

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA GEOTÉRMICA SUPERFICIAL DE TUPI PAULISTA-SP PARA CLIMATIZAÇÃO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Ítalo Sabião Sanches¹; Agleison Ramos Omido²
italosabiao@hotmail.com¹; Agleisonomido@ufgd.edu.br²

RESUMO - O consumo de energia elétrica oriundo de fontes não renováveis é um dos grandes problemas recorrentes na atualidade e deixa claro que os recursos da natureza estão sendo usados em uma proporção cronológica muito mais acelerada do que a natureza precisa para se recompor. Investir em fontes sustentáveis alternativas se faz necessário, a destacar a Energia Geotérmica Superficial. Essa energia se encontra armazenada na forma de calor abaixo da superfície terrestre, sendo considerada uma fonte de energia limpa e renovável, com grande disponibilidade de uso. Assim, fazer o uso dessa energia, é colaborar para a redução do consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, para menor emissão de gás carbônico na atmosfera. O presente trabalho se atém à avaliação do potencial da Energia Geotérmica superficial do solo de Tupi Paulista - SP, como fonte auxiliar na climatização do ambiente construído. As aferições de temperatura do subsolo foram realizadas para as profundidades de 0,0m (temperatura ambiente), 1,5m, 3,0m e 4,5m. Resultados mostram que a temperatura do solo tende a uma estabilidade à medida que se encaminha para camadas mais profundas do mesmo, em concordância com a literatura. As camadas próximas a superfície do solo se mostraram mais sensíveis a variação de temperatura ambiente, enquanto que as camadas mais profundas apresentaram maior estabilidade, com temperaturas em torno de 20°C e 25°C, mostrando ser o solo grande fonte de calor, permitindo utilizá-lo para climatização do ambiente construído.

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

ABSTRACT - Power consumption from non-renewable energy sources is one of the greatest concerns nowadays and it evidences that nature resources are being explored at a chronological ratio that is considerably higher than the one nature needs to replenish itself. Investing in renewable resources is necessary, and near-surface geothermal energy stands out in this regard. It is stored in form of heat under Earth's surface, is considered a clean and renewable energy source, and it is highly available. Thus, by using this energy source we contribute to the reduction of fossil fuel consumption, and consequently, to reducing carbon dioxide emissions into the atmosphere. The present work evaluates the potential of near-surface geothermal energy at Tupi Paulista - SP as an auxiliary power source for indoor climate control systems. Temperature was measured underground, at 0.0m (ambient temperature), 1.5m, 3.0m and 4.5m deep. Results show that earth temperature tends to stability as we approach deeper layers of soil, in agreement to literature. Layers closer to surface were more sensible to variations in ambient temperature, as deeper layers were more stable, with temperatures around 20°C and 25°C, proving that earth is a great heat source, which allows it to be used for indoor climate control.

Keywords: Renewable energy. Near-surface geothermal energy. Indoor climate control.

1 INTRODUÇÃO

Independente das atividades humanas que acontecem na Terra, elas estão fadadas a gerarem alguma modificação no meio ambiente. Porém, a maioria dos impactos ambientais são oriundos da geração, manuseio e uso de energia (DA SILVA *et al.*, 2003). Essa forte contribuição dos processos energéticos se deve ao fato de o consumo mundial de energia primária ser oriundo principalmente de fontes não renováveis (76,2% do total), como o petróleo, o carvão, o gás natural e a nuclear, enquanto que apenas 23,8% são provenientes das fontes renováveis (EPE, 2018).

A produção em grande escala vem sendo estimulada desde o período da Revolução Industrial, justamente para contribuir com a crescente população. Tal fato tem levado a uma intensa e acelerada utilização de recursos naturais, com os seres humanos transformando o meio ambiente em simples instrumento da cadeia produtiva (BAPTISTA, 2010).

Esse consumo exagerado tem sido responsável pelo desequilíbrio ambiental, ou seja, pelo aumento da temperatura global, pelo degelo das calotas polares, pela desertificação, pelos buracos na camada de ozônio. Nesse sentido, a sociedade começa a perceber que o meio ambiente também possui suas próprias limitações (PEREIRA; HORN; DOS SANTOS, 2010).

O descaso da sociedade perante a natureza, ocorrido durante diversos anos, começa a ser refletido pelo desequilíbrio ambiental, mostrando a real urgência a respeito de mudanças conceituais. Dessa forma, se faz necessário a busca pela sustentabilidade do planeta, por mecanismos que contribuam para se atingir um ponto ótimo de desenvolvimento das gerações contemporâneas sem acarretar problemas para as gerações futuras, conquistando um equilíbrio entre a demanda e oferta dos recursos naturais, além de se contribuir para o desenvolvimento de uma sociedade justa e ética (DA SILVA, 2005).

Assim sendo, a sustentabilidade caminha juntamente com a redefinição de valores e padrões de desenvolvimento, de forma a garantir um planejamento adequado ao desenvolvimento sustentável, no qual se unam, harmoniosamente, os processos socioeconômicos, os recursos naturais e a estabilização da população em níveis coerentes com a capacidade de carga do planeta (COSTA *et al.*, 2004).

Se a população continua crescendo em um ritmo cada vez mais acelerado e o planeta permanece com sua capacidade de carga consolidada, a demanda e oferta pelos recursos naturais tornar-se-ão cada vez mais conflitantes. Segundo Ewing *et al.* (2010), a pegada ecológica de toda a humanidade, ou seja, a biocapacidade (área produtiva disponível no mundo) referente a 2007 era de 18 bilhões de hectares globais, o que significa

que cada habitante tinha direito a 2,7 hectares globais, uma vez que naquele ano haviam 6,7 bilhões de pessoas no planeta, sendo necessários 1,5 planetas para continuar com este patamar de consumo dos recursos naturais.

Essa pegada ecológica é um mecanismo responsável por mensurar a quantidade de natureza disponível, o quanto é usado dela, o que cada habitante pode usar e qual a quantidade de área de terra e água que a sociedade necessita para produzir os recursos que usa. Assim, com a pegada, é possível estabelecer parâmetros entre o orçamento ecológico dos habitantes e os recursos da natureza, ou seja, se vivemos dentro desse orçamento ou se consumimos os recursos da natureza mais depressa do que o planeta pode renová-los (AMEND *et al.*, 2010).

Nesse sentido, o consumo de energia elétrica oriundo de fontes não renováveis é um dos grandes problemas recorrentes na atualidade e deixa claro que os recursos da natureza realmente estão sendo usados em uma proporção cronológica muito mais acelerada do que a natureza precisa para se auto recompor. Segundo Kanbur *et al.* (2001) a demasiada dependência por essas fontes de energia não renováveis tem gerado muitas preocupações a respeito de sua escassez, porém não tem deixado de lado a inquietação a respeito da emissão de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, uma vez que em 1996 essa emissão foi de 23 bilhões de toneladas, o que representou praticamente o dobro do que havia sido emitido em 1965.

