfrutar dos avanços tecnológicos inseridos na sociedade. A utilização de energia é primordial para o desenvolvimento socioeconômico do meio em que se encontra, porém, ela é responsável por gerar impactos desfavoráveis ao meio ambiente. Por esta razão, a questão energética torna-se indispensável no planejamento de países desenvolvidos e também nos países em desenvolvimento (CAMPOS *et al.*, 2017).

Ao mesmo tempo em que o ser humano necessita da energia elétrica para se desenvolver, é imprescindível que ele encontre meios que reduzam os impactos gerados ao meio ambiente (INATOMI; UDAETA, 2005). Nos últimos anos, as mudanças climáticas causadas pela emissão de gases poluentes na atmosfera, advindos de combustíveis fósseis, um recurso não renovável, tem se tornado uma grande preocupação mundial. Nesse contexto se faz necessária a busca por fontes de energia renováveis para suprir a demanda energética no mundo (IRENA, 2017).

Dentre os gases poluentes advindos da queima de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural), o gás carbônico (CO₂) é o agente mais relevante no quesito geração de impactos ambientais, como a intensificação do efeito estufa. É de conhecimento que o CO₂ presente na Atmosfera se comporta como um gás estufa, o que permite a passagem da radiação solar, porém evita a liberação de radiação infravermelha emitida pela própria terra, gerando um ambiente propício para existência de vida no planeta, já que a atmosfera permanece em torno de 30°C mais aquecida (LOBATO *et al.*, 2009).

A problemática se intensifica uma vez que a quantidade de CO₂ que garante um efeito estufa natural no Planeta, está atingindo níveis cada vez maiores. As concentrações do gás carbônico acima do natural, podem resultar consequências catastróficas à humanidade, como o aumento do nível do mar e mudanças irreversíveis no clima, resultando em novos modelos de regime de vento e de pluviosidade (LOBATO *et al.*, 2009).

As agressões antropogênicas tendem a aumentar, e segundo Goldemberg e Villanueva (2003), essas agressões ao meio ambiente tornaram-se representativas após a Revolução industrial, com ênfase ao século XX, momento em que obteve-se um aumento populacional aliado a um crescente consumo per capita, principalmente em países desenvolvidos.

O nível de emissão de CO₂ no ano de 1990 chegou a 7,4 bilhões de toneladas/ano, sendo 6 bilhões resultantes da produção de energia, 1,2 bilhões de queimadas e derrubadas de florestas e 0,2 bilhões na produção de cimento. Os níveis de emissões desde

1990 revelam que se não houver uma implementação de políticas específicas para redução de emissões, nos próximos 100 anos o aumento da temperatura média na superfície terrestre estará entre 2,6°C e 4,8°C, sendo que no século XIX a variação esteve entre 0,3°C e 0,6°C (IPCC, 2014).

O Brasil apresenta um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo, de um lado possui reservas reduzidas de recursos não renováveis, em contrapartida, possui uma quantidade suficiente de recursos renováveis (hidráulica, biomassa, ventos, entre outros) para garantir o suprimento energético de todo país, porém as fontes mais utilizadas pelo Brasil são a hidráulica e o petróleo (ANEEL, 2002).

Mesmo com a importância dessas duas fontes ao Brasil, o momento enfrentado pelo país é de grande demanda que a cada dia aumenta mais e mais, criando uma situação de desconforto perante o abastecimento à sociedade. A grande demanda aliada a dependência por grande parte de recursos não renováveis, reforça uma escassez futura e certa de tais recursos, mostrando assim a necessidade de maiores investimentos em fontes alternativas de energia, principalmente as renováveis (ANEEL, 2002).

Além disso, segundo Bronzatti e Iarozinski Neto (2008), análises de dados já demonstram uma previsão de balanço energético negativo para o potencial hidráulico em 2020, levando em consideração também que nesse período 20% das reservas hídricas apresentarão restrição ambientais quanto ao seu uso, reforçando mais uma vez a importância de novas fontes de energia limpa e renovável.

O Brasil é considerado um dos países que mais utiliza energias renováveis, principalmente a hídrica, porém existem empecilhos que não torna a expansão hídrica, na geração de energia elétrica, a mais adequada, uma vez que sua construção provoca o alagamento de grandes áreas, resultando em prejuízos sociais e ambientais como: influência no clima das microrregiões, desapropriação de áreas produtivas e interrupção de migração de peixes (INATOMI; UDAETA, 2005).

Recentemente, o Brasil tem diminuído a capacidade de armazenamento de seus reservatórios hídricos, isso se deve as restrições ambientais que exigem uma construção com pequena área inundada e também pelo fato de a maior parte dos novos potenciais hídricos estarem localizados na Região Amazônica, a qual apresenta condições desfavoráveis para instalação de grandes reservatórios (BRASIL, 2018).

Dessa maneira as hidrelétricas que estão sendo projetadas, são feitas com reservatórios menores ou até mesmo com um fio d'água. Além disso o índice pluviométrico vem sofrendo reduções que comprometem o funcionamento adequado da hidrelétrica (BRASIL, 2018). Esse fator enfatiza ainda mais a busca de meios alternativos de energia.

É importante lembrar que entre 2012 e 2013 o Brasil passou por uma redução no percentual de geração hidráulica, ocasionando aumento na geração de energia pelos sistemas alternativos como eólico, derivados do petróleo, gás natural, biomassa, carvão e outros. Essa redução ocorreu justamente devido aos baixos índices pluviométricos apresentados na época (EPE, 2013), evidenciando a mudança climática gerada pelas emissões dos gases poluentes.

As constantes ocorrências de eventos hidro meteorológicos comprovam os agravantes gerados à sociedade, pela emissão de gases poluentes a atmosfera. Entre os principais agravantes estão: secas prolongadas, prejudicando toda agricultura; as chuvas torrenciais, causando deslizamentos de terras e enchentes; elevação do nível do mar, dentre outros (CGEE, 2018).

É estimado que, no Brasil, em 2050, 84% da produção de energia elétrica seja proveniente de fontes renováveis, sendo 56,7% advindo do sistema hídrico e 27,3% de sistemas como eólico, solar, biomassa, dentre outros (BRASIL, 2018), enquanto que, no ano de 2017, segundo Epe (2018), a contribuição do sistema hídrico era de 65,2%, o que evidencia a diminuição do potencial hídrico, e fortalece a busca por fontes alternativas.

As ações realizadas pelo ser humano durante muitos anos estão realmente sendo refletidas atualmente, o que permite afirmar a verdadeira situação em que o Brasil e o mundo se encontram: a de propor medidas que fortaleçam avanços em pesquisas com o foco na utilização de fontes de energia limpa e renovável. Segundo Da Silva (2005) são necessários novas alternativas para alcançar a sustentabilidade do planeta, onde o desenvolvimento da geração atual não comprometa o desenvolvimento das futuras gerações, promovendo assim um equilíbrio entre a oferta dos recursos naturais e a demanda da sociedade. E ainda, segundo Omido *et al.* (2019), a solução para esse imbróglio é de fato a exploração de fontes renováveis de energias, as quais são fundamentais para a sustentabilidade e eficiência energética.

