Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

VIABILIDADE DE UM SISTEMA GEOTÉRMICO DE CLIMATIZAÇÃO APLICADO A UM SUPERMERCADO DO SUDESTE BRASILEIRO

FEASIBILITY OF A GEOTHERMAL CLIMATIZATION SYSTEM APPLIED TO A SUPERMARKET IN SOUTHEASTERN BRAZIL

Hugo Henrique Azevedo Gonçalves
Mestre, Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: hugo.gonclaves@ufvjm.edu.br

Carlos Henrique Alexandrino
Doutor, Universidade dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil
E-mail: carlos.alexandrino@ufvjm.edu.br

Recebido: 01/03/2025 – Aceito: 17/03/2025

Resumo

Este artigo apresenta uma análise de viabilidade da utilização de um Sistema Geotérmico de Climatização (SGC) aplicado a um supermercado da cidade de Diamantina/MG, em que se compara o comportamento de um SGC a um sistema de ar condicionado (A/C) de referência. Para este estudo de caso, foi feita uma simulação termo energética do supermercado estudado para obtenção das cargas térmicas e dos consumos de energia do A/C. Foram feitas análises de viabilidade técnica e dimensionamentos de dez configurações de SGC, propondo-se uma configuração ótima que passou por análise de viabilidade econômica. Os resultados mostraram que há viabilidade técnica de utilização de um SGC no supermercado estudado, porém, o sistema proposto se mostrou inviável economicamente, em função dos custos atuais dos equipamentos. Contudo, como SGC apresentam melhor eficiência enérgica, no futuro sua utilização não pode ser descartada.

Palavras-chave: Geotermia Superficial; Sistema Geotérmico de Climatização; Bomba de Calor de Fonte Subterrânea; Eficiência energética; Climatização de ambientes.

Abstract

This paper presents a feasibility analysis of the use of a Geothermal Climatization System (GCS)

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

applied to a supermarket in the city of Diamantina/MG, which compares the behavior of a GCS compared to a reference air conditioning (A/C) system. For this case study, a thermo-energetic simulation of the supermarket was done to obtain the thermal loads and the A/C energy consumption. A technical feasibility analysis and sizing of ten GCS configurations were performed, proposing an optimal configuration that underwent an economic feasibility analysis. The results showed that there is technical feasibility of using a GCS in the supermarket studied, however, the proposed system proved to be economically unfeasible, due to the current costs of equipment. However, as the GCS presents a better energy efficiency, in the future its use cannot be ruled out.

Keywords: Shallow geothermal; Geothermal Climate Control System; Ground Source Heat Pump; Energy efficiency; Room climate control.

1. Introdução

Nos dias atuais, a gestão dos recursos energéticos se apresenta como um dos maiores desafios enfrentados pela sociedade mundial. Se por um lado enfrentamos a urgência em controlar o aquecimento global e diminuir as emissões de gases de efeito estufa, por outro, o desenvolvimento social e tecnológico faz com que o consumo de energia, que já é elevado, apresente uma perspectiva de crescimento para o futuro, desta forma se faz necessário estudar fontes de energias renováveis, como por exemplo a energia geotérmica (FROEDE et.al., 2024; GOMES e ALEXANDRINO, 2010; GUIMARAES et. al., 2020).

Em se tratando de energia elétrica, segundo a International Energy Agency (IEA, 2020), edifícios e instalações já consumiam no ano de 2019, 55% do uso mundial de eletricidade. No Brasil, em 2017, esse consumo foi de 51% do total, dos quais a Nota Técnica EPE 030/2018 (EPE, 2018) intui que a parcela gasta na climatização de ambientes supera os 32% para o setor residencial e 33% para o comercial (BRITO *et. al.*, 2024. Se espera, para o futuro, que o resfriamento de ambientes seja o principal contribuinte de uso da energia nos edifícios brasileiros (EPE; ONS; CCEE, 2020).

Diante deste cenário, a importância da utilização de sistemas de

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

refrigeração e aquecimento sustentáveis e de alta eficiência energética em nosso país é reforçada. Os ganhos de eficiência nesse setor terão significativa influência na demanda de pico e no gerenciamento geral de eletricidade, o que abre espaço e interesse para estudos de viabilidade dos Sistemas Geotérmicos de Climatização (SGC), frequentemente encontrados na literatura com a nomenclatura Graund Source Heat Pumps systems (GSHPs) (ASHRAE, 2019; IEA,2021).

Pouco conhecidos no Brasil, os SGC são sustentáveis e a maior aplicação geotérmica do mundo, com presença em 54 países no ano de 2020, com destaque para China, Estados Unidos, Suécia, Alemanha e Finlândia que juntos possuíam 77,4% das unidades instaladas (LUND; TOTH, 2020).

Já testados e aprovados no exterior, esses sistemas são a principal aplicação da Geotermia Superficial, que foi incluída no Plano Nacional de Energia para 2050 como uma das tecnologias disruptivas que são “aquelas capazes de alterar significativamente o mercado de energia, mas para o qual se tem poucos elementos para antever sua inserção na matriz energética e os desdobramentos decorrentes” (EPE, 2020 p. 185).

Nesse contexto, estudos de viabilidade dos SGC se mostram necessários para avaliação da entrada destes sistemas no mercado nacional. Esta viabilidade, porém, depende de muitos fatores e de análises específicas de cada caso, estando diretamente relacionada ao setor de aplicação do sistema e ao clima do local da instalação (WU, 2009; SARBU; SEBARCHIEVICI, 2014; CHIASSON, 2016).

Quanto ao setor de aplicação, os setores industrial e comercial despontam como passíveis à implantação de SGC, com o setor de supermercados e varejo se mostrando promissor, uma vez que são constituídos por grandes edifícios com alto consumo de energia elétrica, ampla área de terreno disponível e, possíveis variações de cargas de aquecimento e resfriamento que podem permitir uma integração de aplicações, para evitar desequilíbrios térmicos no solo (MANDS; SAUER, 2008).

Quanto ao clima do local de instalação, a observação do clima brasileiro indica que a maior área do seu território, apresenta clima equatorial ou tropical,

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

caracterizados por baixas amplitudes térmicas e altas temperaturas médias do ar atmosférico durante todos os meses do ano, o que resulta em demandas quase que exclusivas de resfriamento (IBGE, 2002). Regiões com clima mais amenos, porém, com classificação de Koppen “C – subtropical úmida”, como o Sul e considerável parte do Sudeste, podem apresentar também cargas de aquecimento nos períodos mais frios, o que eleva a perspectiva de utilização dos SGC para conforto térmico nessas regiões (ALVAREZ *et. al*., 2013).

Nesse contexto, a cidade de Diamantina, localizada no interior de Minas Gerais, se enquadra nestas características de parte do sudeste brasileiro. Ela se encontra em uma região classificada como Cwb pela classificação de Koppen, que indica um clima temperado úmido, com inverno seco e verão úmido. Apresenta temperatura média anual de 18,3°C, com temperaturas médias mensais máximas próximas à 26°C entre os meses de janeiro e março e temperaturas médias mensais mínimas entre 11,5°C e 13,7°C para o período de maio a setembro (ABNT, 2005; INMET, 2022).