A queima dos combustíveis fósseis (fontes de energia não renováveis), como o carvão, óleo e gás, é responsável, por diversos impactos ocasionados tanto a saúde da sociedade, quanto do meio ambiente. Embora hajam tecnologias de redução desses impactos, as emissões geradas por tais queimas, são responsáveis pelo aquecimento global, doenças respiratórias, chuva ácida e fumaças (DE CAMARGO; UGAYA; AGUDELO, 2004).

A grande preocupação é com a disponibilidade finita dos recursos não renováveis, ou seja, a produção de energia por meio da queima do carvão, gás natural e petróleo, além de prejudicar o meio ambiente com a emissão de dióxido de carbono, tem prazo determinado para se esgotar (OMIDO; BARBOZA; MOREIRA JÚNIOR, 2017). Até os dias de hoje, foram exploradas aproximadamente metade do petróleo que existia no mundo, e mantendo-se nesse ritmo de consumo, o mesmo se esgotaria em torno de 50 anos. O gás natural, se esgotaria em cerca de 60 anos, enquanto que o carvão, por ainda possuir grandes reservas não exploradas, levaria uns 250 anos para se findar (GOLDEMBERG; LUCON, 2007).

As mudanças de clima e as necessidades pela energia aumentando a cada dia, são fatores essenciais para ampliar estudos no campo da Eficiência Energética, a qual será fundamental para manter a matéria prima da energia, utilizando-se para isso quantidades reduzidas de recursos, ou seja, será estabelecida uma harmonia entre o combate ao desperdício e a necessidade de se atender toda a demanda de energia (NUNES, 2010).

De um lado, a energia é essencial para o desenvolvimento socioeconômico, de outro, ela é uma das principais responsáveis por provocar impactos negativos ao meio ambiente. Em decorrência de tal fato, a questão energética é vista com outros olhos tanto pelos países em desenvolvimento, quanto pelos países desenvolvidos. Dessa forma, fontes de energia novas começam a aparecer como alternativas essenciais para superar tanto a futura escassez das fontes de energia não renováveis, quanto a poluição ao meio ambiente gerado pelas mesmas (CAMPOS *et al.*, 2017).

No entanto, a realidade encontrada no Brasil, acaba relegando a segundo plano os investimentos em outras fontes de energia, ou seja, além de ter a disponibilidade do gás natural, o Brasil possui uma matriz energética firmada em bases hídricas (GOMES, 2009).

Apesar do grande potencial hidrelétrico existente no Brasil, prevê-se, para o ano de 2020, uma demanda de energia maior do que a oferta, tendo em vista que 80% desse potencial de geração hidrelétrica estará em uso e os outros 20% possuirão restrições ambientais quanto ao uso. Além disso, prevê-se, para o ano de 2030, um aumento do consumo de energia de 405 TWh/ano para aproximadamente 1000 TWh/ano, previsões essas que mostram a importância da diversidade e aumento da oferta de energia elétrica (BRONZATTI; NETO, 2008).

Até mesmo a utilização dos grandes potenciais hidrelétricos são passíveis de consequências indesejadas, uma vez que geram deslocamentos de populações residentes nas áreas a serem inundadas, além de outras questões ecológicas (DE CAMARGO; UGAYA; AGUDELO, 2004). Sendo assim, novas práticas de gerenciamento e novos hábitos de uso racional da energia elétrica precisam ser atribuídos a um novo planejamento energético (SCORSATTO; DULLIUS; KONRAD, 2010).

Nesse sentido, a Energia Geotérmica Superficial, tem sido destaque atualmente, por tratar-se de uma fonte de energia limpa e renovável, merecendo ser aplicada nas edificações que almejam reduzir a dependência dos sistemas convencionais já existentes, para, assim, garantir o conforto aos usuários e se enquadrar aos princípios de sustentabilidade do ambiente construído (FONSECA *et al.*, 2014).

2 Revisão Bibliográfica

Energia Geotérmica é a energia que se encontra armazenada na forma de calor abaixo da superfície terrestre (GALIANO, 2014). A Energia Geotérmica é considerada uma fonte de energia limpa e com grande disponibilidade de uso. Assim, fazer o uso dessa energia, é colaborar significativamente para a redução do consumo de combustíveis fósseis e, conseqüentemente, para uma menor emissão de gás carbônico na atmosférica, contribuindo para um ambiente sustentável (RABELO *et al.*, 2002).

Dessa forma, de acordo com a entalpia do fluido responsável por transferir o calor das rochas mais profundas para a superfície, a Energia Geotérmica pode ser classificada da seguinte forma (GONÇALVES, 2017):

Quadro 1 - Classificação da Energia Geotérmica quanto sua Entalpia

Energia Geotérmica	
Entalpia	Temperatura (T)
Alta	$T > 150^{\circ}\text{C}$
Média	$90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$
Baixa	$30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$
Muito Baixa	$T < 30^{\circ}\text{C}$

Fonte: Adaptado de Gonçalves, (2017).

De acordo com essa entalpia, podemos aproveitar a energia geotérmica de duas maneiras: por meio da utilização direta (aquela de baixa e média entalpia) e da utilização indireta (aquela de alta entalpia), esta, direcionada para produção de energia elétrica e aquela direcionada para fins residenciais, industriais, agrícolas e recreativos (CAMPOS *et al.*, 2017). Nesse sentido, o foco desse trabalho está em torno da Energia Geotérmica de Muito Baixa Entalpia, ou seja, aquela capaz de contribuir para a climatização do ambiente construído.

O aproveitamento geotérmico no ambiente construído é fulcral, posto que é uma fonte de calor gratuita, que se renova constantemente por meio da radiação solar e do calor do interior da terra, reduz a emissão de gás carbônico para a atmosfera e contribui para uma economia de até 75% no aquecimento e arrefecimento do ambiente construído (REHAU, 2008).

A energia térmica que se encontra armazenada nas camadas superficiais do subsolo são oriundas principalmente por meio da radiação solar, uma vez que o fluxo de energia

solar é nitidamente superior ao fluxo de energia emitido pelo núcleo da terra, sendo este de 60 mW/m² e aquele em torno de 10 a 100 W/m² (WEBB; FREITAS, 2012).

Esse armazenamento de energia térmica na forma de calor também se explica pelo fato de haver ocorrências de ações vulcânicas, atividades sísmicas e a desintegração natural dos elementos radioativos na crosta terrestre (PASCOAL, 2013).

Na superfície da crosta terrestre, até aproximadamente 10 metros de profundidade, a temperatura do solo se altera de acordo com as estações do ano, no entanto, ao passo em que aumentamos a profundidade do solo, sua temperatura tende a permanecer praticamente constante e igual a temperatura média anual da região (WEBB; FREITAS, 2012).

Segundo Muszkopf (2006), a radiação solar que atinge o solo, após ser absorvida, aquece as camadas superficiais por meio da condução. Dessa forma, as camadas situadas entre 0,1 metro e 1 metro de profundidade acabam possuindo uma variação de temperatura diária, ao passo que as camadas até 20 metros sofrem somente variações anuais. Vilela (2004) diz que para as profundidades acima de 5 ou 6 metros a temperatura do solo se aproxima da temperatura média anual da região.