Nesse contexto, a sociedade se vê ameaçada caso não encontre novas soluções. Por esse motivo o presente trabalho é relacionado a uma fonte de energia ainda pouco difundida pelo Brasil, apontando que é indispensável avanços em uma fonte de energia limpa e renovável que esteja disponível em todas as estações do ano: a Energia Geotérmica Superficial.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA GEOTÉRMICA SUPERFICIAL

Energia Geotérmica Superficial é a energia armazenada abaixo da superfície da terra na forma de calor, em condições reais de serem utilizadas de maneira econômica e rentável. Essa energia é proveniente da radiação solar na crosta terrestre e das altas temperaturas do núcleo da Terra (FERREIRA, 2013), e ainda se encontra disponível durante todo o ano independente da estação e das modificações climáticas (VOSGUERITCHIAN, 2006).

A Energia geotérmica se enquadra nos parâmetros de fonte limpa e renovável de energia, visto que sua taxa de utilização é inferior a taxa de renovação dos recursos (FERREIRA, 2013), porém, ainda é pouco difundida no Brasil. Em contraponto, muitas instituições no exterior já possuem pesquisas avançadas em relação ao seu uso no ambiente construído visando a redução no custo de energia elétrica (LONGO, 2014).

Segundo Idea (2012) a energia geotérmica pode ser dividida em 4 grupos de acordo com sua temperatura, apresentados no Quadro 01:

Quadro 01 - Classificação da Energia Geotérmica.

| <i>Grupos da Energia Geotérmica</i> | <i>Temperaturas (°C)</i> |
|-------------------------------------|--------------------------|
| Alta Entalpia | $T > 150$ |
| Média Entalpia | $90 < T < 150$ |
| Baixa Entalpia | $30 < T < 90$ |
| Muita Baixa Entalpia | $T < 30$ |

Fonte: Adaptado de Idea, (2012).

No primeiro caso ($T > 150^{\circ}\text{C}$), sua aplicação é na geração de energia elétrica, onde pode-se transformar o vapor d'água diretamente em energia elétrica. Enquanto que no último caso ($T < 30^{\circ}$), sua aplicação é voltada para o aquecimento e arrefecimento do ambiente construído por meio do uso de bombas de calor geotérmicas, no ambiente agrícola, fins recreativos e de lazer (IDEA, 2012).

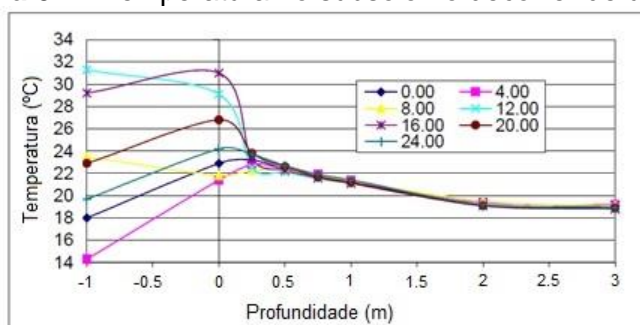
No presente trabalho o foco é voltado para a Energia Geotérmica de Muita Baixa Entalpia, ou seja, para temperaturas abaixo de 30°C , podendo esta ser utilizada no conforto térmico das edificações, para o climatização do ambiente.

A temperatura do solo a uma profundidade de 5 a 6 metros apresenta uma temperatura próxima da média anual da temperatura do ar na região em que se encontra (VILELA, 2004). Segundo Longo (2014) a temperatura do subsolo, em qualquer localidade, também pode ficar próxima da média anual da região na faixa de 15 metros de profundidade.

As camadas próximas a superfície, em torno de 0,5 metro de profundidade, estão mais suscetíveis a mudanças provocadas por variações diárias (Figura 01), enquanto que

a partir dessa profundidade as variações de temperatura começam a diminuir devido a alta inércia térmica que o solo apresenta (FLORIDES; KALOGIROU, 2004, 2005).

Figura 01 – Temperatura no subsolo no decorrer de um dia.



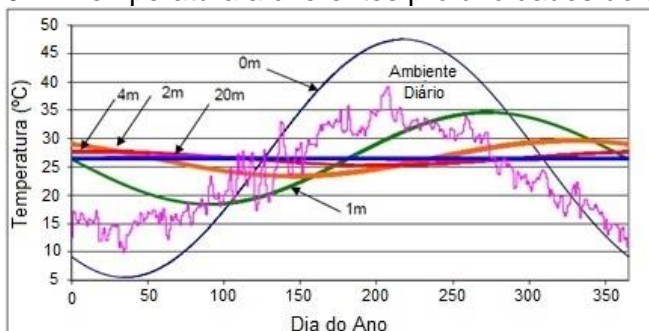
Fonte: Adaptado de Florides e Kalogirou, (2005).

A partir dos 6 metros de profundidade a temperatura do solo tende a permanecer constante, apresentando elevações em torno de 2,5°C e 3,0°C a cada 100 metros, a essa taxa de variação de temperatura de acordo com a profundidade do solo chamamos de gradiente térmico (VOSGUERITCHIAN, 2006). De fato segundo Longo (2014) a temperatura do subsolo apresenta menores amplitudes térmicas a medida em que a profundidade aumenta, mostrando assim a tendência de temperatura constante nas maiores profundidades.

Assim sendo, à profundidades baixas, a temperatura do subsolo será sempre menor, comparada ao ar exterior, no verão, e maior, no inverno (FLORIDES; KALOGIROU, 2004), apresentando durante todo o ano, valores que normalmente ficam abaixo de 25°C (CARRASCO; MÁRQUEZ, 2015).

Um estudo realizado por Florides e Kalogirou (2005) sobre o comportamento da temperatura do subsolo (Figura 02), aplicado na cidade de Nicósia, no Chipre, durante 7 anos (1986 à 1992), revelou a estabilidade térmica do solo à diferentes profundidades, uma diminuição da amplitude térmica a medida que se aumenta a profundidade, além de constatar que as temperaturas do subsolo estão quase em fase com as do ambiente externo, ou seja, que as temperaturas máximas e mínimas do subsolo ocorrem com atraso de tempo em relação as temperaturas ocorridas no ambiente.

Figura 02 – Temperatura a diferentes profundidades do subsolo.



Fonte: Adaptado de Florides e Kalogirou, (2005).

Essa estabilidade da temperatura no solo durante todo o ano pode ser utilizada a favor da sociedade, em relação ao conforto térmico no ambiente construído, proporcionando aos usuários níveis aceitáveis de temperatura, sem prejudicar seu desempenho durante as rotinas do cotidiano. Para garantia desse conforto, segundo Vosgueritchian (2006) é necessário a combinação com bombas de calor geotérmicas, que auxiliará todo o sistema.

Segundo Vilela (2004), a Energia Geotérmica Superficial pode ser utilizada para o condicionamento do ambiente construído, e além disso, segundo Ferreira (2013) em qualquer lugar a temperatura a poucos metros de profundidade permanece constante, o que potencializa a utilização da Energia Geotérmica Superficial.

2.2 BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA

Uma das formas de realizar o aproveitamento do armazenamento de calor no subsolo, é pela utilização de bombas de calor geotérmicas, as quais terão a função de, no verão, absorver calor do ambiente das edificações e enviá-la até o solo; e no inverno, absorver calor do solo e enviá-lo ao ambiente das edificações (FLORIDES; KALOGIROU 2004). Dessa forma, a temperatura existente no solo e em águas subterrâneas, pode ser explorada em qualquer lugar do mundo para climatizar o interior dos edifícios, associando a elas a bomba de calor geotérmica.