Diante deste cenário, este artigo apresenta um estudo de viabilidade para aplicação de um Sistema Geotérmico de Climatização aplicado à um supermercado da cidade de Diamantina/MG. Para isso, se fez a simulação termo energética do edifício a fim de se determinar suas cargas térmicas e simular o consumo energético de sistemas de ar condicionado (A/C) de referência. Se avaliou a viabilidade técnica e se dimensionou dez diferentes configurações de SGC, propondo-se uma configuração ótima que passou então por análise de viabilidade econômica.

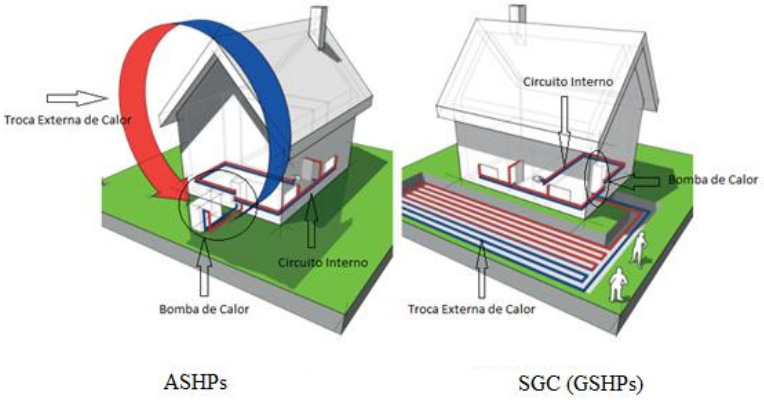
2. Revisão da Literatura

Os SGC (ou GSHPs) são sistemas de condicionamento de ambientes com bombas de calor que utilizam o solo, águas subterrâneas ou águas superficiais como fonte ou dissipador de energia (ASHRAE, 2019). Quando observados por completo, se assemelham aos tradicionais aparelhos de condicionamento a ar (Air-source heat pumps (ASHPs)) em uso no Brasil, como apresenta a Figura 1, pois consistem na conexão de três subsistemas principais: um Circuito Interno

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

responsável pela distribuição ou extração de calor dos espaços do edifício, muitas vezes semelhantes para SGC e ASHPs; uma Bomba de Calor como sistema central, responsável pela troca de calor entre o ambiente interno e a fonte externa e; um Trocador de Calor Externo, responsável pela entrega (ou retirada) de calor para (ou da) fonte externa. É neste último, como pode ser observado na figura abaixo, que está a principal diferença entre SGC e ASHPs (CETC, 2005; SELF; REDDY; ROSEN, 2013).

Figura 1– Subsistemas do ASHP (à esquerda) e do SGC (à direita)



Fonte: GREEN SQUARE, 2021. Adaptado.

A depender da geologia local e da sua capacidade calorífica, o solo terrestre apresenta, em poucos metros de profundidade, normalmente entre 10 m e 20 m, pouca ou nenhuma variação de temperatura durante o ano, informações descritas em vários trabalhos de avaliação de energia geotérmica. (ALEXANDRINO *et. al*., 2021; ALEXANDRINO e HAMZA, 2011; BATISTA *et. al*., 2022). Os SGC fazem uso dessa estabilidade térmica para conseguir maiores eficiências energéticas durante sua operação, tipicamente entre 30% e 50% superiores aos ASHPs cuja eficiência está sujeita às variações da temperatura ambiente. (SELF; REDDY; ROSEN, 2013; SARBU; SEBARCHIEVICI, 2014; AHMADI, 2017).

Quando o solo é a fonte/dissipador externo, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* (ASHRAE) nomeia os SGC como *Ground Couple Heat Pump* (GCHPs). Nestes, por um trocador de calor de solo

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

(*Ground Heat Exchange* (GHX)) que atua em circuito fechado, passa um fluido de transferência de calor, usualmente água ou mistura desta com anticongelante, transferindo energia entre o subsolo terrestre e o condensador / evaporador da bomba de calor (ASHRAE, 2011; SELF, REDDY, ROSEN, 2013). Este é o tipo de SGC mais comum sendo o de interesse deste trabalho, devido à maior disponibilidade do solo.

A depender das condições e limitações de projeto, o GHX pode ser disposto em uma série de poços verticais profundos ou em um arranjo horizontal de tubos enterrados a poucos metros da superfície, classificando os GCHPs em verticais ou horizontais (CETC, 2005).

Em SGC verticais, uma quantidade variada de poços verticais (boreholes, BHEs), com profundidades entre 15 m e 180 m e, diâmetros típicos entre 100 mm e 150 mm, são perfurados no solo para instalação dos tubos do GHX, que normalmente apresentam formato em U simples com diâmetros nominais entre 20 mm e 40 mm. Com tendência de maior viabilidade para grandes aplicações, as principais vantagens da desta configuração, em relação à horizontal, incluem: necessidade de menor área de solo disponível; menor impacto paisagístico e; contato com o solo em profundidades de temperaturas anuais mais estáveis, o que resulta em sistemas mais eficientes. Por outro lado, as principais dificuldades encontradas por esta configuração envolvem: maiores custos de instalação e; pouca disponibilidade de tecnologia e mão de obra (KAVANAUGH; RAFFERTY, 2014; ASHRAE, 2019).

Já em GCHPs horizontais, a tubulação do GHX é disposta em valas com profundidades usuais entre 1,5 m e 2 m. Tais tubulações podem ser dispostas de diferentes formas na vala, incluindo configurações de tubo único, tubo múltiplo ou em espiral, em série ou em paralelo. Caracterizados pela maior influência dos processos de superfície, os GCHPs horizontais possuem maior aplicação em edifícios de pequeno porte, como residências e pequenos comércios. Quando confrontados com os GCHPs verticais, apresentam considerável redução nos custos de instalação, não há potencial para contaminação de aquíferos e, um menor efeito do desequilíbrio de cargas anuais no desempenho do sistema é esperado. Em contrapartida, são menos eficientes, requerem maior

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

disponibilidade de área de solo e maiores comprimentos de tubulações, além de maior energia para bombeamentos (CETC, 2005; ASHRAE, 2011; SELF, REDDY, ROSEN, 2013; CHIASSON, 2016).

O projeto de SGC está condicionado ao conhecimento prévio das cargas a serem atendidas pelo sistema, bem como necessitam de dados que retratem as condições do clima e do subsolo local (CHIASSON, 2016). Uma vez conhecidos esses pontos, o projeto do SGC inclui a quantificação e o dimensionamento dos componentes dos subsistemas interno e externo, bem como a escolha da bomba de calor adequada.