Assim, à pequenas profundidades a temperatura do solo se encontra estável, permitindo com que o mesmo atue como um dissipador de calor no verão, período no qual a temperatura do solo encontra-se menor do que a do ambiente externo, e atue como uma fonte de calor no inverno, período em que a temperatura do solo será maior do que a do ambiente externo (WEBB; FREITAS, 2012).

Dessa forma, com o foco na climatização do ambiente construído, nota-se que as temperaturas a serem operadas serão aquelas suficientes para propiciar um maior conforto aos usuários, seja no verão, seja no inverno. Nesse sentido, segundo Lopes (2014), quando as temperaturas a serem trabalhadas são consideradas pequenas, como no caso da climatização, se faz necessário o uso de bombas de calor (Ground Source Heat Pump – GSHP).

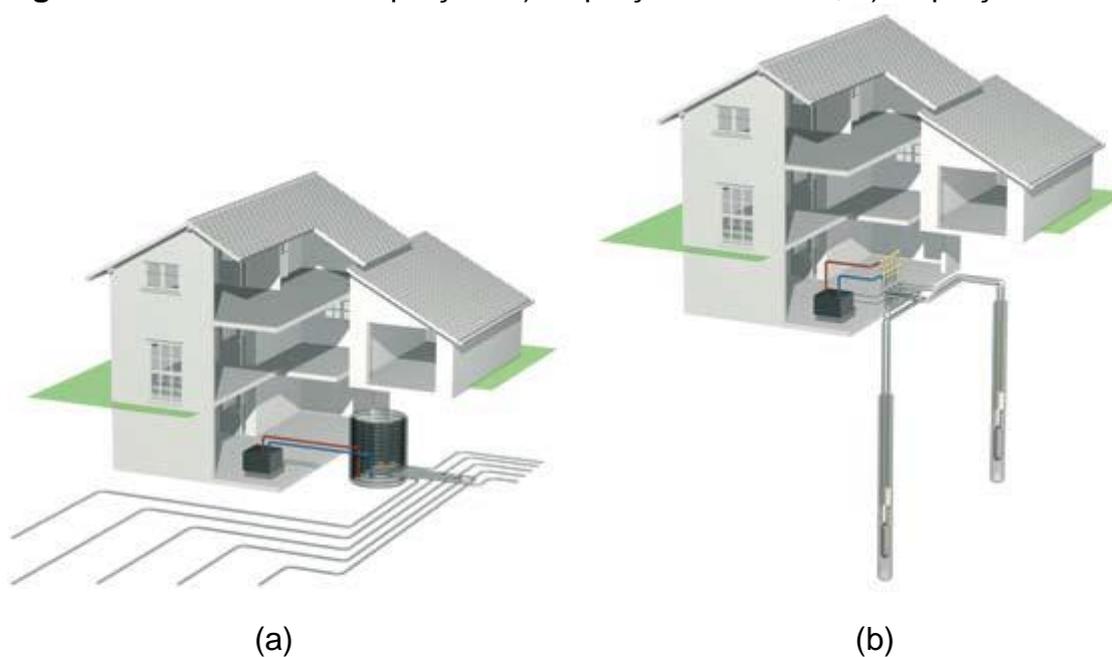
Esse Sistema GSHP trata-se de equipamentos utilizados para fazer o aproveitamento e a transferência do calor que se encontra armazenado à pequenas profundidades da superfície terrestre, permitindo o aquecimento e arrefecimento de águas e das edificações. Assim, nas estações frias esse sistema irá recuperar o calor armazenado à pequenas profundidades e, nas estações quentes, o calor do ambiente construído será transferido e dissipado no subsolo (TAVARES, 2011).

Um Sistema GSHP é composto por 3 membros essenciais: o circuito primário, o circuito secundário e a bomba de calor. Assim, o circuito primário abrange a parte

responsável por estabelecer o contato com o solo, ou seja, toda a tubulação por onde irá percorrer o fluido que transportará a energia térmica. O circuito secundário engloba a parte responsável por promover o contato com o interior do ambiente construído, ou seja, toda a tubulação por onde o calor será adicionado ou retirado. Por fim, a bomba de calor, tem a função de promover a ligação entre ambos os circuitos, sendo constituída por um evaporador, um compressor e um condensador (LOPES, 2014), garantindo assim a climatização eficiente do ambiente, tanto nas estações quentes, quanto nas estações frias.

O circuito primário que compõe o Sistema GSHP, pode ser instalado de duas maneiras diferentes. Segundo Brandl (2006), para os sistemas de energia geotérmica de muito baixa entalpia, há duas formas para se captar a energia térmica contida no solo, sendo elas: horizontal ou vertical (Figura 1). Tanto um, quanto o outro, possuem características particulares, condicionantes no momento da escolha de cada método.

Figura 1 – Sistemas de Captação: a) Captação Horizontal, b) Captação Vertical.



Fonte: Rehau, (2008).

A captação horizontal é realizada por meio das tubulações dispostas e enterradas no solo horizontalmente, nas proximidades de onde se deseja climatizar e, geralmente, costuma-se alocar esses tubos em formato de “U” ou helicoidal (BRANDL, 2006).

Nesse tipo de captação é preciso que se tenha uma área livre no terreno, para dispersão e captação do calor do solo, de 1,5 a 2 vezes maior que o ambiente que se necessita climatizar. Essa área da instalação não pode ser coberta por nenhuma construção, como garagens, edifícios, e nem por pavimentos impermeabilizados, pelo fato de o calor armazenado nessas camadas superficiais do solo ser oriundas do sol e da chuva,

assim, os mesmos não podem ser impedidos de alcançar o solo, no qual se encontra as instalações (RIO, 2011).

A vantagem dessa captação horizontal, está no baixo custo de instalação. Porém, em contrapartida, precisa-se de uma área de instalação consideravelmente grande, além de estar submetido à oscilação da temperatura da camada de solo superficial (MARZBANRAD; SHARIFZADEGAN; KAHROBAEIAN, 2007).

Já a captação vertical é realizada por meio das tubulações dispostas e enterradas no solo verticalmente. Para isso, segundo Brandl (2006), a maneira mais usual é realizar furos artesianos no solo, nos quais serão alocados tubos em formato de “U”.

Com isso, nesse tipo de captação, a área utilizada para a instalação é muito pequena, quando comparada à captação horizontal. Nesse sentido, a captação vertical se faz necessária quando se há uma limitação de área disponível próxima à edificação, uma vez que o diâmetro das sondas geotérmicas comumente utilizados giram em torno de 32 ou 40 milímetros, enquanto que os furos, dependendo tipo de solo e da potência térmica requerida, podem estar compreendidos entre 20 e 200 metros (RIO, 2011).

A vantagem dessa captação vertical, está no tamanho da área de terreno utilizado para a instalação, que é nitidamente inferior ao da captação horizontal. Além disso, por possuir maiores profundidades, a temperatura do solo é mais estável (CRUZ, 2013). Em contrapartida, é a captação mais cara, tendo em vista que somente os furos equivalem a um terço do custo total da instalação, porém, fornece maior garantia e possui comportamento econômico e conforto térmico mais eficientes (RIO, 2011).