A bomba de calor é um dispositivo termodinâmico que apresenta dois elementos básicos: uma válvula de expansão e um compressor (FERREIRA, 2013). Apresenta também dois circuitos de tubos, sendo um instalado no subsolo, circuito primário, e o outro no interior da edificação, circuito secundário (LOPES, 2014).

O termo bomba de calor é apenas uma maneira de nos referirmos a um dispositivo de refrigeração, o qual esta presente em nosso dia a dia na forma de refrigeradores, ar condicionados, máquinas de sorvete, dentre outros, podendo estes refrigerar ou aquecer um determinado ambiente (VILELA, 2004). Uma exemplificação para o caso, são as geladeiras (refrigeradores), que refrigeram todo conteúdo interno do mesmo e transferem esse calor ao próprio ambiente, por meio de dutos existente atrás das mesmas.

O sistema com bomba de calor geotérmico funciona comprimindo e expandindo o líquido refrigerante presente em seus dutos, ou seja, a energia térmica a ser transportada passará por processos alternados de expansão e compressão (VILELA, 2004). Em resumo, o líquido refrigerante percorre a tubulação alocada no solo (circuito primário) e caminha até a bomba de calor sendo submetido ora a compressão ora a expansão (FERREIRA, 2013).

Dessa forma, o líquido refrigerante ora realiza uma troca de calor com o solo, ora com o ambiente interno da edificação (OMIDO; BARBOZA; MOREIRA JÚNIOR, 2017).

Bombas de calor geotérmicas apresentam maior eficiência quando comparados aos mecanismos convencionais, uma vez que utilizam o solo como fonte de energia, o qual apresenta temperatura estável durante todo ano. Os modelos convencionais utilizam o ar como fonte de energia, o qual apresenta variações representativas ao longo do dia e das estações do ano, resultando em maior gasto com energia elétrica e menor eficiência do sistema (VILELA, 2004). Assim a união entre bomba de calor e energia geotérmica superficial é um método mais viável para aquecimento e arrefecimento do ambiente construído quando comparado aos sistemas convencionais utilizados atualmente.

Segundo Vosgueritchian (2006) a utilização de sistemas de bomba de calor juntamente do solo pode reduzir em 40% a emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, além de ser um sistema altamente confiável e não necessitar de manutenções rotineiras; além disso, segundo Ferreira (2013) a economia no custo da climatização pode ser de 30% a 70% quando comparado aos sistemas em utilização, aspecto esse, de grande relevância, uma vez que atualmente o grande parte do consumo de energia elétrica advem da climatização.

2.3 PRINCIPAIS FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA E APLICAÇÃO NO BRASIL

A exploração da Energia Geotérmica pode ocorrer principalmente por duas maneiras: uso direto e indireto. O primeira faz referência a utilização direta do calor trazido por condução do interior da terra à superfície do solo com o uso das bombas de calor geotérmicas que aproveitam a diferença de temperatura existente entre o solo e o ambiente (VICHI; MANSOR, 2009), enquanto que a segunda faz referência a utilização da energia geotérmica na produção de energia elétrica (RABELO *et al.*, 2002).

Existem diversos tipos de usos diretos da energia geotérmica, dentre eles destacam-se: aquecimento de ambientes, aquecimento de estufas, aquecimento de lagos para aquicultura, piscinas termais, uso em processos industriais (LUND; BOYD, 2015), e segundo Rabelo *et al.* (2002) na pasteurização do leite.

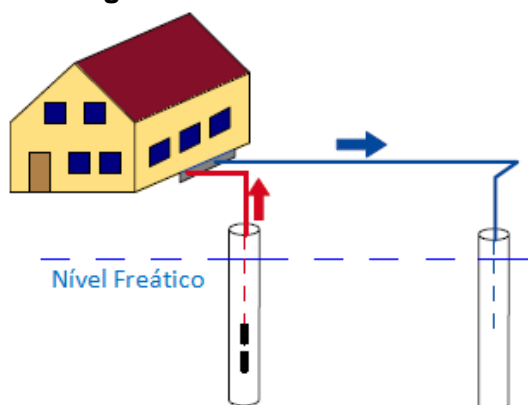
No Brasil o estado atual da utilização da Energia Geotérmica é voltado para fins recreativos e de lazer, principalmente em parques de fontes termais, ou seja, uso direto da energia. Como exemplo temos: Caldas Novas (GO), Piratuba (SC), Araxá (MG), Olímpia (SP), Águas de Lindóia (SP) e Águas de São Pedro (SP) (VICHI; MANSOR, 2009).

2.4 SISTEMAS DE CAPTAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA SUPERFICIAL

Os sistemas com utilização da bomba de calor podem ser classificadas de duas maneiras quanto sua forma de captação da energia geotérmica superficial: Sistemas Abertos e Sistemas Fechados.

- Sistema Aberto: Nesse sistema é utilizada a água subterrânea, ou seja, o próprio lençol freático (Figura 03), que funcionará como o transportador de calor. A água é direcionada à bomba de calor que realizará toda troca de calor necessária (RIO, 2011).

Figura 03 – Sistema Aberto.



Fonte: Adaptado de Sanner, (2006).

A água do lençol freático também possui uma temperatura praticamente constante durante todo o ano, variando de acordo com a região onde está implantado (RIO, 2011). A implantação deste tipo de sistema requer autorizações legais de instalação, uma vez que faz uso de um recurso hídrico (água subterrânea) que se encontra abaixo da superfície do solo ocupando uma imensa região e não apenas a região onde o sistema está sendo implantado (RIO, 2011).

Quanto aos impactos ambientais, é um sistema viável e sem prejuízos ao meio ambiente, uma vez que a água percorre o sistema de bomba de calor sem perder suas propriedades, utilizando apenas sua energia. Na sequência, a água retorna ao lençol freático, podendo novamente ser utilizada para outros fins (RIO, 2011).

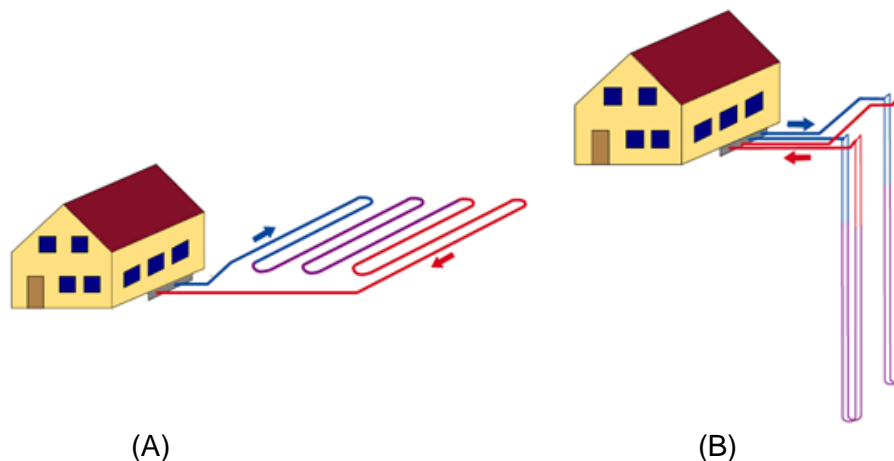
- Sistema Fechado: Nesse sistema há presença de tubos coletores e sondas, por meio do qual passa um líquido refrigerante, normalmente água glicolada (anticongelante), o qual funcionará como o transportador de calor do terreno para a bomba e vice-versa (RIO, 2011).