Como expresso anteriormente, o subsistema interno é muitas vezes semelhante ao utilizado em instalações ASHPs. Neste estudo, o dimensionamento deste subsistema não é abordado pela consideração de que ele é, para o SGC projetado, igual ao do A/C de referência, sendo de interesse então o dimensionamento do subsistema externo e a escolha da bomba de calor.

Encontra-se na literatura diferentes metodologias para o dimensionamento do GHX, sendo os procedimentos para sistemas verticais melhor desenvolvidos e estudados. Este trabalho, segue principalmente as indicações da ASHRAE (2019) seguindo o procedimento descrito em Kavanaugh e Rafferty (2014).

Estes propõem duas equações, Equação 1 e Equação 2, que possibilitam a obtenção dos comprimentos de BHEs cilíndricos de SGC verticais para situações de aquecimento e resfriamento respectivamente, sendo escolhido como comprimento de projeto o maior entre eles (KAVANAUGH; RAFFERTY, 2014; ASHRAE 2019):

$$L_{heat} = \frac{\dot{q}_a R_{ga} + \dot{q}_{evap}\left(R_b + PLF_{m,heat} R_{gm} + F_{sc} R_{gst}\right)}{T_g - T_{w,heat} + T_p} \quad (1)$$

$$L_{cool} = \frac{\dot{q}_a R_{ga} + \dot{q}_{cond}\left(R_b + PLF_{m,cool} R_{gm} + F_{sc} R_{gst}\right)}{T_g - T_{w,cool} + T_p} \quad (2)$$

$\dot{q}_{evap}$ e $\dot{q}_{cond}$ onde: $q_a^{\cdot}$ se refere à taxa de transferência de calor anual ao solo; representam a taxa efetiva de transferência de calor retirada/entregue ao solo nos modos de aquecimento e resfriamento; R_{ga}, R_{gm}, R_{gst} representam as e resistências térmicas efetivas do solo, considerando os pulsos anual, mensal e curto, respectivamente; $PLF_{m,heat}$ e $PLF_{m,cool}$ correspondem ao fator de carga parcial

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

durante o mês de projeto; F_{SC} é o fator de perda de calor por curto circuito entre os tubos com fluido descendente e ascendente; T_w é a temperatura média do fluido ao passar pela bomba de calor e; T_p é a penalidade na temperatura do solo devido ao desequilíbrio de cargas.

Já para os SGC horizontais este trabalho segue sugestões fornecidas por Chiasson (2016), que adapta seu procedimento de GCHPs verticais aos GCHPs horizontais. Seguindo notação semelhante às equações anteriores, os comprimentos necessários às trincheiras horizontais para atender cargas de aquecimento e resfriamento, podem ser obtidos conforme Equação 3 e Equação 4, respectivamente:

onde: $\hat{q}_{m,heat/cool}$ é a taxa de transferência de calor mensal sobreposta; $\hat{q}_{h,heat/cool}$ é a carga terrestre horária de pico sobreposta; $T_{g,winter/summer}$ representa a temperatura média do solo para os meses de projeto de aquecimento e resfriamento respectivamente; R_{trench} é a resistência da trincheira.

Para consultar a forma de obtenção de cada variável das equações 1, 2, 3 e 4, sugere-se consultar a dissertação que gerou este artigo, Gonçalves (2023).

3. Metodologia

Para a análise de viabilidade de um SGC no supermercado em Diamantina/MG foi feito um estudo de caso. O levantamento efetivo dos dados do supermercado foi realizado "*in loco*" por coleta direta e/ou por consulta a documentos disponibilizados. Foram levantados dados necessários à obtenção das cargas térmicas locais, sendo 15 ambientes de interesse para conforto térmico, e 10 câmaras de armazenamento de produtos. Os dados do clima foram obtidos através da análise de uma série histórica de 13 anos, entre 2008 e 2020, com medições horárias pela estação meteorológica automática de Diamantina/MG, do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As temperaturas de projeto dos SGC foram definidas a partir do método de frequência de temperatura, considerando uma frequência de 1% conforme indica ASHRAE (2019). Para determinação dos limites de conforto térmico foram observados os

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

valores sugeridos na NR-17 (BRASIL, 2021). As propriedades geológicas de interesse foram estimadas emconsulta a tabelas de propriedades do solo da literatura específica, após caracterização do solo da região de Diamantina feita por consulta a mapa geológico e levantamento de poços hidrogeológicos da região nos sistemas GeoSGB e SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Para a definição das temperaturas do solo de projeto, foram utilizadas o recurso "CalcSoilSurfTemp" do EnergyPlus em conjunto com a Equação 5 indicada por CETC (2005). Para sistemas verticais, a estabilização indicada na equação 5 foi comparada à média da temperatura do solo não perturbado disponível no arquivo climático de Climate (2022).

$$T_g(x,d) = \bar{T}_g - A_s\, e^{\left[-x\left(\frac{\pi}{365\alpha_g}\right)^{\frac{1}{2}}\right]} \cos\left[\frac{2\pi}{365}\left(d - d_0 - \frac{x}{2}\left(\frac{365}{\pi\alpha_g}\right)^{\frac{1}{2}}\right)\right] \qquad (5)$$

onde:$\bar{T}_g$ é a temperatura média do solo anual, x é a profundidade do solo, d é o número de dias do ano; d_0 é o número de dias do ano a partir de 1° de janeiro em que ocorre a temperatura mínima da superfície; A_s é a amplitude da temperatura da superfície da Terra em relação ao ar.

A fim de se obter as cargas térmicas nos ambientes de interesse e se simular o consumo dos A/C de referência, foi feita a modelagem e simulação termo energética do supermercado estudado. Inicialmente, para inclusão das informações climáticas coletadas junto ao INMET, o arquivo climático original para a cidade de Diamantina foi atualizado utilizando-se o *Typical Meteorological Year* (TMY) (RORIZ, 2012). Na sequência, foi feita a modelagem, parametrização e calibração do supermercado utilizando-se os softwares *SketchUp* 2021 com extensão *Euclid* 0.9.4.3 e *EnergyPlus* versão 9.4.0. A calibração foi realizada com base na temperatura interna dos ambientes após a medição horária por um período de duas semanas em ambientes de referência, utilizando-se um *Data logger* de temperatura, modelo RC-5 com precisão é de ±0,5°C. Ela foi executada por análise de sensibilidade, adotando-se a raiz quadrada do desvio quadrático médio (*Root Mean Square Error*, RMSE) inferior à precisão do instrumento de medição e a aproximação visual dos gráficos como critérios de calibração

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

(ALVARADO, 2017). Uma vez calibrado o modelo, as simulações foram realizadas no EnergyPlus.