Partindo do exterior da edificação, chegamos agora no interior do ambiente construído, onde o circuito secundário que compõe o Sistema GSHP se encontra presente. Segundo Rio (2011), uma das melhores soluções de sistema de distribuição a se utilizar no interior do ambiente construído, com a finalidade de aquecê-lo e resfriá-lo, é o pavimento radiante e o ventiloconvetor, posto que trarão maior eficiência ao sistema geotérmico.

O pavimento radiante é uma laje flutuante instalada acima da laje estrutural, constituída por um painel porta tubos isolante, no qual são dispostos os tubos por onde o fluido irá circular. Ao fim, utiliza-se uma argamassa com aditivo que impeça a entrada de ar na mesma, proporcionando maior adesão aos tubos. Assim, no aquecimento, essa argamassa será responsável por absorver o calor trazido pelo fluido, a qual, atingindo a saturação, começará a transmitir calor para o ambiente construído por radiação. Enquanto que no arrefecimento, o fluido irá absorver o calor do ambiente e encaminhará até o solo (RIO, 2011).

O ventiloconvetor é um equipamento que incorporado ao sistema geotérmico, irá climatizar o ambiente construído. Esse equipamento pode ser instalado tanto na parede, quanto no teto, suspenso ou embutido. Quando embutidos, as grelhas devem ficar aparentes, para que possa ser feita a emissão do ar. Dessa forma, devido as condensações, é preciso disponibilizar um tubo direcionado para a rede de esgoto (RIO, 2011).

Assim, a Energia Geotérmica Superficial é uma estratégia para o conforto térmico, uma vez que, por meio de condutores subterrâneos, aproveita-se a temperatura amena do subsolo nas proximidades da superfície, para então aquecer o ambiente construído durante o inverno e resfriá-los durante o verão (FONSECA *et al.*, 2014). Além disso, a Energia Geotérmica mostra evidências de um futuro promissor, uma vez que trata-se de uma fonte de energia limpa e renovável, sendo viável e ambientalmente sustentável, abrindo caminhos para o crescimento dos investimentos nessa área de pesquisa (OMIDO *et al.*, 2018).

OBJETIVOS GERAIS

O presente Trabalho tem o intuito de avaliar o potencial de utilização da Energia Geotérmica Superficial de Tupi Paulista - SP para climatização do ambiente construído, através da verificação da estabilidade da temperatura do subsolo à pequenas profundidades.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Avaliar o comportamento da temperatura do subsolo em diferentes profundidades, a saber: 0,0 metros, 1,5 metros, 3,0 metros, 4,5 metros e 6,0 metros.

Verificar que a temperatura do subsolo tende a uma estabilidade à medida que aumentamos a profundidade, como descrito na literatura.

Gerar base de dados para um futuro mapeamento geotérmico da região de Tupi Paulista - SP.

3 METODOLOGIA

Sabendo-se que o solo é uma grande fonte e armazenamento de calor, uma vez que nas suas camadas mais superficiais há uma energia armazenada na forma de calor, conhecida por Energia Geotérmica, uma fonte limpa e renovável de energia, o presente trabalho ganha forças para realizar uma avaliação do potencial da energia geotérmica superficial do solo de Tupi Paulista - SP. Nesse sentido, definiu-se que os estudos seriam realizados para as profundidades de 0,0m (temperatura ambiente), 1,5m, 3,0m, 4,5m e 6,0m, por meio dos quais seria possível determinar o comportamento térmico do solo no decorrer das mudanças climáticas do meio ambiente.

Para que as aferições de temperatura acontecessem de modo seguro e confiável utilizou-se um tipo de sensor adequado às condições em que o mesmo estaria submetido ao longo do tempo: o Sensor de Temperatura DS18B20¹, com capacidade para atuar tanto em solos saturados (solo de Tupi Paulista - SP) quanto em solos submersos, por tratar-se de um sensor à prova d'água (Figura 2).

Figura 2 - Sensor de Temperatura DS18B20.



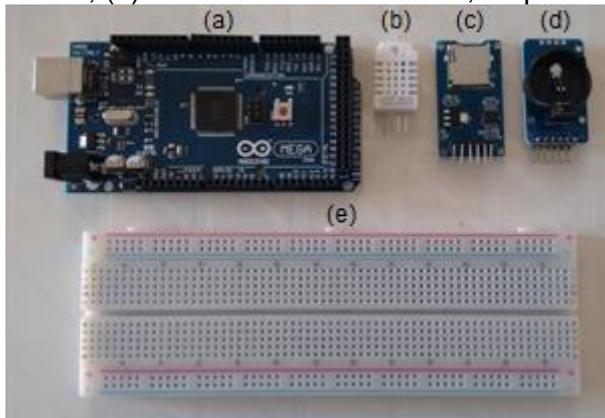
Fonte: Autor, (2019).

A coleta e armazenamento das temperaturas foram efetuadas por meio do Arduino Mega 2560 R3² (uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre e de placa única) e uma protoboard de 830 furos. No Arduino foi instalado um *software* responsável por comandar todas as ações necessárias para se adquirir as temperaturas de cada profundidade do solo, enquanto que na protoboard foram conectadas três diferentes módulos: Módulo DHT22, Módulo Micro SD Card e Módulo RTC DS1307 (Figura 3), além dos 5 sensores de temperatura DS18B20.

¹ Sensor de Temperatura DS18B20: Sensor de Temperatura Digital Dallas à prova d'água;

² Arduino Mega 2560 R3: Placa constituída por um microcontrolador do tipo ATmega2560.

Figura 3 – (a) Arduino Mega 2560 R3, (b) Módulo DHT22, (c) Módulo Micro SD Card, (d) Módulo RTC DS1307, (e) Protoboard de 830 furos, respectivamente.

