

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GABRIEL BECHER BOSCATTO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO RESIDENCIAL  
UTILIZANDO BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA**

**GUARAPUAVA**

**2022**

**GABRIEL BECHER BOSCATTO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO RESIDENCIAL  
UTILIZANDO BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA**

**SIZING OF A RESIDENTIAL HEATING SYSTEM USING GEOTHERMAL HEAT  
PUMP**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).  
Orientador(a): Prof. Dr. Sérgio Dalmás.

**GUARAPUAVA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**GABRIEL BECHER BOSCATTO**

**DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO RESIDENCIAL  
UTILIZANDO BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 12 de dezembro de 2022

---

Sergio Dalmás  
Doutor em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Denise Alves Ramalho  
Doutora em Engenharia Mecânica  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Carla Dantas da Silva  
Doutora em Ciência e Engenharia de Materiais  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

**GUARAPUAVA**  
**2022**

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre me deram amor e suporte incondicional.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço especialmente ao meu orientador Prof. Dr. Sergio Dalmás, pela valiosa ajuda na realização desse trabalho, sempre com muita compreensão e otimismo.

Agradeço à minha família: pais, tios, avós, que sempre estiveram me apoiando e torcendo pelo meu sucesso.

Agradeço também aos meus amigos, Felipe, Rafael, Ronaldo, Dhaianny... que foram a minha fonte de incentivo e motivação para conclusão dessa etapa.

E agradeço a todas as pessoas que diretamente, ou indiretamente contribuíram para a realização dessa conquista.

## RESUMO

O presente trabalho propõe a instalação de um sistema de aquecimento e arrefecimento de ar por bomba de calor geotérmica em uma residência de 112m<sup>2</sup>, para uma família de cinco pessoas, localizada na cidade de Guarapuava-PR. Discute os conceitos, vantagens e os tipos existentes de sistemas de bombas de calor geotérmicos. Modela e aplica o estudo de caso para a residência, estima-se as cargas térmicas com o auxílio do software Open Studio, obtendo os valores de 6,2MWh/ano e 57,5MWh/ano para as cargas de aquecimento e refrigeração, respectivamente. Além disso, dimensiona o sistema capaz de suprir tais demandas, utilizando o software RETScreen, chegando ao resultado de 585m de permutador para o circuito fechado horizontal e 937m para o de circuito fechado vertical..

Palavras-chave: energia geotérmica; bomba de calor; carga térmica; RETScreen.

## **ABSTRACT**

The present work proposes the installation of a heating and air-cooling system by geothermal heat pump in a residence of 112m<sup>2</sup>, for a family of five, located in the city of Guarapuava-PR. It discusses the concepts, advantages and existing types of geothermal heat pump systems. It models and applies the case study for the residence, estimating the thermal loads with the help of the Open Studio software, obtaining values of 6.2MWh/year and 57.5MWh/year for the heating and cooling loads, respectively. In addition, it scales the system capable of supplying such demands, using the RETScreen software, reaching the result of 585m of heat exchanger for the horizontal closed circuit and 937m for the vertical closed circuit.