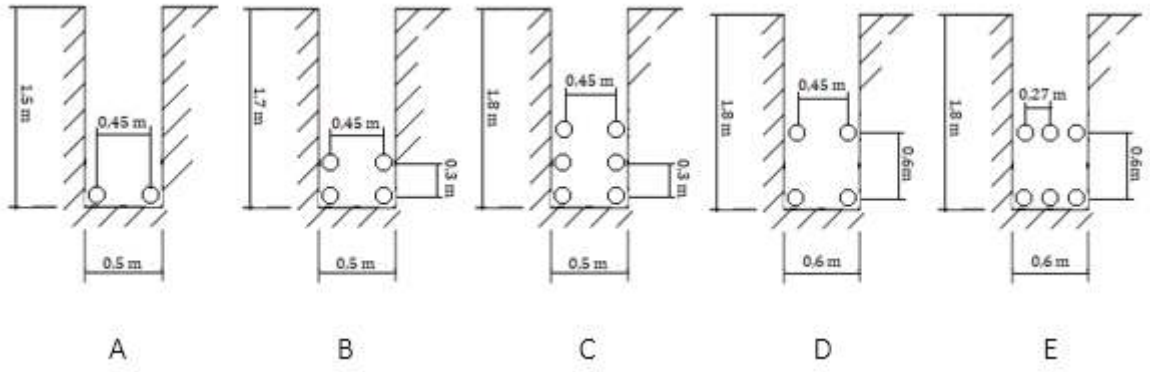
A etapa metodológica seguinte foram as análises de viabilidade técnica e os dimensionamentos dos SGC. Para ambos os sistemas, vertical e horizontal, iniciou-se por análises preliminares de viabilidade técnica, analisando-se a disponibilidade de materiais, equipamentos e mão de obra, bem como a disponibilidade do terreno sob propriedade do supermercado. Os dados necessários ao dimensionamento foram organizados em planilhas do Excel 2016 e os cálculos do comprimento do subsistema externo, foram feitos em scripts criados no programa Octave, sendo as equações 1 e 2 para sistemas verticais e, equações 3 e 4 para sistemas horizontais.

A seleção da bomba de calor geotérmica foi feita em catálogo de fabricante no exterior. Se definiu por avaliar três SGC verticais, realizando-se três dimensionamentos (D1, D2 e D3) em que se variou as vazões de líquido entre os extremos e o valor central da faixa indicada como típica por Kavanaugh e Rafferty (2014), respectivamente: 3,2 l/min kW; 2,95 l/min kW e; 2,7 l/min kW. Para cada vazão de líquido considerada, os SGC verticais foram dimensionados em processo iterativo com a potência de bombeamento necessária. Já para SGC horizontais, optou-se por avaliar cinco diferentes configurações para as dimensões da trincheira e o posicionamento das tubulações dentro dela, realizando-se cinco dimensionamentos (D4, D5, D6, D7, D8), conforme Figura 2. Considerou-se inicialmente uma vazão de 3,2 l/min kW, e após identificação da configuração que resultou em menores comprimentos para a trincheira e para as tubulações, foram feitos os dimensionamentos (D9, D10) para as vazões de 2,95 e 2,7 l/min kW.

Concluídos os dimensionamentos, selecionou-se a configuração do SGC que indicou maior viabilidade técnica para aplicação no supermercado estudado. Estimou-se então o consumo de energia mensais do SGC escolhido a partir do catálogo do fabricante das bombas de calor selecionadas. Os resultados desse procedimento foram então comparados aos consumos dos sistemas de A/C de referência.

Figura 2 – Configurações SGC horizontais analisadas

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602



Fonte: Chiasson, 2016; ASHRAE, 2019. Adaptado.

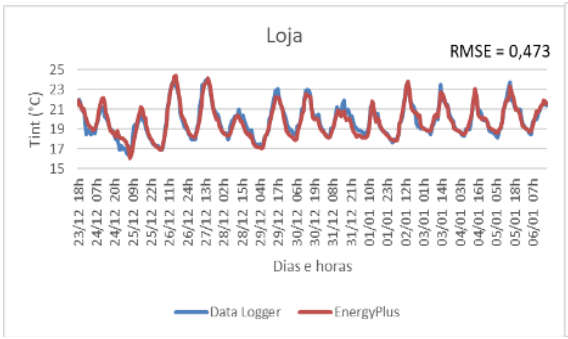
Para finalizar, foi feita uma análise de viabilidade econômica do SGC proposto utilizando-se o Custo do Ciclo de Vida para o período de projeto, 20 anos, conforme indica Chiasson (2016). Inicialmente, levantou-se as despesas com o investimento dos sistemas de A/C e SGC proposto e estimou-se os custos de operação e manutenção de cada sistema, corrigindo estes últimos pela inflação, estimada como a média histórica do Índice de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), disponibilizada pelo Banco Central do Brasil (2022). Na sequência, foi calculado o Valor Presente (VP) de todos os custos avaliados, utilizando-se como taxa de juros a média histórica da Taxa Selic. Comparou-se então os Custos do Ciclo de Vida de cada sistema, o que possibilitou a conclusão sobre a viabilidade econômica de utilização do SGC proposto.

4. Resultados e Discussão

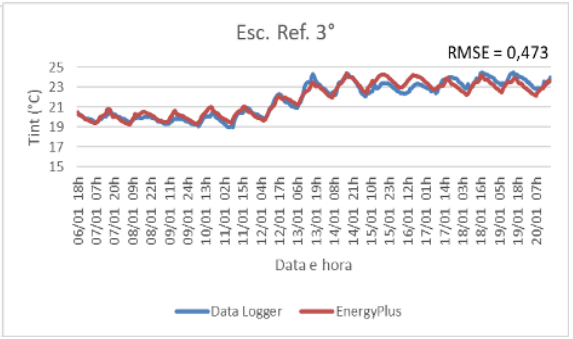
Após coleta de dados, construção geométrica e parametrização, o modelo do supermercado foi calibrado. Os resultados são apresentados nos Gráficos 1 (a), (b) e (c), onde observa-se boa aproximação entre os dados medidos pelo *data logger* e as simulações do *EnergyPlus*, bem como os valores de RMSE abaixo da precisão de ±0,5°C do instrumento de medição.

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

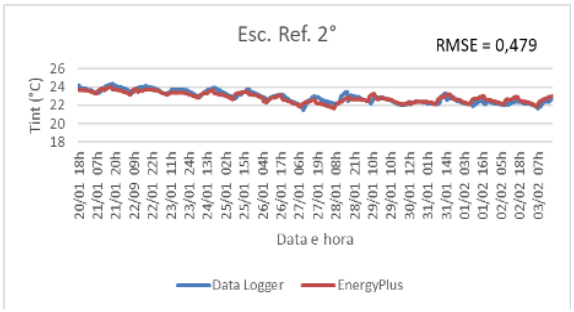
Gráfico 1: Visualização gráfica e RMSE: calibração.



a) Loja



b) Esc. Ref. 3°



c) Esc. Ref. 3°
Fonte: Próprio Autor, 2022.

Finalizadas as calibrações, as simulações puderam ser realizadas. A Tabela 1 apresenta as cargas térmicas de pico e o somatório anual de energia requerida/excedida pelo prédio para conforto térmico.