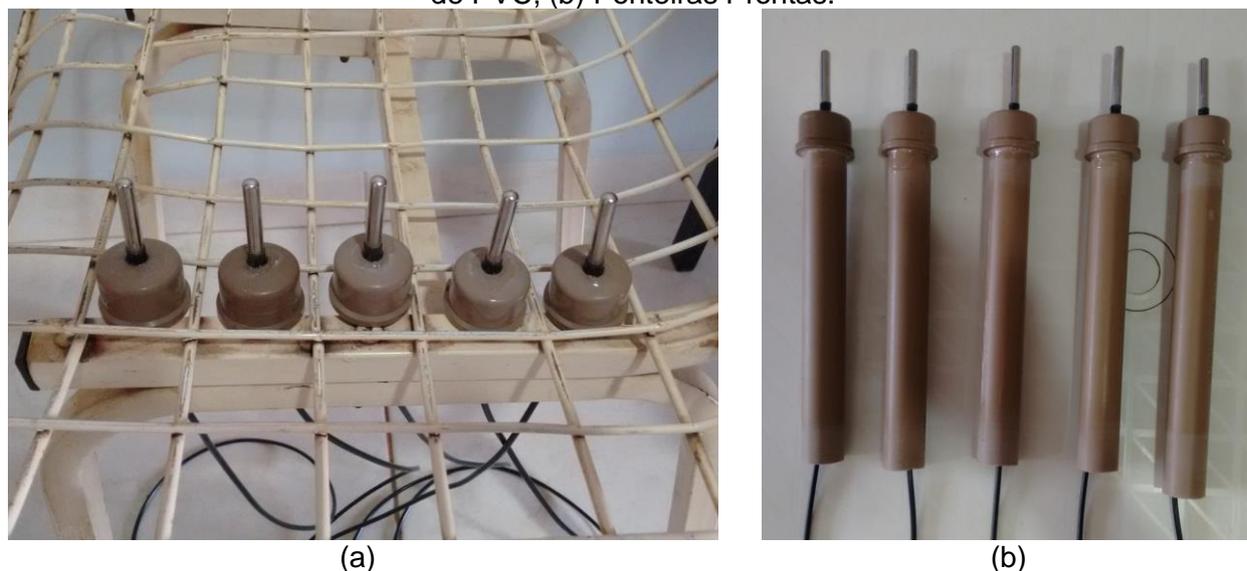


Fonte: Autor, (2019).

O Módulo DHT22 foi responsável por obter a temperatura e umidade ambiente. O Módulo RTC DS1307 registrou a hora e data exata em que aconteciam a coleta e armazenamento dos dados, neste caso de 5 em 5 minutos, enquanto que o Módulo Micro SD Card teve a função de armazenar, em formato de texto, todos os dados coletados.

Inicialmente, foi realizado o preparo das ponteiras dos sensores de temperatura para que os mesmos obtivessem maior estabilidade quando fossem inseridos nas suas respectivas profundidades do solo. Assim, os sensores foram inseridos e fixados nos Caps de PVC de 3/4" (Figura 4-a), para posteriormente serem conectados à um Tubo de PVC de 3/4" com 25 centímetros de comprimento (Figura 4-b).

Figura 4 - Preparação das Ponteiras. (a) Sensores de Temperatura DS18B20 fixados aos Caps de PVC, (b) Ponteiras Prontas.

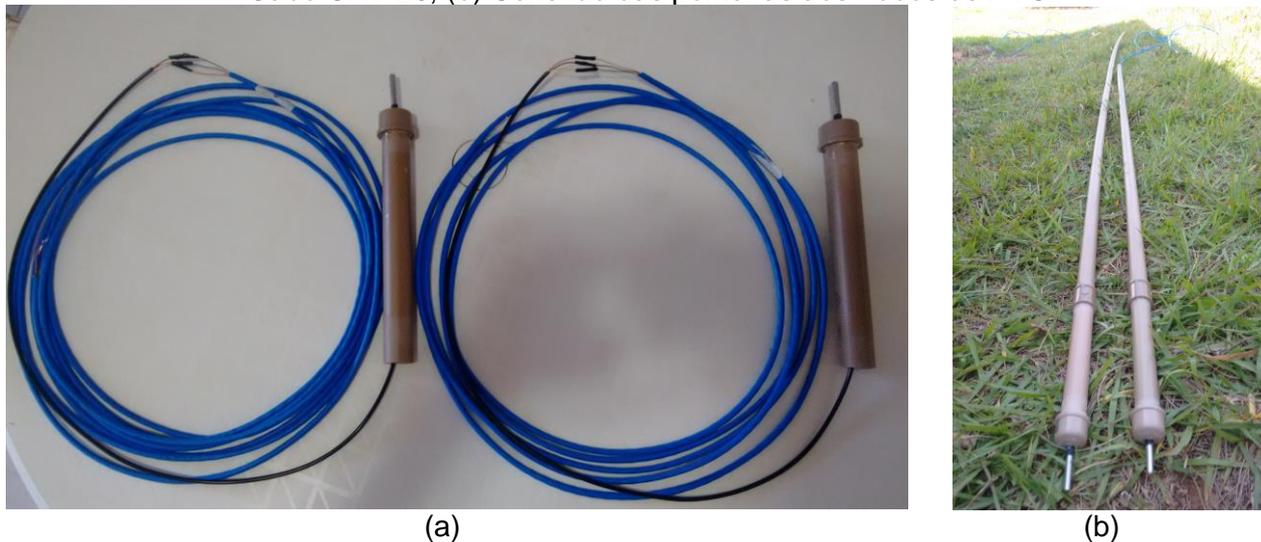


Fonte: Autor, (2019).

Uma vez que os sensores de temperatura possuíam 1 metro de comprimento de fábrica, houve a necessidade de conectá-los ao Cabo de Ethernet do Tipo CAT E6, por meio de uma emenda de prolongamento, para se atingir os comprimentos desejáveis

(Figura 5-a). A escolha desse tipo de cabo, se justifica, pelo fato de os mesmos possuírem melhores desempenho na transmissão de dados, requisito essencial para os resultados do trabalho. Com as emendas prontas, realizou-se a conexão das ponteiros aos Tubos de PVC de 3/4", cada qual com seu respectivo comprimento (1,5m, 3,0m, 4,5 e 6,0m), garantindo a estabilidade do sistema (Figura 5-b).

Figura 5 - Complemento das Ponteiros. (a) Conexão dos Sensores de Temperatura DS18B20 ao Cabo CAT E6, (b) Conexão das ponteiros aos Tubos de PVC.



Fonte: Autor, (2019).

Dessa forma, com a configuração dos sensores de temperatura prontos para serem instalados, foi possível dar início a abertura dos furos, nos quais seriam inseridos as tubulações prontas (Figura 5-b). Assim, inicialmente, preparou-se uma cavidade com 25 centímetros de profundidade e 30 centímetros de diâmetro, a partir da qual se realizou o processo para abertura dos furos (Figura 6). Por meio de um Trado Manual de 3/4" atingiu-se as cotas dos furos definidos para o trabalho (1,5m, 3,0m, 4,5m e 6,0m).

Figura 6 – Abertura dos Furos com o Trado Manual de 3/4".



Fonte: Autor, (2019).

Por fim, o sistema de coleta e armazenamento de temperatura do solo se manteve instalado na cidade de Tupi Paulista - SP realizando o mapeamento geotérmico da região (Figura 7-a e b).

Figura 7 - Sistema de leitura, coleta e armazenamento de temperaturas do solo. (a) Sensores de temperatura, (b) Conexão ao Arduino.



Fonte: Autor, (2019).