É importante lembrar que no Verão, o líquido refrigerante transportará o calor do ambiente da edificação para o solo, enquanto que no Inverno ele transportará o calor do solo para o ambiente, tendo em vista as diferenças de temperaturas e sabendo que o calor é transferido de uma fonte mais quente para uma mais fria.

O sistema fechado pode ser classificado em Sistema Vertical e Sistema Horizontal.

O sistema horizontal (Figura 04-A) é o mais utilizado e mais barato desde que haja disponibilidade de área para instalação, uma vez que é necessário uma área de captação da energia geotérmica superficial que seja equivalente 1,5 a 2 vezes a área do ambiente climatizado (RIO, 2011). Geralmente, é instalado a uma profundidade compreendida entre 1,2 e 2,0 metros (SANNER, 2006).

Figura 04 - Sistema Fechado. (A) Horizontal e (B) Vertical.



Fonte: Adaptado de Sanner, (2006).

O sistema vertical (Figura 04-B) é mais caro quando comparado ao horizontal, uma vez que são necessários perfurações que variam de 20 a 200 metros de profundidade, de acordo com a necessidade de climatização, porém, utiliza-se um espaço bem inferior em relação aos sistemas horizontais (RIO, 2011).

Esse tipo de sistema é indicado quando se necessita de grande capacidade para climatizar o ambiente, devido a estabilidade térmica que o solo apresenta (RIO, 2011).

Portanto, a captação de Energia Geotérmica Superficial pode ser realizada por diversas formas, sendo apresentado neste trabalho as duas principais. A escolha do sistema de climatização, em suma, irá depender do terreno disponível, das características do solo e dos efeitos pretendidos dentro do ambiente construído.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho possui como objetivo geral avaliar o potencial de utilização da Energia Geotérmica Superficial de Dracena-SP com ênfase na climatização do ambiente construído, através da análise do comportamento da temperatura no subsolo à pequenas profundidades.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Em relação aos objetivos específicos o trabalho se propõe a:

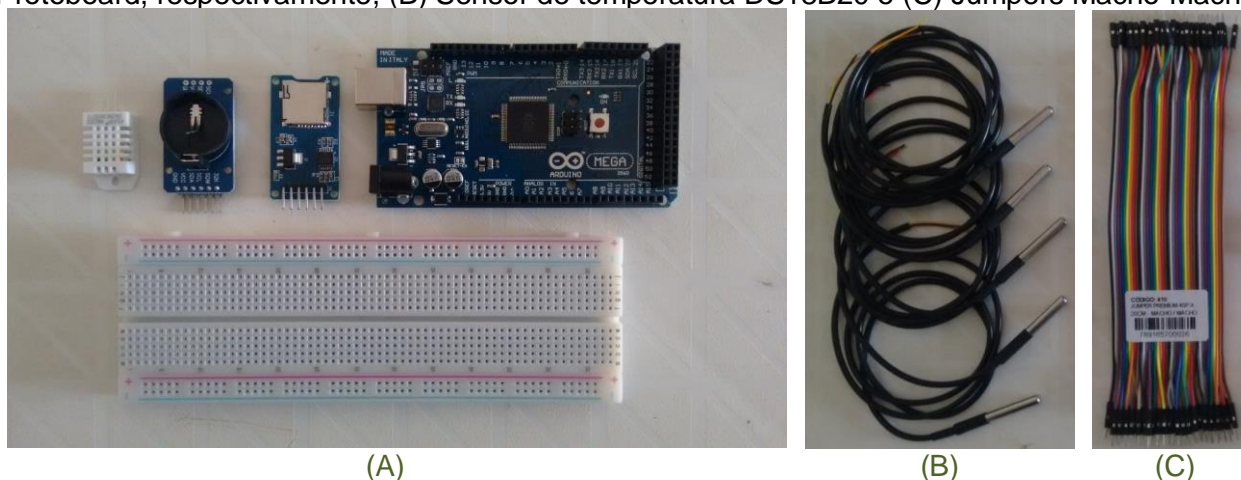
- Verificar o comportamento da temperatura do subsolo em diferentes profundidades, a saber: 0,0 metros, 2,0 metros, 4,0 metros e 6,0 metros;
- Realizar um comparativo entre a base de dados coletada e os presentes na literatura;
- Gerar base de dados para um futuro mapeamento geotérmico da região de Dracena - SP.

4 METODOLOGIA

Para avaliação do potencial geotérmico realizado na cidade de Dracena-SP foi determinado que as profundidades do subsolo analisadas seriam de 2,0m, 4,0m e 6,0m, visto que à pequenas profundidades existe uma energia armazenada na forma de calor, conhecida por Energia Geotérmica, uma fonte limpa e renovável de energia.

No presente trabalho foi necessário a utilização do Arduino Mega 2560 R3¹, uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única, responsável pela interface de captação e armazenamento de temperaturas, uma vez que possui 70 portas de entrada e saída, sendo 54 digitais e 16 analógicas. O arduíno foi interligado, por meio de jumpers macho-macho, à uma placa protoboard de 830 furos. Na placa protoboard foram conectados 3 módulos: o DHT22, o RTC DS1307 e o Micro SD Card, além de 4 sensores de temperatura DS18B20². O primeiro é responsável por informar a temperatura e umidade do ambiente onde o arduino se encontra instalado. O segundo, por fornecer a hora e a data das leituras efetuadas pelos sensores, que aconteceram a cada 5 minutos. O terceiro armazena todas informações em arquivo tipo texto. Todos esses elementos são apresentados na Figura 05.

Figura 05 – (A) Módulos DHT22, RTC DS1307, Micro SD Card, Arduino Mega 2560 R3 e Placa Protoboard, respectivamente, (B) Sensor de temperatura DS18B20 e (C) Jumpers Macho-Macho.



Fonte: Autor, (2019).

¹ Arduino Mega 2560 R3: Placa constituída por um microcontrolador do tipo ATmega 2560.

² Sensor de Temperatura DS18B20: Sensor de temperatura digital dallas a prova d'água.

O sensor DS18B20 (Figura 05-B) foi utilizado para coletar a temperatura do subsolo a diferentes profundidades, uma vez que o mesmo pode ser instalado em ambientes onde o solo é saturado ou submerso. Este tipo de sensor apresenta em uma de suas extremidades, uma ponteira metálica, responsável por coletar as leituras de temperaturas, e na outra extremidade 3 fios, sendo um amarelo, pelo qual será transmitido as informações de dados; um fio vermelho, responsável pelo fornecimento de energia, e um preto, representando o neutro do sistema. O sensor apresenta uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ estabelecido de fábrica, podendo efetuar leituras que variam de -55°C à 125°C .

Na sequência foram preparadas as ponteiras dos sensores. Nessa etapa, utilizou-se caps e luvas soldáveis de PVC, tubo de PVC de 3/4" com aproximadamente 20 centímetros de comprimento, silicone, cola instantânea e adesivo plástico para vedação. Nos caps foram realizado um orifício de diâmetro equivalente a ponteira metálica do sensor, para que este fosse inserido e fixado com a cola instantânea. Na Figura 06 é possível observar toda preparação das ponteiras.