Tabela 1 – Cargas térmicas e energia anual requerida/excedida pelo Supermercado.

	Cargas de Pico (kW)		**Energia Anual (kWh)**	
	Aquecimento	**Resfriamento**	**Aquecimento**	**Resfriamento**
Ambientes de Interesse				
Loja	121,53	116,44	21771,83	15675,10
2° Andar	1,18	0,38	90,04	6,96
CPD	-------	2,81	---------	21157,28
3° Andar	3,28	1,50	395,59	13,10
TOTAL	**125,99**	**121,15**	**22257,46**	**36852,44**

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Como esperado, a loja apresenta as maiores demandas anuais de energia para aquecimento, correspondendo a 97,82% do total do prédio. Quanto às demandas por resfriamento, observa-se que todos os escritórios apresentam

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

demandas insignificantes em relação ao total do prédio, diferentemente da loja que apresentou 42,53% do total de energia anual a ser retirada por sistemas de climatização. Essa baixa demanda por resfriamento nos escritórios já era esperada, devido ao clima característico da cidade de Diamantina, aliado ao horário de funcionamento e, ao posicionamento e tipo de construção desses espaços que, apresentam baixo contato com o ambiente externo quando comparados à loja. Os 57,41% de demanda por resfriamentos restantes estão concentrados no Centro de Processamento de Dados (CPD), que apesar de não apresentar altas cargas de pico, possui demanda constante de resfriamento 24h por dia, para uma temperatura interna de 19°C, o que justifica o alto valor acumulado durante o ano. A existência desses altos valores de demandas por resfriamento do CPD inviabilizou qualquer possibilidade de integração entre a climatização do edifício para conforto térmico e as câmaras de armazenamento de produtos, como sugerem os trabalhos correlatos, uma vez que elevou às cargas anuais de resfriamento fazendo com que elas já superassem as cargas de aquecimento. Diante desses resultados, se optou por avaliar a aplicação dos GCHPs na loja e em substituição ao ar condicionado do CPD.

Definidas as cargas térmicas, os sistemas de A/C de referência foram então simulados. Para a loja, estas simulações indicaram um consumo anual de energia no valor de 4116,7 kWh para resfriamento, com COP médio de 2,9 e, no valor de 7175,4 kWh para aquecimento, com COP médio de 3,12. Já para o CPD, este consumo estimado foi de 6513,8 kWh, com um COP médio de 3,20.

As análises preliminares de viabilidade técnica começaram pela disponibilidade de materiais para as tubulações e seus acessórios, que tipicamente usam Polietileno de Alta Densidade (PEAD) (PE-100 SDR 11 PN 16), não apresentando dificuldades, já que existem empresas no Brasil que fornecem tubulações deste tipo de material. A análise sobre as vazões de água necessárias nas tubulações do subsistema externo, v_w, se mostrou um fator crítico tanto para sistemas verticais quanto horizontais, já que ela é definida a partir das cargas térmicas do supermercado que, conforme Tabela 1, levaram à necessidade de grandes valores para v_w, tendendo à aumentar as potências de bombeamento e consequentemente reduzir a eficiência global dos sistemas.

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

Sobre a disponibilidade de equipamentos e mão de obra para instalação dos sistemas, há uma considerável diferença entre os sistemas horizontais e verticais. Para os primeiros podem ser utilizados equipamentos comuns, como retroescavadeiras, e a mão de obra está amplamente disponível. Já o segundo, exige mão de obra especializada e grandes equipamentos de perfuração do solo. Foi observado uma semelhança entre BHEs e poços de sondagem de solo, de forma que, após consulta a algumas dessas empresas próximas à região de Diamantina/MG, se definiu a profundidade máxima considerada, 100 metros, e o diâmetro dos BHEs, 150 mm.

Para finalizar as análises preliminares de viabilidade técnica, foram determinados o número máximo de BHEs para sistemas verticais, 76 poços e, o comprimento máximo para as trincheiras dos sistemas horizontais, 815,7 metros, através da análise da área de terreno disponível, respeitando-se as distâncias mínimas indicadas pela ASHRAE.

Feitas as análises preliminares de viabilidade técnica, os dados de entrada foram organizados e os subsistemas externos foram dimensionados. A Tabela 2 apresenta os resultados dos dimensionamentos (D1, D2 e D3) para os SGC verticais, considerando a avaliação das três vazões avaliadas, após as correções das condições nominais das bombas de calor e iterações com as perdas de carga.

Tabela 2 – Resultados SGC verticais

SGC Verticais						
	RESFRIAMENTO			**AQUECIMENTO**		
Dimensionamento	**D1**	**D2**	**D3**	**D1**	**D2**	**D3**
L (m)	1987,98	1944,61	1901,86	2301,61	2268,91	2234,74
L/BHE (m)	-----	-----	-----	63,93	63,03	62,08
L tubulação (m)	-----	-----	-----	4603,22	4537,82	4469,48
% Bombeamento	16,79	13,29	10,15	17,48	13,97	10,77
T_p (°C)		0,026			0,026	

Fonte: Próprio Autor, 2022.

A observação dos resultados dos dimensionamentos conforme Tabela 2, mostra as cargas de aquecimento como dominantes, conforme esperado pela avaliação inicial do clima da cidade de Diamantina/MG, mesmo com o resfriamento permanente do CPD, que elevou as cargas anuais de resfriamento, e resultou em taxas anuais de transferência de calor ao solo (q_a) sempre

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

negativas. Entretanto, esse maior valor de energia anual a ser fornecida ao solo foi incluída nos dimensionamentos através da penalidade de temperatura T_p, que apresentou baixo valor, indicando que o posicionamento da matriz de BHEs adotada, matriz quadrada 6 x 6 com espaçamento entre poços de 6 metros, foi adequado para que o próprio solo absorva essa diferença de energia ao longo do tempo de projeto de 20 anos.

Os resultados da Tabela 2 mostram também, a configuração avaliada no dimensionamento D3 como a de melhor resultado tanto ao se avaliar os comprimentos necessários aos BHEs e tubulações, relacionados aos custos de implantação do sistema, quanto ao se avaliar suas eficiências (COPs), relacionados aos custos operacionais do sistema.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos dimensionamentos (D4, D5, D6, D7 e D8) em que foram avaliadas respectivamente as diferentes configurações para a trincheira e a disposição das tubulações dentro dela conforme Figura 3.

Tabela 3 – Resultados SGC horizontais: diferentes configurações da trincheira

SGC Horizontais										
	Resfriamento					**Aquecimento**				
Dimensionamento	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	**D8**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	**D8**
Configuração da Figura 3	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E
L (m)	2101	1539	1470	1534	1468	2580	1917	1863	1906	1853
L tubulação (m)	____	____	____	____	____	5159	7668	11176	7620	11117

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Observando-se os resultados da Tabela 3 é possível se confirmar a análise preliminar de viabilidade que indicou a área disponível do terreno como fator crítico à viabilidade dos SGC horizontais. Todas as cinco configurações analisadas, apresentam comprimentos consideravelmente superiores ao limite do terreno disponível, não apresentando a possibilidade de utilização de GHX horizontais nem mesmo como sistemas híbridos, já que o menor dos comprimentos da carga não dominante, configuração D8, é 79,9% superior ao limite do terreno.