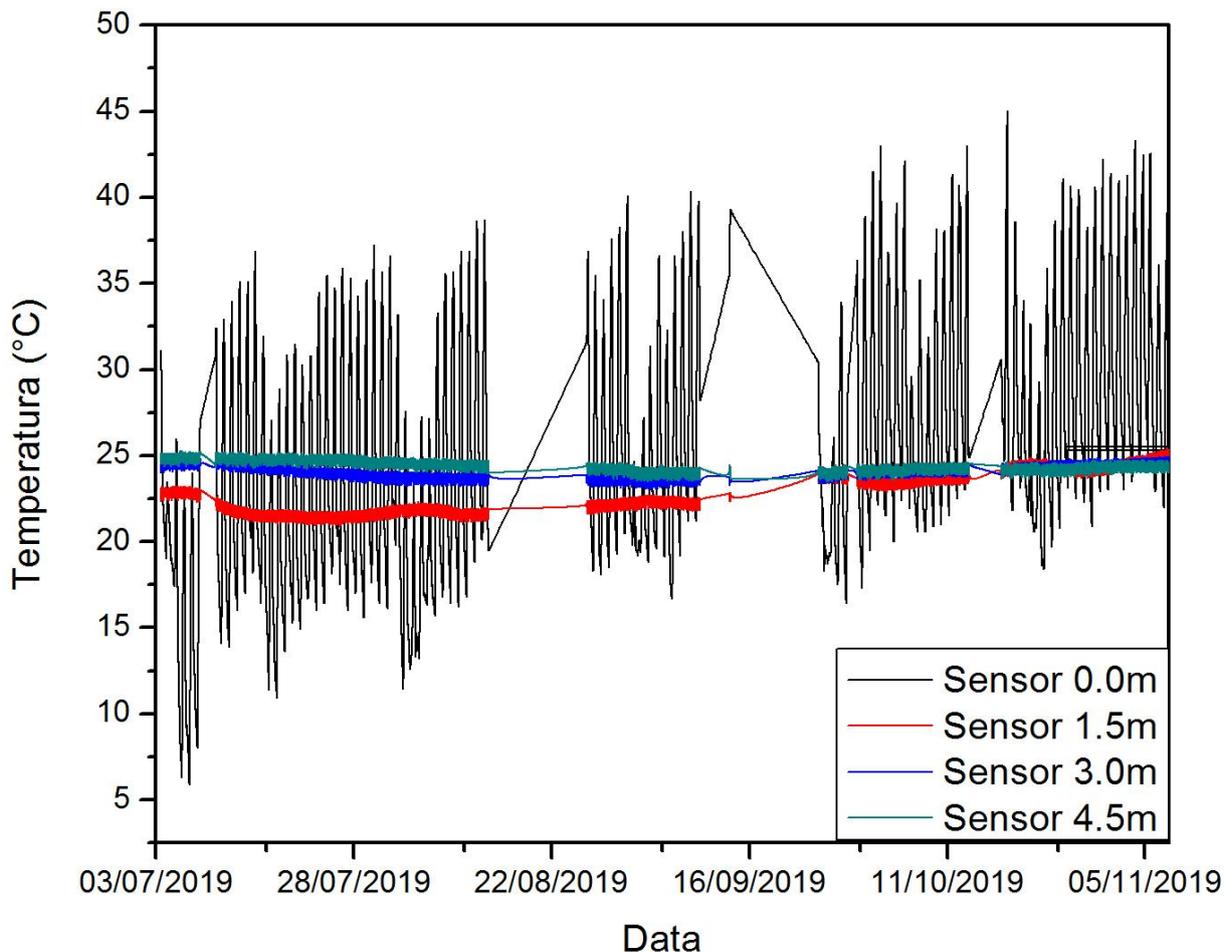
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de coleta e armazenamentos de temperatura do solo de Tupi Paulista - SP permaneceu operando por 4 meses, compreendidos de 03 de Julho de 2019 à 08 de Novembro de 2019. Nesse período foi possível perceber que as camadas próximas a superfície do solo são mais sensíveis a variação da temperatura ambiente, enquanto que as camadas mais profundas possuem uma sensibilidade menor. Assim, à medida que aumentamos a profundidade do solo, sua temperatura tende a ficar cada vez mais estável, mostrando ser o solo uma grande fonte de armazenamento de calor.

Das profundidades do solo estudadas, o sensor de temperatura alocado à 6 metros apresentou problemas técnicos, realizando algumas leituras em um período e parando de funcionar em outros, e por isso, os resultados não estão sendo apresentados.

O período de coletas de dados foi marcado por praticamente todo o Inverno, contendo apenas o início da Primavera. Esse fato fica evidente ao observarmos a Figura 8 das temperaturas, uma vez que a temperatura do solo a 1,5 metros de profundidade se manteve, ao longo do tempo, com temperaturas inferiores às temperaturas das demais profundidades, reforçando a ideia de que as camadas superficiais de solo são de fato mais sensíveis a variação de temperatura ambiente do que as camadas mais profundas.

Figura 8 - Temperaturas do Solo de Tupi Paulista - SP à diferentes profundidades.



Através do gráfico referente às coletas de temperaturas a diferentes profundidades, observamos também a amplitude térmica ocorrida para cada profundidade durante esses 4 meses de operação do sistema (Tabela 1). Para o ambiente externo, nota-se uma amplitude térmica de 39,20°C, enquanto que para a profundidade de 4,5 metros essa amplitude térmica se reduz à 1,88°C, conferindo ao solo um caráter de estabilidade térmica que permite utilizá-lo como uma fonte de calor no inverno e um dissipador de calor no verão.

Tabela 1 - Temperaturas máximas e mínimas apresentadas pelos sensores.

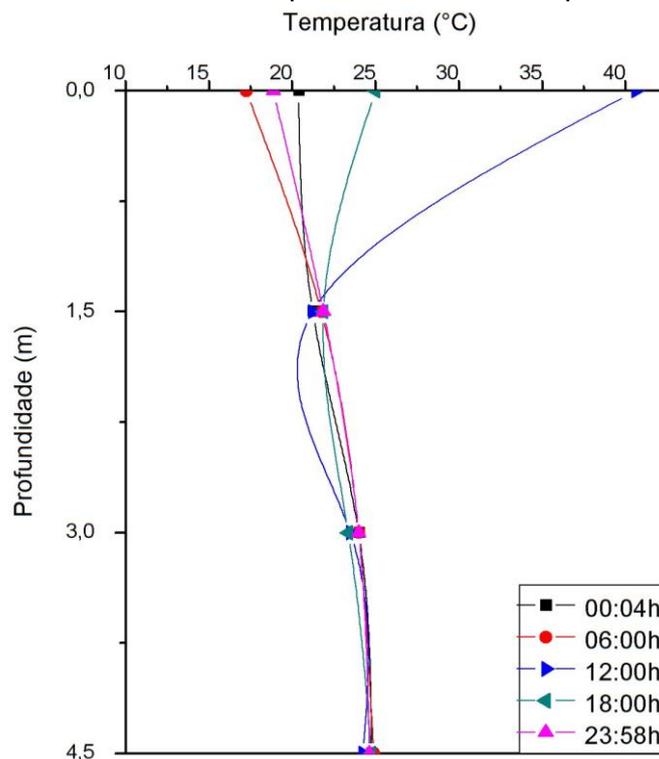
		Temperatura (°C)		
		Máxima	Mínima	Amplitude Térmica
Temperatura Ambiente	Sensor 0,0 m	45,10	5,90	39,20
	Sensor 1,5 m	25,50	20,88	4,62
Temperatura no Solo	Sensor 3,0 m	25,00	23,00	2,00
	Sensor 4,5 m	25,38	23,50	1,88

Fonte: Autor, (2019).