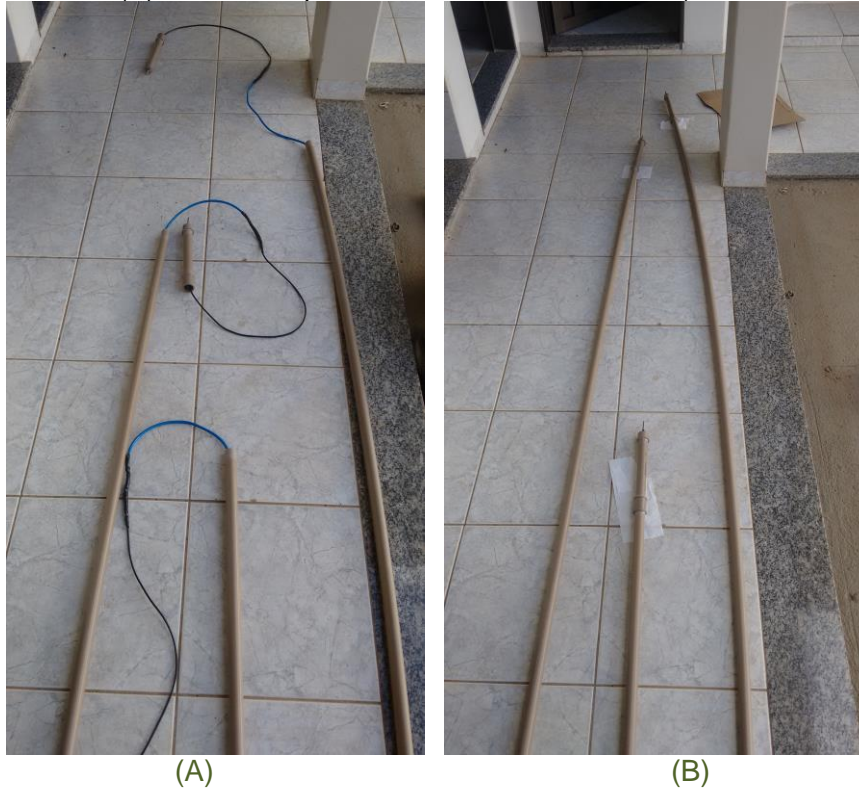
Figura 06 – Preparação das Ponteiras. (A) Sensor acoplado ao cap soldável de PVC, (B) União cap soldável, tubo de 20 centímetros e rosca soldável de PVC.



Fonte: Autor, (2019).

Após a preparação das ponteiras foi realizado uma emenda de prolongamento dos fios dos sensores, conectando os mesmos a um cabo de ethernet do tipo CAT E6, o qual apresenta uma transmissão de dados eficaz para o trabalho (Figura 07-A). A emenda foi vedada com fita adesiva preta e uma fita adesiva de alta fusão, com a finalidade de protegê-la da umidade do subsolo. Com a emenda realizada pôde-se inserir o comprimento de tubo de PVC de 3/4" estabelecido pelo trabalho (2,0m, 4,0m e 6,0m - Figura 07-B)

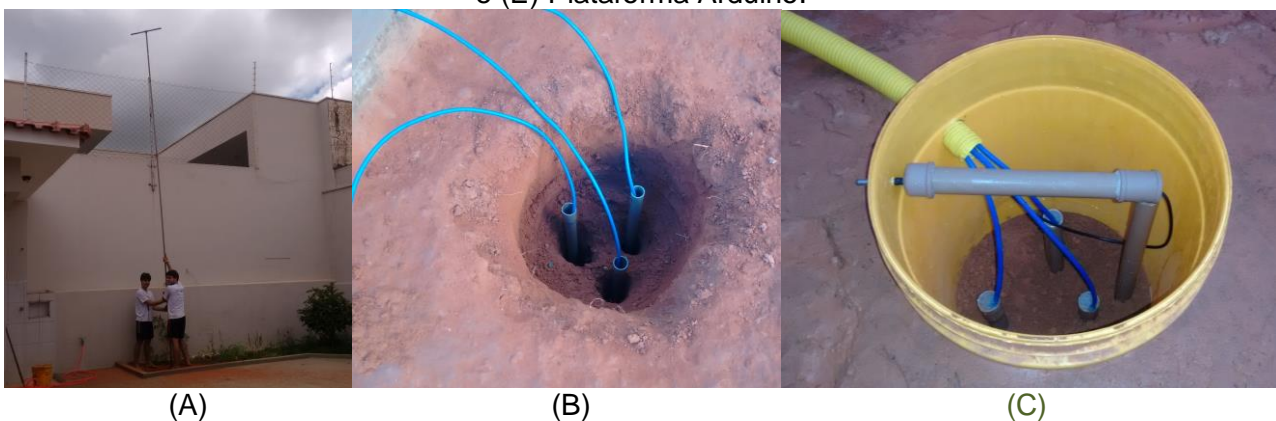
Figura 07 – Preparação dos comprimentos necessários. (A) Conexão entre cabo do sensor e cabo CAT E6, (B) União das ponteiros aos tubos de PVC (2,0m, 4,0m e 6,0m).



Fonte: Autor, (2019).

No solo de Dracena-SP foi feita uma cavidade com diâmetro de aproximadamente 30 centímetros e profundidade de 25 centímetros, na qual foram realizadas 3 perfurações com trado manual de 3/4" (Figura 08-A), sendo possível inserir os tubos nos mesmos (Figura 08-B). Além desses 3 sensores aferindo a temperatura a diferentes profundidades, foi alocado um sensor para aferir a temperatura ambiente (Figura 08-C) e então vedado o sistema (Figura 08-D). Em um ambiente da edificação existente foi alocado a placa de arduino (Figura 08-E). Dessa forma o sistema de coleta e armazenamento de temperatura do solo se manteve instalado na cidade de Dracena-SP realizando o mapeamento geotérmico da região.

Figura 08 – Preparação do ambiente. (A) Trado manual de 3/4", (B) Perfuração dos furos e inserção das tubulações, (C) Sistema Implantado no subsolo de Dracena-SP, (D) Sistema Vedado e (E) Plataforma Arduino.