A fim de se confirmar essa inviabilidade dos SGC horizontais, a configuração E da Figura 3, também foi dimensionada para as vazões de 2,95

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

l/min kW e 2,7 l/min kW, dimensionamentos D9 e D10, cujos dados de entrada e os resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados de entrada e resultados SGC horizontais: diferentes vazões

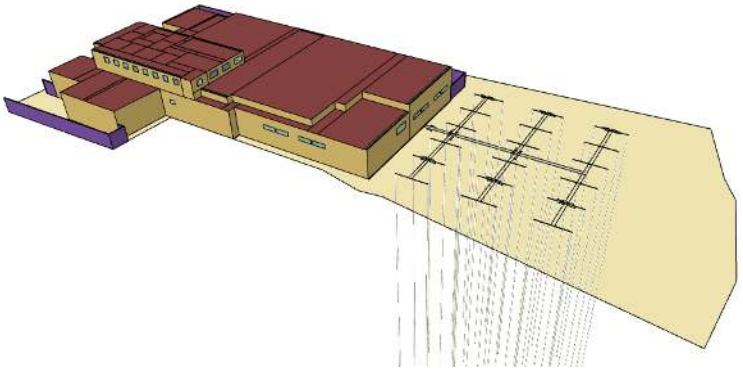
SGC Horizontais				
	Resfriamento		**Aquecimento**	
Dimensionamento	**D9**	**D10**	**D9**	**D10**
Configuração da Figura 3	E	E	E	E
L (m)	1465	1454	1823	1813
L tubulação (m)	--------	-----	10938	10875

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Conforme tabela acima, a variação da vazão para os dimensionamentos dos SGC horizontais não apresentou mudanças significativas nos comprimentos necessários para a trincheira de forma que se pôde concluir sobre a inviabilidade dos SGC horizontais para o supermercado estudado. Estes resultados, confirmam a indicação da literatura, como ASHRAE (2019) e Kavanaugh e Rafferty (2014), de que a aplicação dos SGC horizontais é viável para residências e pequenos comércios, não sendo indicada para locais de altas cargas térmicas, como o caso em estudo.

Dessa forma, o SGC ótimo para aplicação no supermercado estudado foi o resultante do dimensionamento D3. Se trata, portanto, de um sistema vertical, com subsistema externo composto por 36 BHEs de 62,1 m de profundidade distribuídos em uma matriz quadrada 6 x 6. A Figura 4 apresenta a distribuição dos BHEs no terreno sob propriedade do supermercado para o SGC proposto.

Figura 4 – Distribuição do GHX do sistema proposto.



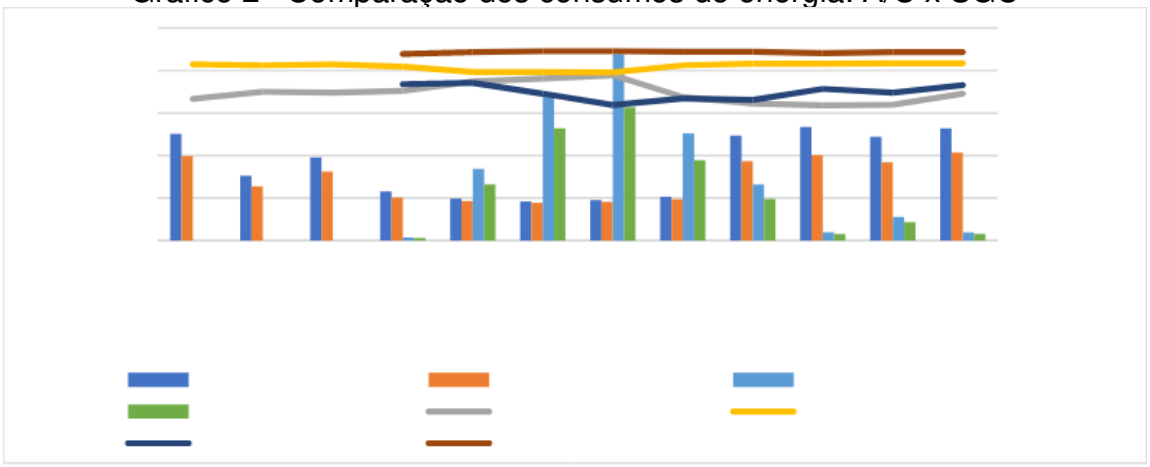
Fonte: Próprio Autor, 2022.

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

Definido o sistema, seus consumos de energia e os respectivos COPs mensais efetivos foram estimados. Para a loja, se estimou que o SGC proposto consuma anualmente 2948,3 kWh com resfriamento, COP médio de 3,85 e, consuma 5383,4 kWh com aquecimento, COP médio de 3,99. Já para o CPD, se estimou um consumo anual de 5741,3 kWh com COP médio de 3,60.

O Gráfico 2 apresenta a comparação entre os consumos mensais de energia e os respectivos COPs médios dos sistemas de A/C adotados como referência e do SGC projetado. Nele é possível se observar claramente a menor variação das eficiências do SGC, que são a vantagem teórica desses sistemas. Observa-se também, que o SGC consome menos energia para a climatização dos ambientes avaliados do supermercado em todos os meses do ano, tanto para cargas de resfriamento quanto para cargas de aquecimento. Para as primeiras, o SGC proposto apresentou uma redução anual total de 1940,97 kWh, o equivalente à uma redução mensal média no consumo de energia de 15,2%. Para as segundas, a redução anual no consumo de energia apresentada pelo SGC proposto foi de 1792,03 kWh, o equivalente à uma redução mensal média de 25,0%.

Gráfico 2– Comparação dos consumos de energia: A/C x SGC



Fonte: Próprio Autor, 2022.

Embora as reduções nos consumos de energia do SGC proposto neste trabalho não tenham atingido as faixas de redução indicadas típicas por Ahmadi et al. (2017), os resultados aqui obtidos comprovam a viabilidade técnica desses sistemas para aplicação no setor comercial de supermercados da cidade de

Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.06, 2025
ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

Diamantina/MG, mostrando que, a depender da aplicação, os SGC podem ser tecnicamente viáveis em regiões com clima subtropical húmido, grupo climático "C" pela classificação de Koppen, o que inclui considerável parte do sudeste brasileiro.

Proposto o SGC ótimo para o supermercado, foi feita a análise de viabilidade econômica em comparação ao sistema de A/C adotado como referência pelo Custo do Ciclo de Vida, sendo os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Custo do Ciclo de Vida dos sistemas avaliados.