Com a Tabela 1 podemos perceber que o solo sofre pequenas variações de temperatura, independente da elevada amplitude térmica ocorrida no ambiente, e que essa mudança de temperatura do solo tende a ser cada vez menor conforme adentramos à maiores profundidades do solo. Com isso, as camadas superficiais de solo, de até 1 metro, estão sujeitas a uma variação diária de temperatura, enquanto que, as camadas de solo mais profundas sofrem apenas variações anuais de temperatura, como notamos à 1,5m, 3,0m e 4,5m. Dessa forma, à medida que nos acercamos dos 6 metros de profundidade do solo, a temperatura do mesmo tenderá a se aproximar da temperatura média anual da região em que se encontra.

É importante realçar o comportamento térmico do solo ocorrido em apenas um dia, após ter sido submetido a intensa ação dos raios solares. Percebemos o quanto a amplitude térmica do meio ambiente é elevada, porém, o solo permanece praticamente inalterável para as profundidade de 1,5m, 3,0m e 4,5m (Figura 9). Novamente se reforça a ideia de que as camadas mais profundas sofrem variações de temperatura anuais, possuindo dessa forma, variações de temperatura diárias quase que imperceptíveis.

Figura 9 - Temperaturas do Solo de Tupi Paulista - SP em apenas 1 dia (30/09/2019).



Fonte: Autor, (2019).

5 CONCLUSÃO

Pelo fato de o Brasil possuir fontes de energia firmadas em recursos hídricos, ele acaba relegando a segundo plano os investimentos em novas fontes de energia limpa e renovável. Porém, tal fato não justifica ausência de outro, ainda mais tratando-se de um

assunto envolvendo questões sociais e econômicas de um País. O Brasil pode ser considerado um país com elevado índice de fontes de energia renováveis, porém é preciso olhar para o mundo como um todo, uma vez que, a nível mundial, o consumo de energia acontece, principalmente, por fontes não renováveis, com aproximadamente 76% do total.

Se manter refém de fontes de energia que sabemos que tem um prazo determinado para se esgotar, além de emitir gases poluentes à atmosfera, cria uma situação contraditória, pois, ao mesmo tempo em que queremos consumir para satisfazer nossas necessidades, estamos também poluindo o meio ambiente, destruindo-o, sendo que ele é essencial para nossa sobrevivência.

Essa preocupação de grande porte, torna sim, um dever de todos os países, realizar investimentos em fontes de energia limpa e renovável, caminhando a favor da sustentabilidade. É preciso uma união de todos os países para que o meio ambiente comece a ser tratado como merece: com respeito. Se dependemos do meio ambiente para sobreviver, é preciso usufruí-lo de modo racional, ou seja, de tal modo, que satisfaremos a geração contemporânea, sem comprometer as futuras gerações e tão pouco menos agredir o meio ambiente.

Um grande exemplo de energia limpa e renovável é a própria Energia Geotérmica Superficial. Esta se encontra disponível durante todo o ano, independente das estações climáticas e em constante renovação. É fato que trata-se de um método um pouco mais caro quando comparado aos métodos convencionais. Isso somente acontece, por tratar-se de um mecanismo pouco difundido, que conseqüentemente, acaba acarretando maiores custos iniciais. Porém, com o aumento dos investimentos em tal método, seria uma questão de tempo, para que esse custo viesse a se reduzir significativamente, tornando-se viável para todos.

A grande estabilidade térmica em que se encontra o solo à pequenas profundidades, o credencia como uma das grandes alternativas para reduzirmos o consumo de energia elétrica, que vem crescendo tanto nos dias de hoje. Essa nova fonte de energia aliada aos métodos convencionais de climatização (ar condicionado, por exemplo), trabalhando em um sistema híbrido, proporciona uma redução significativa nas contas de energia.

Portanto, a avaliação do potencial do uso da energia geotérmica do solo de Tupi Paulista - SP, foi essencial para confirmarmos o encontrado na literatura, que as temperaturas do solo para as profundidades de 1,5m, 3,0m e 4,5m são estáveis e encontram-se em torno de 20°C e 25°C, ou seja, se encontram enquadradas em uma faixa de temperatura correspondente a Energia Geotérmica de Muito Baixa Entalpia, podendo

ser utilizada para climatização do ambiente construído, tanto para aquecê-los quanto para arrefecê-los.

RECOMENDAÇÕES

Para os futuros trabalhos recomenda-se que, na preparação das ponteiras dos Sensores de Temperatura DS18B20, sejam fixados nos Caps de PVC de 3/4" dois sensores de temperatura, ao invés de apenas um, como foi feito nesse Trabalho de Conclusão de Curso. Assim, caso um sensor pare de funcionar, haverá outro alocado na mesma cota para substituí-lo.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus por me conceder a honra de iniciar e concluir a Graduação de Engenharia Civil na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), me fazendo enfrentar um caminho novo, porém muito compensativo.

Gostaria de agradecer meus pais Antonio Gonçalves Sanches e Márcia Regina Sabião Sanches por todo apoio fornecido durante toda minha Graduação, em destaque para o último ano, período no qual estive me dedicando a elaboração desse Trabalho de Conclusão de Curso e, graças à dedicação dos meus pais que auxiliaram na coleta dos dados da temperatura do solo de Tupi Paulista - SP, foi possível elaborar todos os resultados aqui contidos. Agradeço meus pais pela colaboração e incentivo fornecidos durante a instalação do sistema de coleta e armazenamento de dados. Gostaria de agradecer meu irmão, Édipo Sabião Sanches, por todo auxílio fornecido durante a instalação do sistema de coleta e armazenamento de dados, e por acompanhar passo a passo da elaboração desse Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço também meu Professor Doutor Agleison Ramos Omido por todos os conselhos e pelo acompanhamento destinado à realização desse Trabalho de Conclusão de Curso, além de ter transmitido sua grande experiência da Engenharia Civil.

REFERÊNCIAS

AMEND, Thora; BARBEAU, Bree; BEYERS, Bert; BURNS, Susan; EIBING, Stefanie; FLEISCHHAUER, Andrea; KUS-FRIEDRICH, Barbara; POBLETE, Pati. **Uma Grande Pegada num Pequeno Planeta? Contabilidade através da Pegada Ecológica. Ter sucesso num mundo com crescente limitação de recursos.** In: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). A sustentabilidade tem muitas faces, 2010.

BAPTISTA, Vinícius Ferreira. **A Relação entre o Consumo e a Escassez dos Recursos Naturais: Uma Abordagem Histórica.** Revista Acadêmica Saúde & Ambiente, Duque de Caxias - RJ, v.5, n.1, p. 8-14, jan-jun 2010. ISSN 1980-2676 versão *on-line*. Semestral.

Disponível em: <http://publicacoes.unigranrio.edu.br/index.php/sare/article/view/921>. Acesso em: 5 abr. 2019.