Keywords: geothermal energy; heat pump; thermal load; RETScreen.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - População mundial, consumo de energia e consumo de energia per capita.....	14
Figura 2 - Ilustração de temperaturas na superfície e no interior do solo. ....	15
Figura 3 - Usina elétrica de fonte geotérmica localizada na Islândia .....	18
Figura 4 - Esquema de funcionamento de uma bomba de calor.....	19
Figura 5 - Tipos de evaporadores .....	21
Figura 6 - Sistema horizontal de ciclo fechado .....	22
Figura 7 - Sistema vertical de ciclo fechado .....	22
Figura 8 - Sistema vertical de ciclo aberto.....	23
Figura 9 - Sistema de lagoa de ciclo fechado .....	24
Figura 10 - Planta baixa da residência objeto do estudo.....	25
Figura 11 - Fachada da casa.....	26
Figura 12 - Fundos da casa .....	26
Figura 13 - Exemplo da etapa inicial de um modelo .....	27
Figura 14 - Exemplo de um modelo representado com portas e janelas .....	28
Figura 15 - Tela do Open Studio com as informações do arquivo climático .....	29
Figura 16 - Exemplo de um calendário extraído do software Open Studio.....	33
Figura 17 - Aba 'space types' no Open Studio, mostrando as cargas e os respectivos cronogramas.....	37
Figura 18 - Aba 'spaces' no Open Studio, com cada cômodo atribuído às suas características .....	37
Figura 19 - Ilustração do sistema geotérmico .....	41
Gráfico 1 - Graus-dia para aquecimento no decorrer dos meses do ano e temperatura do ar.....	40
Gráfico 2 - Graus-dia para arrefecimento no decorrer dos meses do ano e temperatura do ar.....	40
Gráfico 3 - Representação da distribuição das cargas ao longo do ano .....	44
Quadro 1 - Informações do município de Guarapuava .....	38
Quadro 2 - Dados técnicos da bomba de calor selecionada .....	44

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - População mundial e o período de dobra.....	14
Tabela 2 - Iluminância por cômodo da residência.....	30
Tabela 3 - Cálculo do fluxo luminoso por cômodo .....	30
Tabela 4 - Cálculo da potência .....	31
Tabela 5 - Potência dos equipamentos .....	31
Tabela 6 - Características termo físicas dos materiais .....	35
Tabela 7 - Agrupamento de materiais em construções .....	36
Tabela 8 - Graus-dia para aquecimento e refrigeração .....	39
Tabela 9 – Cargas de arrefecimento .....	42
Tabela 10 - Cargas de aquecimento .....	43
Tabela 11 - Distribuição das cargas ao longo do ano.....	43
Tabela 12 - Dados para o permutador vertical padrão.....	45
Tabela 13 - Dados para o permutador vertical compacto.....	45
Tabela 14 - Dados para o permutador vertical muito compacto .....	46
Tabela 15 - Dados para o permutador horizontal padrão .....	46
Tabela 16 - Dados para o permutador horizontal compacto .....	46
Tabela 17 - Dados para o permutador horizontal muito compacto.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BTU	British Thermal Unit
COP	Coeficiente de Performance
EER	Energy Efficiency Ratio (Índice de Eficiência de Energia)
GHX	Ground Heat Exchanger (Trocador de calor geotérmico)
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
TCE	Toneladas de Carvão Equivalente

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Justificativa.....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos .....</b>	<b>16</b>
1.2.1	Objetivo geral .....	16
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1</b>	<b>Carga térmica.....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Energia geotérmica .....</b>	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Bombas de calor.....</b>	<b>19</b>
2.3.1	Bombas de calor geotérmicas .....	20
<b>2.4</b>	<b>Evaporadores.....</b>	<b>21</b>
2.4.1	Horizontal de ciclo fechado .....	21
2.4.2	Vertical de ciclo fechado.....	22
2.4.3	Vertical de ciclo aberto .....	23
2.4.4	De lagoa de ciclo fechado .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da residência .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2</b>	<b>Modelagem.....</b>	<b>27</b>
<b>3.3</b>	<b>Simulação .....</b>	<b>28</b>
3.3.1	Arquivo Climático.....	29
3.3.2	Cargas Internas.....	29
<u>3.3.2.1</u>	<u>Iluminação .....</u>	<u>30</u>
<u>3.3.2.2</u>	<u>Equipamentos.....</u>	<u>31</u>
<u>3.3.2.3</u>	<u>Pessoas.....</u>	<u>32</u>
3.3.3	Cronogramas.....	32
<u>3.3.3.1</u>	<u>Iluminação .....</u>	<u>33</u>
<u>3.3.3.2</u>	<u>Equipamentos.....</u>	<u>34</u>
<u>3.3.3.3</u>	<u>Pessoas.....</u>	<u>34</u>
3.3.4	Aspectos Construtivos.....	35
3.3.5	Montagem dos espaços .....	36
3.3.6	Dimensionamento Do Sistema Geotérmico.....	38
<u>3.3.6.1</u>	<u>Características do local .....</u>	<u>38</u>
<u>3.3.6.2</u>	<u>Características da instalação .....</u>	<u>40</u>