	A/C de Referência	***SGC proposto***
Investimento Inicial (R$)	167.002,00	924.598,26
Investimentos Operacionais (R$)	37.646,61	33.463,91
CUSTO DO CICLO DE VIDA*	**608.272,43**	**1.316.841,60**

* Valor Presente:
Taxas de Juros utilizadas: IPCA: 6,45%; SELIC: 12,55%.
Tempo de cálculo: 20 anos

Fonte: Próprio Autor, 2022.

Nesta tabela, observa-se que quando trazidos para o presente, utilizando-se uma taxa de juros igual à média histórica da Taxa SELIC, o Custo do Ciclo de Vida estimado para utilização do SGC ao longo do tempo de projeto se mostrou consideravelmente superior à este mesmo custo para sistema de A/C de referência, em uma diferença (Valor Presente Líquido) de -R$708.569,17, que mostra uma clara inviabilidade econômica do SGC proposto para as condições atuais de mercado.

Este resultado está em acordo com as conclusões apresentadas por Barcelos (2018) sobre os SGC verticais e justifica o fato dos trabalhos correlatos, como Mands e Sauer (2008), Garcia *et. al* (2011) e Dalpone, Asha e Shah (2016), buscarem uma integração da climatização para conforto térmico com a refrigeração das câmaras de armazenamento de produtos, o que não foi possível neste trabalho devido às condições climáticas do nosso país, conforme discussão sobre as cargas térmicas do supermercado.

Os custos de investimento do SGC são o principal fator para esta inviabilidade econômica, sendo influenciados principalmente pelos preços envolvidos com a aquisição dos pacotes da bomba de calor geotérmica, que

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

devem ser importadas e por isso são altamente influenciadas pelo dólar, e pelos altos custos de perfuração dos BHEs, o que aponta esses dois fatores como principais pontos de atenção para o futuro a fim de se viabilizar economicamente a implantação de SGC no Brasil.

5. Conclusão

O presente artigo buscou avaliar a viabilidade de utilização de um Sistema Geotérmico de Climatização aplicado a um supermercado da cidade de Diamantina/MG.

A partir das avaliações feitas neste trabalho, as principais conclusões obtidas foram:

1. Há demandas por climatização que justificam a avaliação do SGC no supermercado estudado;
2. O clima da região não permite a integração de aplicações entre o conforto térmico de ambientes e as câmaras de armazenamento de produtos;
3. Existe viabilidade técnica de utilização de SGC vertical aplicado ao setor comercial de supermercados da cidade de Diamantina/MG. SGC horizontais, entretanto, são inviáveis;
4. Se estima uma economia mensal média de 15,2 % para as cargas de resfriamento e de 25% para cargas de aquecimento, ambas para conforto térmico;
5. As vazões do fluido no subsistema externo, e consequentemente a potência de bombeamento necessária, são os principais pontos críticos para o dimensionamento de SGC verticais em edifícios de grande porte;
6. A utilização de um Sistema Geotérmico de Climatização em um supermercado da cidade de Diamantina/MG é inviável economicamente para as condições atuais de mercado, sendo os custos de investimento relacionados com a aquisição das bombas de calor e com as perfurações dos BHEs os principais contribuintes para este resultado.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

Dessa forma, este trabalho contribuiu para a avaliação e disseminação do conhecimento sobre uma tecnologia disruptiva do PNE 2050, podendo servir de referência para trabalhos futuros que avaliem a utilização de SGC no Brasil. Além do mais, pôde-se mostrar que, a depender da aplicação, os SGC podem ser viáveis tecnicamente em climas presentes no sudeste brasileiro.

Apesar da atual inviabilidade econômica dos SGC, a viabilidade técnica apresentada neste trabalho indica esta tecnologia como uma alternativa a ser considerada no futuro da climatização dos ambientes brasileiros, necessitando de pesquisas que superem os problemas econômicos aqui encontrados. Sugere-se, então, como trabalhos futuros, a realização de estudos semelhantes a este, em que se analisem a viabilidade de utilização de diferentes configurações em diferentes aplicações e em diferentes locais do Brasil, com o objetivo de tornar possível a introdução desses sistemas no mercado nacional, o que tenderia a reduzir os custos de investimento e viabilizaria (também economicamente) os SGC em diferentes aplicações, contribuindo assim para o planejamento da gestão dos recursos energéticos brasileiro, bem como para o controle do aquecimento global, já que se trata de um sistema de climatização sustentável.

Referências

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 15220-3 Desempenho Térmico de Edificações parte 3**: zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

AHMADI, M.H; *et al*. **Ground source heat pump carbon emissions and ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings: A review**. Environmental Progress & Sustainable Energy, 2017.

ALEXANDRINO, C., H.; HAMZA, V. M.; VIEIRA, F. P**. Method for estimating the depth of circulation of thermal and non-thermal waters in the upper crust**. International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applied Geothermics, v. 4, p. 103-109, 2021

ALEXANDRINO, C., H.; HAMZA, V., M. **ESTRUTURA TERMAL DA LITOSFERA NOS SEGMENTOS CRATÔNICOS DE SALVADOR E SÃO FRANCISCO**. Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri, v. 1, p. 58-73, 2011.

ALVARADO, C. S. M. **Estudo e implementação de métodos de validação de modelos matemáticos aplicados no desenvolvimento de sistemas de controle de processos industriais.** Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2017.

ALVAREZ, C. A; STAPE, J. L.; SENTELHAS, J. L. M. G.; SPAROVEK, G. **Koppen's climate classification map for Brazil.** Meteorologishe Zeitschrift, vol. 22, n.6, p. 711-728. Gebruder Bornstraeger, 2013.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating and Air-Condioning Applications.** SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2011.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. **ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating and Air-Condioning Applications.** SI Edition. Atlanta: ASHRAE, 2019.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Taxa de juros básica - Histórico.** Disponível em: https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros. Aceso em: julho 2022.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Histórico das metas para inflação.** Disponível em: https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicometas.

BARCELOS, R. H. **Viabilidade técnica e econômica do condicionamento geotérmico de edificações no rio grande do sul.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

BATISTA, J., O., ALEXANDRINO, C., H., MIREZ TARRILLO, C, A. **CARACTERIZAÇÃO GEOTÉRMICA DA CROSTA SUPERIOR DA BACIA HIDROGRÁFICA DO SUBMÉDIO SÃO FRANCISCO** Geosul, Florianópolis, v. 37, n. 84, p. 367-390, set./dez. 2022. https://doi.org/10.5007/2177-5230.

BRASIL, Ministério do Trabalho e Previdência (MTP). **Norma Regulamentadora n°17 – Ergonomia** Nova redação. Portaria/MTP n° 423 de 07 de outubro de 2021. Diário Oficial da União. Brasília: MTP, 2021.

BRITO, R. B. de; SANTOS, B. R.; ALEXANDRINO, C. H.; FERREIRA, T. A. **A. Use of rainwater and water supply to produce electrical energy for homes**. OBSERVATÓRIO DE LA ECONOMÍA LATINOAMERICANA, *[S. l.]*, v. 22, n. 12, p. e8145, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n12-084.