BRANDL, H. **Energy foundations and other thermo-active ground structures**. Revista Géotechnique, Viena - Áustria, v.56, n. 2, p. 81-122, 2006. ISSN 0016-8505 versão *on-line*. Disponível em: <https://www.icevirtuallibrary.com/doi/10.1680/geot.2006.56.2.81>. Acesso em: 27 abr. 2019.

BRONZATTI, Fabrício Luiz.; NETO, Alfredo Iarozinski. **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: 5 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.

COSTA, Ana Flávia Magalhães; STUTZ, Beatriz Lemos; MOREIRA, Gustavo de Oliveira; DA GAMA, Marcos Magno. **Sociedade atual, comportamento humano e sustentabilidade**. Revista Caminhos de Geografia, v.5, n.13, p. 209-220, 2004. ISSN 1678-6343 versão *on-line*. Trimestral. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/15362>. Acesso em: 14 abr. 2019.

CRUZ, Ricardo Jorge Lucas Vaz. **Utilização da Energia Térmica do Solo pra Climatização de edifícios**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro, Portugal, 2013.

DE CAMARGO, Arilde Sutil G.; UGAYA, Cássia Maria Lie; AGUDELO, Libia Patricia Peralta. **Proposta de Definição de Indicadores de Sustentabilidade para Geração de Energia Elétrica**. Revista Educação & Tecnologia, Curitiba - PR, n.8, 2004. ISSN 2179-6122 versão *online*. Periódico Técnico Científico dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia dos CEFETs-PR/MG/RJ. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/revedutec-ct/issue/view/57/showToc>. Acesso em: 14 abr. 2019.

DA SILVA, Ennio Peres; CAMARGO, João Calos; SORDI, Alexandre; SANTOS, Ana Maria Resende. **Recursos energéticos, meio ambiente e desenvolvimento**. Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp (Multiciência), Campinas – SP, 2003. ISSN 1806-2946.

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). **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro: EPE, 2018.

EWING, Brad; MOORE, David; GOLDFINGER, Steven; OURSLER, Anna; REED, Anders; WACKERNAGEL, Mathis. **The Ecological Footprint Atlas 2010**. Oakland: Global Footprint Network, 2010.

FONSECA, Ingrid; CASALINI, Thaiana; TUCCI, Fabrizio; BATTISTI, Alessandra. **O estado da arte sobre o uso da geotermia na arquitetura**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, 2014, Maceió, AL. Anais (on-line). Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/301435367>. Acesso em: 5 abr. 2019.

GALIANO, Jorge Riera. **Estudio de la energía geotérmica en la eficiencia energética de las viviendas unifamiliares**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura Técnica) - Universidad de Alicante, Escuela Politécnica Superior, Espanha, 2014.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. Revista Usp, São Paulo, n.72, p. 6-15, dezembro/fevereiro 2006-2007. ISSN 0103-9989 versão *on-line*. Trimestral. Disponível em: <http://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13564>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GOMES, Antonio Jorge de Lima. **Avaliação de recursos geotermiais da Bacia do Paraná**. 2009. Tese (Doutorado em Geofísica) - Coordenação de Pós-Graduação do Observatório Nacional / MCT, Rio de Janeiro, 2009.

GONÇALVES, Diogo Jorge Pereira. **Utilização de Bombas de Calor Geotérmico no Aquecimento e Climatização da Academia Militar**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão da Energia) - Instituto Superior Técnico de Lisboa, Portugal, 2017.

KANBUR, Ravi; CALVO, Christina Malmberg; DAS GUPTA, Monica; GROOTAERT, Christiaan; KWAKWA, Victoria; LUSTIG, Nora; **Relatório sobre o Desenvolvimento Mundial 2000/2001 – Luta Contra a Pobreza**. Relatório de desenvolvimento mundial, v.1, n.22684. Oxford University Press, 2001. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/pt/927161468164645652/Relatorio-sobre-o-desenvolvimento-mundial-2000-2001-luta-contr-a-pobreza>. Acesso em: 14 abr. 2019.

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.

MARZBANRAD, Javad; SHARIFZADEGAN Ali; KAHROBAEIAN Ahmad. **Thermodynamic Optimization of GSHPS Heat Exchangers**. International Journal of Thermodynamics, Istambul-Turquia, v. 10, n.3, p. 107-112, 2007. ISSN 1301-9724 versão *on-line*. Trimestral. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ijot/issue/5765/76734>. Acesso em: 27 abr. 2019.

MUSSKOPF, Diego Boschetti. **Estudos exploratórios sobre ventilação natural por tubos enterrados**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

NUNES, Alexandre Leite Ribeiro. **Eficiência Energética em Prédios Públicos**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Elétrica, Porto Alegre, 2010.

OMIDO, Agleison Ramos.; BARBOZA, Christian Souza.; SANCHES, Édipo Sabião.; SANCHES, Ítalo Sabião. **Estudos Iniciais Para Utilização da Energia Geotérmica na Climatização de Edifícios**. In: VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental - CONGEA, 2018, São José dos Campos, SP. Anais (on-line). Disponível em <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2018/X-007.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

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: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/X-005.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2019.

PASCOAL, Joana. **Reservatórios geotérmicos: estudo de um caso real**. 2013. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) - Universidade de Évora, Portugal, 2013.

PEREIRA, Agostinho Oli Koppe.; HORN, Luiz Fernando Del Rio; DOS SANTOS, Dagoberto Machado. **Relações de consumo: globalização**. Caxias do Sul, RS: Educs, 2010. 268 p. Disponível em: https://www.ucs.br/site/midia/arquivos/RC_GLOBALIZACAO_EBOOK.pdf. Acesso em: 14 abr. 2019.

RABELO, Jorge Luiz; DE OLIVEIRA, Jefferson Nascimento; DE REZENDE, Rosemiro J.; WENGLAND, 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/view/22057>. Acesso em: 27 abr. 2019.

REHAU. Indústria de Automação e Construção. **Sistema Rauego – Para el Aprovechamiento Geotérmico Información Técnica 827600 ES**. Rehau-Erlangen, Alemanha, 2008. Disponível em: <https://www.rehau.com/downloads/305376/info-tecnica-rauego.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2019.

RIO, José Pedro Teixeira Espinheira. **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.

SCORSATTO, Maicon Castro; DULLIUS, Maria Madalena; KONRAD, Odorico. **Uma abordagem alternativa para o ensino de física: consumo racional de energia**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ensino de Ciências Exatas, Universidade do Vale do Taquari, Univates, Lajeado, 2010.

TAVARES, Juvêncio Correia. **Integração de Sistemas de Bombas de Calor Geotérmicas em edifícios**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Coimbra, Portugal, 2011.

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.

WEBB, Peter Bourne; FREITAS, Tereza M. Bodas. **Considerações geotécnicas no dimensionamento e exploração de fundações com aproveitamento geotérmico**. In: XIII Congresso Nacional de Geotecnia, 2012, Lisboa, Portugal. Anais (On-line). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303340243_Consideracoes_geotecnicas_no_dimensionamento_e_exploracao_de_fundacoes_com_aproveitamento_geotermico_The_geotechnics_of_ground_source_energy_systems. Acesso em: 26 abr. 2019.