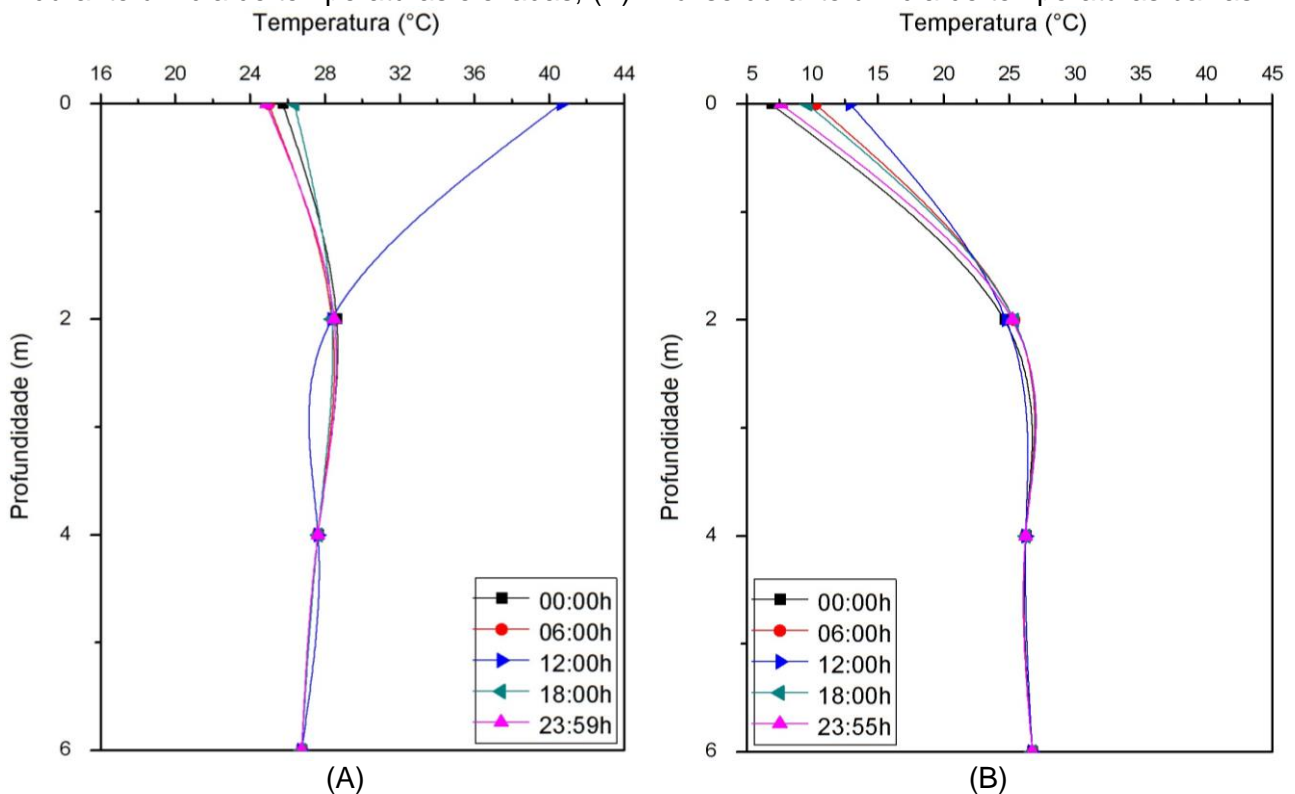


Fonte: Autor, (2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A avaliação do potencial geotérmico no subsolo de Dracena-SP, realizado no período de 06 de Março de 2019 à 06 de Novembro de 2019, permitiu realizar análises diárias do comportamento da temperatura no subsolo, utilizando-se para isso o software Origin Pro 8. Na Figura 09 é possível observar um dia completo de funcionamento do sistema em um dia de temperaturas elevadas (08/03/2019) e em um dia de temperaturas baixas (06/07/2019).

Figura 09 - Análise diária do comportamento do subsolo na Cidade de Dracena-SP. (A) Análise durante um dia de temperaturas elevadas, (B) Análise durante um dia de temperaturas baixas.



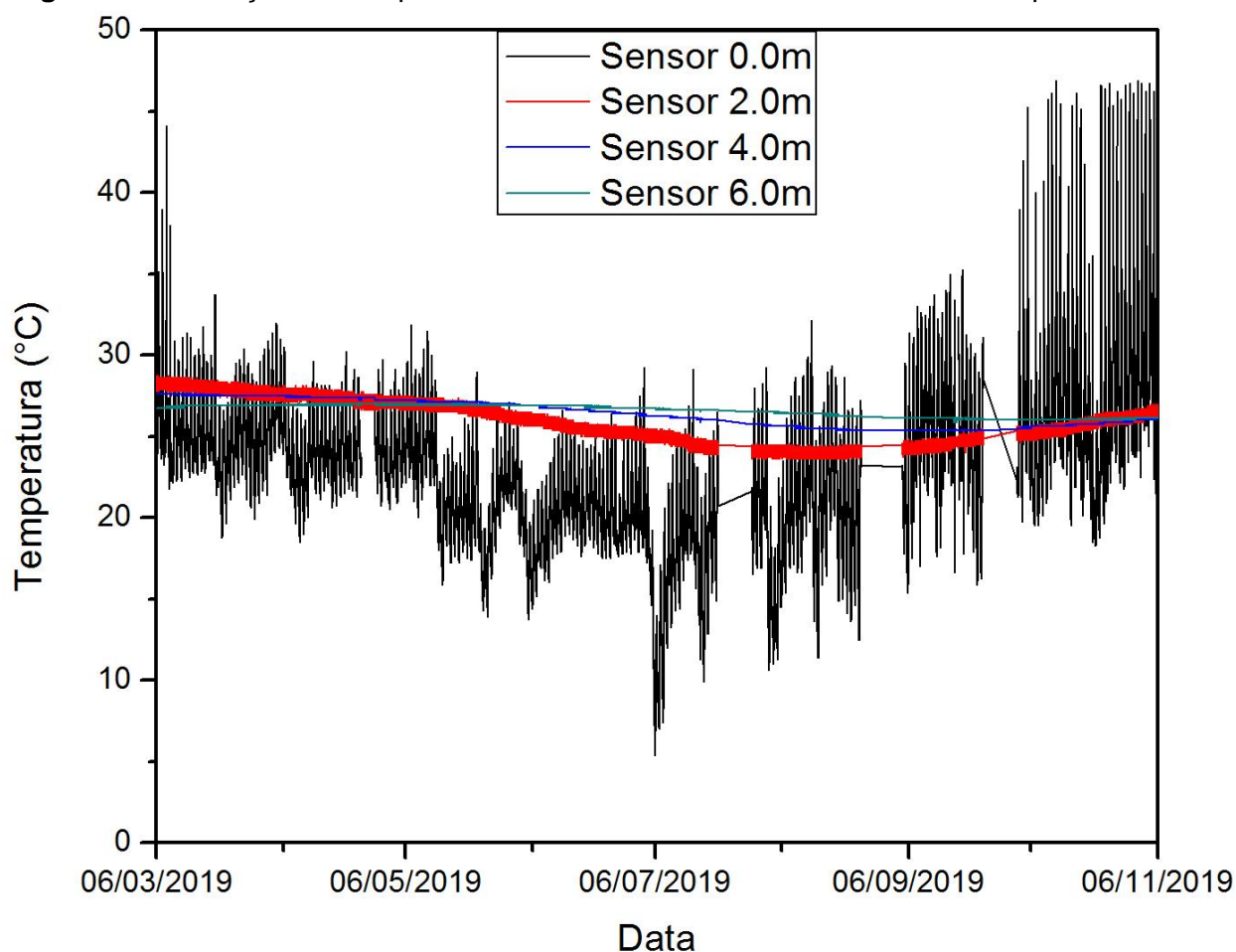
Fonte: Autor, (2019).

Pela Figura 09 nota-se 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 2 metros de profundidade houve uma variação mínima no percorrer do dia, enquanto que à 4 e 6 metros não houve variação. Essa estabilidade térmica apresentada pelo subsolo evidencia a capacidade de armazenamento térmico que o mesmo possui.

Além da análise diária, foi possível realizar uma análise compreendendo todo o período de trabalho (8 meses). No gráfico da Figura 10, de Data versus Temperatura, pode-se observar o comportamento da temperatura no subsolo de Dracena-SP.