3.3.6.3	Demanda de energia .....	41
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1</b>	<b>Cargas térmicas.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2</b>	<b>Bomba de calor.....</b>	<b>44</b>
<b>4.3</b>	<b>Trocador de calor .....</b>	<b>45</b>
4.3.1	Circuito fechado vertical .....	45
4.3.2	Circuito fechado horizontal .....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>
	<b>APENDICE A – RELATÓRIO DO OPEN STUDIO .....</b>	<b>52</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Energia sempre foi uma necessidade humana básica. Desde muito antes da revolução industrial, os homens já usavam diferentes formas de energia para suas atividades cotidianas, seja queimar lenha para preparar alimentos e manter-se aquecido, energia dos ventos para se locomover com seus barcos à vela ou ainda energia da água dos rios para moer grãos em seus moinhos (HARARI, 2017).

No entanto essas fontes de energias tinham suas limitações: dependiam da disponibilidade de madeira, do vento e localização geográfica estratégica próximo ao rio, o que nem sempre era possível. Não existia o conhecimento de uma máquina capaz de converter um tipo de energia em outro, até o surgimento em meados de 1700 nas minas de carvão na Grã-Bretanha, do primeiro motor a vapor baseado na queima de um combustível, majoritariamente carvão (HARARI, 2017).

Tal invenção permitiu um massivo desenvolvimento industrial, bem como uma revolução nos meios de transporte, com o surgimento das locomotivas a vapor, também permitiu o surgimento do motor a combustão, da eletricidade, ou seja, do mundo como conhecemos hoje.

Todo esse período de prosperidade tecnológica também favoreceu o aumento da população mundial como um todo. Estima-se que na época de Cristo, a população mundial era em torno de 250 milhões de pessoas. Foram necessários 1650 anos para que essa população dobrasse de tamanho, no entanto, para que dobrasse novamente, foram necessários apenas 200 anos. A Tabela 1 mostra essa gigantesca tendência de decréscimo do período para a população dobrar de tamanho. (GUPTA, ROY, 2006)

Tabela 1 - População mundial e o período de dobra

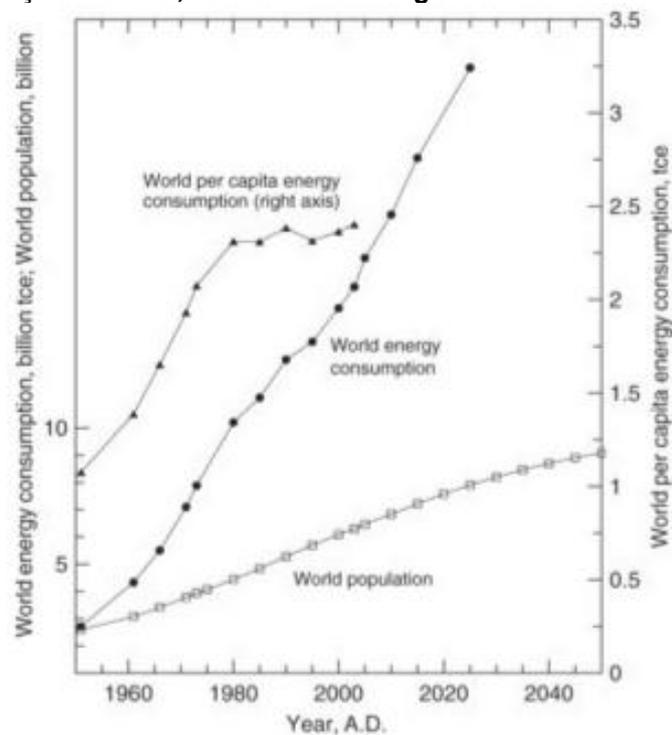
Ano	População mundial estimada (em milhões)	Período (em anos) para a população dobrar de tamanho
8000 A.C.	5	1500
1650	500	200
1850	1000 (1 bilhão)	80
1930	2000 (2 bilhões)	45
1975	4000 (4 bilhões)	35
2010	8000 (8 bilhões)*	35?