CETC, CANMET Energy Technology Centre. Ground Source Heat Pump Project Analysis**.** In: **Clean Energy Project Analysis**: RETscrenn Engineering e Cases Textbook. Varennes: Minister of Natural Resources Canada, 2005.

CHIASSON, A.D. **Geothermal heat pump and heat engine systems:** theory and practice**.** 1. ed. United Kingdom: ASME Press and John Wiley & Sons Ltd, 2016.

CLIMATE, Onebuliding. **Repository of free climate data for Building performance simulation.** Climate.onebuilding.org, 2022. Disponível em: https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil

CPRM, Companhia de Recursos de Pesquisas Minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Carta geológica da folha de Belo Horizonte.** Em GeoSGB: unidades litoestratigráficas, 2004. Disponível em: https://geoportal.cprm.gov.br/geosgb/. Acesso em: fevereiro, 2022.

CPRM (Companhia de Recursos de Pesquisas Minerais) – Serviço Geológico do Brasil. **Sistema de informações de águas subterrâneas – SIAGAS.** Em SIAGAS: pesquisa geral: Sudeste: Minas Gerais: Diamantina. Disponível em http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/. Acesso em: fevereiro 2022.

DALPONE, P.; ACHA, S.; SHAH, N. **Operational and Economic Analysis of GSHP Coupled with Refrigeration Systems in UK Supermarkets.** Spiral, Imperial College Digital Repository. CORE, 2016.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Uso de ar condicionado no setor residencial brasileiro: perspectivas e contribuições para o avanço em eficiência energética.** Nota técnica EPE 030/2018. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2018.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **PNE 2050: Plano Nacional de Energia.** Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2020.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética; ONS, Operador Nacional do Sistema Elétrico; CCEE, Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. **2ª Revisão quadrimestral das projeções da demanda de energia elétrica do sistema interligado nacional 2020-2024.** Nota Técnica EPE DEA 0012/2020, Nota Técnica NOS 109/2020, Nota Técnica CCEE 0087/2020. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2020.

FERNÁNDEZ, J.C.R. **Integration capacity of geothermal energy in supermarkets through case analysis.** Sustainable Energy Technologies and Assessments 34, p. 49-55. Elservier Ltd, 2019.

FROEDE, A.; ALEXANDRINO, C., H.; MÍREZ TARRILLO, C., A. **AVALIAÇÃO DO POTENCIAL GEOTÉRMICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA.** Geosul, Florianópolis, v. 39, n. 90, p. 42-66, mai./ago. 2024.https://doi.org/10.5007/2177-5230.2024

GARCIA, J.M. *et al.* **Application of ground source heat pump to a supermarket in portugal.** Journal of Civil Engineering and Architecture, vol. 5, n. 3, p 241-247. David Publishing, 2011.

GONÇALVES, H.H.A. **Viabilidade de um Sistema Geotérmico de Climatização Aplicado a um Supermercado do Sudeste Brasileiro.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2023.

GOMES, S., B.; ALEXANDRINO, C., H. **FLUXO E GRADIENTE GEOTÉRMICO DA BACIA DE SÃO FRANCISCO.** Revista de Ciência e Tecnologia do Vale do Mucuri, v. 2, p. 52-63, 2010.

GREEN SQUARE, Energy Center. **Air Source vs Ground Source Heat Pump.** Renewable Technology: United Kingdom, 2021. Disponível em: https://www.greensquare.co.uk/blog/2017/11/13/air-source-heat-pump-v-ground-source-heat-pump. Acesso em: setembro, 2021.

GUIMARAES, S.; GOMES, J., L., S.; GOMES, A.; HAMZA, V., VIEIRA, F.; ALEXANDRINO, C., H. **Update of Brazilian Heat Flow Data, within the framework of a multiprong referencing system**. International Journal of Terrestrial Heat Flow and Applications, v. 3, p. 45-72, 2020.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa de clima do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2002. Disponível em: https://atlasescolar.ibge.gov.br/images/atlas/mapas_brasil/brasil_clima.pdf. Acesso em: agosto, 2021.

IEA, International Energy Agency. **Energy Technology Perspectives 2020.** Paris: IEA, 2020. Disponível em: https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020. Acesso em: agosto, 2021.

IEA, International Energy Agency. **E4 Country Profile: Energy Efficiency in Brazil.** Paris: IEA, 2021. Disponível em: https://www.iea.org/articles/e4-country-profile-energy-efficiency-in-brazil. Acesso em: agosto, 2021.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos anuais.** Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos. Acesso em: outubro, 2021.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas do brasil 1991-2020.** Edição digital. Brasília: Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2022. Disponível em: portal.inmet.gov/normas. Acesso em: maio 2022.

KAVANAUGH, S.; RAFFERTY, K. **Geothermal heating and cooling: design of ground-source heat pump systems.** Atlanta: ASHRAE, 2014.

LUND, J. W; TOTH, A.N. **Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review.** World Geothermal Congress: Reykjavik, Iceland, 2020.

MAGALHÃES COUY S., E.; RODRIGUES, F. L; ALEXANDRINO, C., H. **Avaliação dos recursos geotérmicos de Minas Gerais.** VOZES DOS VALES, v. 1, p. 1-17, 2012.

MANDS, E; SAUER, M. **Feasibility study: geothermal heat pump for standardized supermarket.** Integration of Geothermal Energy into Idustrial Applications. UBeG, 2008.

ISSN 2178-6925
DOI: 10.61164/rmnm.v6i1.3602

PARKSOY, H. O.; GURBUZ, Z.; TURGUT, B.; DIKICI, D.; EVLIYA, H. **Aquifer thermal storage (ATES) for airconditioning of a supermarket in Turkey.** Renewable Energy 29, p.1991-1996. Elservier Ltd., 2004.

RORIZ, M. **Arquivos climáticos de municípios brasileiros.** Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC, 2012.

SARBU, I.; SEBARCHIEVICI, C. **General review of ground-source heat pump systems for heating and cooling of buildings.** Energy and Buildings 70, p. 441-454. Elservier Ltd, 2014.

SELF, S. J; REDDY, B. V.; ROSEN, M. A. **Geothermal heat pump systems: status review and comparison with other heating options.** Applied Energy 101, p. 341-348. Elservier Ltd, 2013.

SHIMADA, Y.; TOKIMATSU, K.; ASAWA, T.; UCHIDA, Y.; TOMIGASHI, A.; KURISHIMA, H. **Subsurface utilization as a heat sink for large-scale ground source heat pump: Case study in Bangkok, Thailand.** Renewable Energy 180, p. 966-979. Elservier Ltd, 2021.

WU, R. **Ennergy efficiency technologies – air source heat pump vs ground source heat pump.** Journal of Sustainable Development, vol. 2, n. 2. CCSE, 2009.