Figura 10 – Variação da Temperatura do subsolo de Dracena-SP à diferentes profundidades.



Fonte: Autor, (2019).

Na Figura 10 pode-se observar a tendência de um comportamento senoidal da temperatura no subsolo e da temperatura ambiente. Nota-se a senoide com amplitude mais acentuada para pequenas profundidades, as quais apresentam maior sensibilidade em sofrer variações durante o ano justamente por estarem próximas a superfície. Enquanto que à profundidades maiores a senoide oscila levemente, apresentando amplitude menos acentuada.

Os dados apresentados ainda na Figura 10, novamente, revelam a grande estabilidade térmica que o subsolo apresenta, visto que, com o aumento da profundidade, nota-se amplitudes térmicas cada vez menores, mostrando ser o solo grande fonte de armazenamento de calor. Nos 8 meses de análise a temperatura ambiente sofreu uma

amplitude térmica de 41,15°C, enquanto que na profundidade de 6,0 metros a amplitude foi de 1,12°C. A Tabela 01 retrata a amplitude térmica para cada profundidade no período analisado, bem como a temperatura máxima e mínima da mesma.

Tabela 01 - Temperaturas máximas e mínimas apresentadas pelos sensores.

| | | Temperatura (°C) | | |
|----------------------|-------------|------------------|--------|-------------------|
| | | Máxima | Mínima | Amplitude Térmica |
| Temperatura Ambiente | Sensor 0,0m | 46,88 | 5,38 | 41,15 |
| Temperatura no Solo | Sensor 2,0m | 28,75 | 23,63 | 5,12 |
| | Sensor 4,0m | 27,63 | 25,38 | 2,25 |
| | Sensor 6,0m | 27,00 | 25,88 | 1,12 |

Fonte: Autor, (2019).

Com a base de temperaturas coletadas durante todo o período, pode-se realizar as médias mensais da temperatura do subsolo, como é apresentado no Tabela 02:

Tabela 02 - Temperaturas Médias Mensais do subsolo de Dracena-SP.

| | Temperaturas (°C) | | | | | | | | |
|-------------|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Mar. | Abr. | Mai. | Jun. | Jul. | Ago. | Set. | Out. | Nov. |
| Sensor 0,0m | 25,35 | 24,62 | 22,27 | 20,43 | 18,37 | 20,51 | 25,43 | 27,01 | 29,64 |
| Sensor 2,0m | 28,12 | 27,56 | 26,93 | 25,76 | 24,83 | 24,17 | 24,68 | 25,80 | 26,58 |
| Sensor 4,0m | 27,55 | 27,40 | 27,14 | 26,66 | 26,13 | 25,53 | 25,38 | 25,74 | 26,04 |
| Sensor 6,0m | 26,86 | 26,97 | 26,94 | 26,84 | 26,65 | 26,37 | 26,11 | 26,03 | 26,13 |

Fonte: Autor, (2019).

Analisando a Tabela 02 percebe-se que a temperatura máxima e mínima para cada profundidade ocorre em período distintos. Para avaliação do potencial geotérmico, essa defasagem no tempo é de suma importância, visto que exatamente na profundidade de 6 metros a temperatura mínima ocorre no mês de Outubro, momento que a temperatura ambiente começa a aumentar, devido a aproximação do verão, justamente quando a necessidade é dissipar calor do ambiente da edificação para o solo, e assim arrefecê-lo.

Tal fato nos faz entender o motivo pelo qual em certas épocas do ano as primeiras camadas apresentam temperaturas acima das demais (período anterior ao dia 06/05/2019 na Figura 10), e em outras, apresentam temperaturas abaixo das demais (período posterior ao dia 06/05/2019 na Figura 10), evidenciando, dessa forma, a maior sensibilidade das camadas próximas à superfície.

A média das temperaturas obtidas no subsolo está compreendida entre o valor de 24°C e 28°C, evidenciando o alto potencial da utilização da Energia Geotérmica Superficial na climatização do ambiente construído.

6 CONCLUSÃO

A avaliação do potencial geotérmico no subsolo de Dracena-SP, no período de 8 meses de estudo, comprovou ser o subsolo grande fonte de armazenamento de energia, devido sua alta estabilidade e poder de renovação.

Uma das características principais da Energia Geotérmica Superficial é poder ser utilizada durante todo o ano independente da estação em que se encontra, devido à alta inércia térmica que o solo apresenta, fator que a coloca em destaque quando comparado a outros tipos de fontes renováveis, uma vez que a hidráulica, por exemplo, uma das fontes renováveis mais utilizada pelo Brasil, possui caráter intermitente, pois depende da chuva, e esta ora possui disponibilidade em abundância, ora cessa devido as estiagens.

As mínimas variações diárias das camadas mais próximas da superfície e a baixa amplitude térmica da temperatura do subsolo, o credencia em poder ser utilizado no verão como dissipador de calor e no inverno como fonte de calor, podendo assim arrefecer o ambiente interno da edificação no verão e aquecer no inverno.

A avaliação do potencial geotérmico com ênfase em climatizar o ambiente por meio de um recurso disponível em qualquer lugar do País e do Mundo, é essencial para que a Energia Geotérmica Superficial seja vista como oportunidade de promover uma variabilidade dos recursos renováveis disponíveis e como uma fonte auxiliar na descarbonização da atmosfera.

A Energia Geotérmica Superficial, uma fonte limpa e renovável de energia, apresenta ser uma alternativa promissora para um futuro próximo, uma vez que a utilização de fontes não renováveis para climatização do ambiente construído aumenta demasiadamente com o crescimento da população, evidenciando que em breve irá se exaurir.

Portanto, a avaliação do potencial do uso da Energia Geotérmica do solo de Dracena-SP, foi essencial para perceber que as temperaturas do solo para as profundidades de 2,0m, 4,0m e 6,0m giram em torno de 24°C e 28°C, ou seja, se encontram enquadradas em uma faixa de temperatura correspondente a Energia Geotérmica de Muito Baixa Entalpia, podendo ser utilizada na climatização do ambiente construído, tanto para aquecê-los quanto para arrefecê-los.

RECOMENDAÇÕES

Em futuras pesquisas de avaliação do potencial geotérmico do subsolo recomenda-se a utilização de dois sensores em cada ponteira, ao invés de apenas um, evitando assim retrabalhos com perfurações no solo, caso algum sensor venha apresentar problemas técnicos que impeçam a leitura dos dados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela força e oportunidade de poder cursar os 5 anos de Graduação em Engenharia Civil na Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD. Agradeço a meus Pais, Antonio Gonçalves Sanches e Márcia Regina Sabião Sanches, e meu Irmão, Ítalo Sabião Sanches por estarem sempre presentes durante todo meu percurso na Engenharia Civil, me apoiando e ensinando os meios de seguir o melhor caminho. Agradeço a eles e em especial a minha namorada, Paola Ferreira de Oliveira, por compartilharem de cada momento da instalação desse sistema em minha cidade natal, Dracena-SP. A realização de todo trabalho de pesquisa só foi possível graças aos meus pais que auxiliaram na coleta dos dados da temperatura do solo de Dracena-SP, sendo novamente grato a eles. Por fim agradeço a todos os professores, e em especial ao meu professor orientador Doutor Agleison Ramos Omido.