\* previsão..

Fonte: United Nations, Statistical Office, Demographic Year Book (2006)

Esse crescimento populacional acelerado vem acompanhado de um crescimento na demanda por energia, como pode ser observado na Figura 1, onde está representada a população mundial, consumo de energia e consumo de energia per capita, com uma previsão até o ano de 2050. A energia é expressa em toneladas de carvão equivalente (TCE) para facilitar a comparação com estimativas anteriores.

Figura 1 - População mundial, consumo de energia e consumo de energia per capita



Fonte: Gupta, Roy (2006)

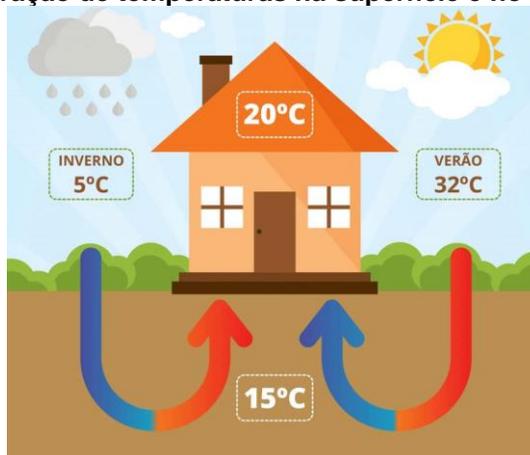
É evidenciado pela Figura 1, que existe uma tendência tanto de crescimento populacional, quanto de crescimento no consumo energético. Gupta e Roy (2006) afirmam que um grande esforço precisa ser feito para suprir esse aumento na demanda com novas fontes de energia, caso contrário nos encaminhamos para um mundo de racionamento energético, especialmente de fontes não renováveis como o petróleo e o carvão.

Nesse contexto, uma alternativa viável para suprir parte da demanda seria a energia geotérmica, pois trata-se de uma fonte de energia abundante e limpa, mais especificamente a energia geotérmica de uso direto, para calefação domiciliar e aquecimento de águas sanitárias, através de um sistema de bomba de calor, pois esta não apresenta tantas limitações financeiras e geográficas, como no caso de uma usina geotérmica (AZEVEDO, c2022).

Além disso, tal sistema de aquecimento apresenta uma eficiência incrivelmente alta se comparada com os métodos mais tradicionais de aquecimento, como uma resistência elétrica ( $COP = 1$ ), ou mesmo uma lareira a lenha, que além de apresentar eficiência muito baixa (entre 10 e 15%), libera gases nocivos na atmosfera resultantes da combustão da madeira.

Outra grande vantagem de se utilizar um sistema de bomba de calor geotérmico, é que ele pode ser usado tanto nos meses frios como calefação, como nos meses quentes como arrefecimento, pois embora a temperatura na superfície da terra tenha uma grande amplitude (dependendo da região e estação do ano, pode ter uma variação entre  $-5^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ ), a temperatura no interior da terra é extremamente estável, mantendo-se sempre em torno de  $15^{\circ}\text{C}$ , como exemplificado na Figura 2.

**Figura 2 - Ilustração de temperaturas na superfície e no interior do solo.**



Fonte: Trilhos Energéticos (2021)

## 1.1 Justificativa

O Brasil, por se tratar de um país com clima predominantemente tropical não apresenta uma infraestrutura de calefação adequada, do ponto de vista da construção civil, que suporte climas mais severos, como no caso de Estados Unidos e Canadá, por exemplo.

No entanto, as mudanças climáticas em decorrência do aquecimento global vêm alterando significativamente as características climáticas, especialmente na região centro-sul do país, tornando os verões e invernos cada vez mais severos. Essa problemática torna praticamente imprescindível o uso de algum sistema de climatização residencial.