REFERÊNCIAS

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil/ Agência Nacional de Energia Elétrica**. 1. ed – Brasília: ANEEL, 2002.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Plano de Ciência, Tecnologia e Inovação para Energias e Biocombustíveis: 2018 – 2022**. Secretaria de Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), 2018.

BRONZATTI, Fabrício Luiz; IAROSINSKI NETO, Alfredo. **Matrizes energéticas no Brasil: Cenário 2010-2030**. In: XXVIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 2008, Rio de Janeiro, RJ. Anais (on-line). Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2008_TN_STO_077_541_11890.pdf. Acesso em: 25 abr. 2019.

CAMPOS, Adriana Fiorotti; SCARPATI, Cynthia de Barros Lima; DOS SANTOS, Luan Tolentino; PAGEL, Uonis Raasch; DE SOUZA Victor Hugo Alves. **Um panorama sobre a energia geotérmica no Brasil e no mundo: Aspectos ambientais e econômicos**. Revista Espacios, v.38, n.1, p.8, 2017. ISSN 0798 1015 versão *on-line*. Disponível em <https://www.revistaespacios.com/a17v38n01/a17v38n01p08.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2019.

CARRASCO, Francisco Javier Cárcel; MÁRQUEZ, David Martínez. **La energía geotérmica de baja entalpía**. Revista 3C Tecnología, v.4, n.3, p.96-108, 2015. ISSN: 2254 4143 versão *on-line*. Disponível em: <https://www.3ciencias.com/articulos/articulo/la-energia-geotermica-de-baja-entalpia/>. Acesso em: 28 abr. 2019.

CGEE. **Plano de Ação em Ciência, Tecnologia e Inovação para o Clima**. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2018.

DA SILVA, Jaqueline Maria. **Sustentabilidade em uma Estrutura de Sistemas Integrados**. 2005. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) - Laboratório Nacional de Computação Científica, Petrópolis, 2005.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2014: Ano base 2013 / Empresa de Pesquisa Energética.** – Rio de Janeiro: EPE, 2013.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balço Energético Nacional 2018: Ano base 2017 / Empresa de Pesquisa Energética.** – Rio de Janeiro: EPE, 2018.

FERREIRA, Francisco Faria. **Energias renováveis e novas tecnologias: sustentabilidade energética nos museus.** 2013. Tese (Doutorado em Museologia) - Universidade Lusófona da Humanidade e Tecnologias. Lisboa, 2013.

FLORIDES, Georgios; KALOGIROU, Soteris. **Measurements of ground temperature at various depths.** Proceedings of the SET 2004, 3rd International Conference on Sustainable Energy Technologies on CD-ROM, Nottingham, UK, 2004. Disponível em: <https://ktisis.cut.ac.cy/bitstream/10488/870/3/C55-PRT020-SET3.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2019.

FLORIDES, Georgios; KALOGIROU, Soteris. **Annual Ground Temperature Measurements at Various Depths.** Proceedings of CLIMA 2005 on CD-ROM, Lausanne, Switzerland. 2005. Disponível em: <https://ktisis.cut.ac.cy/bitstream/10488/844/3/C78-CLIMA2005.pdf>. Acesso em: 14 out. 2019.

GOLDEMBERG, José; VILLANUEVA, Luz Zoraida Dondero. **Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento.** 2 ed. São Paulo: Edusp. 2003. 226p.

IDEA. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (Espanha). **Área Tecnológica: Geotermia. Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables.** Observatorio tecnológico de la energía, 2012.

INATOMI, Thais Aya Hassan; UDAETA, Miguel Edgar Morales. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos.** In: III Workshop Internacional Brasil-Japão: Implicações Regionais e Globais em Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, 2005, Campinas-SP.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2014: Synthesis Report.** Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp, 2014.

IRENA. International Renewable Energy Agency. **Rethinking Energy 2017: Accelerating the global energy transformation.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, 2017.

LOBATO, Anderson Cezar; DA SILVA, Cristina Neres; LAGO, Rochel Montero; CARDEAL, Zenilda de Lourdes; DE QUADROS, Ana Luiza. **Dirigindo o olhar para o efeito estufa nos livros didáticos de ensino médio: é simples entender esse fenômeno?** Ensaio pesquisa em educação em ciências, v. 11, n. 1, 2009. ISSN: 1415-2150 versão *on-line*. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=129512579002>. Acesso em: 28 abr. 2019.

LONGO, Adriano José. **Instrumentação para levantamento de dados do perfil geotérmico superficial visando a troca sustentável de calor.** 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Santa Maria - RS, 2014.

LOPES, Henrique Lopes dos Santos. **Sistemas Geotérmicos de Baixa Entalpia Estudos de Caracterização Térmica**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica – Geotecnia). Universidade Nova de Lisboa, faculdade de ciências e tecnologia, Lisboa, 2014.

LUND, John W.; BOYD, Tonya L. **Direct utilization of geothermal energy 2015 worldwide review**. In: Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne – Austrália. 2015.

OMIDO, Agleison Ramos; BARBOZA, Christian Souza; MOREIRA JÚNIOR, Orlando. **Energia Geotérmica: Uma Aliada Na Busca Da Eficiência Energética**. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental - CONGEA, 2017, Campo Grande, MS. Anais (on-line). Disponível em <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-005.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2019.

OMIDO, Agleison Ramos; BARBOZA, Christian Souza; SANCHES, Édipo Sabião; SANCHES, Ítalo Sabião. **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, 2019, Santa Fé - Paraná, Argentina.

RABELO, Jorge Luiz; DE OLIVEIRA, Jefferson Nascimento; DE REZENDE, Rosemiro J.; WENDLAND, Edson. **Aproveitamento da energia geotérmica do Sistema Aquífero Guarani-estudo de caso**. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas - ABAS, 2002, Florianópolis, Santa Catarina. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/viewFile/22057/14417>. Acesso em: 05 abr. 2019.

RIO, José Pedro Teixeira Espinheira. **Geotermia e implicações nas tecnologias da construção: estudo de casos**. 2011. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2011.

SANNER, Burkhard. **Geothermal energy opportunities for desert regions**. In: Proceedings of the global conference on renewable energy approaches for DEsert Regions [GCREADER]. Le Royal Hotel Amman, Jordan, p. 18-22. 2006. Disponível em: [http://www.sanner-geo.de/media/GCREADER\\$20Amman\\$2006\\$20Sanner.pdf](http://www.sanner-geo.de/media/GCREADER$20Amman$2006$20Sanner.pdf). Acesso em: 26 abr. 2019.

VICHI, Flavio Maron; MANSOR, Maria Teresa Castilho. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. Revista Quim. Nova, v.32, n.3, p.757-767, 2009. ISSN 1678-7064 versão *on-line*. Disponível em: <http://submission.quimicanova.s bq.org.br/qn/qnol/2009/vol32n3/18-QN09061.pdf?agreq=energia%20meio%20ambiente&agrep=jbcs,qn,qnesc,qnint,rvq>. Acesso em: 27 abr. 2019.

VILELA, Marcio Maia. **Estudo de método experimental para determinar a potencialidade do uso de energia geotérmica a baixa profundidade**. 2004. Tese (Doutorado em Energia) - Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004

VOSGUERITCHIAN, Andrea Bazarian. **A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas**. 2006. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.