Nesse contexto, também preocupado com as mudanças climáticas, é indispensável que o sistema em questão seja limpo e sustentável, a fim de evitar a contribuição com o aumento do efeito estufa.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo geral

Estimar as cargas térmicas de uma residência unifamiliar localizada na cidade de Guarapuava – PR, dimensionar um sistema de aquecimento e arrefecimento de ar com princípio de funcionamento de bomba de calor geotérmico capaz de suprir tais necessidades energéticas.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Modelar e determinar os parâmetros de funcionamento de uma residência;
- Estimar as cargas térmicas necessárias para manter os ambientes a uma temperatura confortável de acordo com as estações do ano;
- Dimensionar um sistema de climatização capaz de suprir tais demandas caloríficas;
- Analisar os resultados;

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

A seguir serão apresentados alguns conceitos que servirão de base para o desenvolvimento da pesquisa do presente trabalho.

### **2.1 Carga térmica**

Carga térmica é a quantidade de calor que deve ser retirada ou fornecida a um local ou sistema, por unidade de tempo, objetivando a manutenção de determinadas condições térmicas (MENEZES, 2005).

São vários os fatores que influenciam no cálculo da carga térmica, sendo eles o nível de insolação, o material do envoltório do ambiente (paredes, piso, revestimentos), a quantidade de pessoas no ambiente, a quantidade de equipamentos emissores de calor, a taxa de renovação do ar, entre outros (FERREIRA, MARQUES, 2018).

### **2.2 Energia geotérmica**

Define-se como energia geotérmica a energia advinda do calor proveniente do interior da Terra. Trata-se de uma fonte de energia limpa e renovável (Portal Energia, 2019).

Existem duas formas distintas de se obter energia a partir do calor da Terra: Quando um fluido a alta temperatura é usado para girar uma turbina, a qual gera eletricidade (alta entalpia), ou quando o calor é usado diretamente para aplicações de aquecimento, nesse caso é chamada de uso direto ou de baixa entalpia. (HARRISON, 2013).

As usinas de energia geotérmica são mais raras, pois necessitam de altos investimentos e localização estratégica para sua instalação. Harrison (1990) diz que as áreas de maior atividade geotérmica estão relacionadas às áreas onde há maior atividade sísmica, nas bordas das placas tectônicas. Alguns países como Japão, Hungria e Islândia por exemplo, possuem capacidade instalada de mais de 100MW cada uma, a usina da Islândia está representada na Figura 3. No Brasil, no entanto, não existe essa possibilidade: existem poucas fontes de águas quentes, com

temperatura chegando, no máximo a 51°C, calor insuficiente para geração de eletricidade (PÍTICA, 2015).

**Figura 3 - Usina elétrica de fonte geotérmica localizada na Islândia**



**Fonte: Revista Galileu (2017)**

Entretanto, devido à estabilidade de temperatura no interior da Terra, mesmo em baixíssimas profundidades, uma série de aplicações mais simples do uso dessa energia como aquecimento residencial e águas quentes sanitárias (AQS) pode ser explorado, em larga escala, em quase todos os lugares do planeta (AZEVEDO, c2022).

Uma pesquisa realizada na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) em 2017, procurou estabelecer uma relação entre a temperatura do ar e a temperatura no interior do solo a várias profundidades nos meses de janeiro (verão) e junho (inverno). A conclusão que se chega é que, em profundidades a partir de 30 cm, a amplitude térmica, isto é, a diferença entre a maior e a menor temperatura registrada, já se torna extremamente baixa, mantendo-se a aproximadamente 20°C, comprovando a estabilidade de temperatura no interior do solo (DANTAS, 2017).

### 2.3 Bombas de calor

Uma bomba de calor nada mais é que um dispositivo cujo funcionamento é baseado no sistema de compressão de gás, o mesmo de aparelhos refrigeradores e ares-condicionados. É composto por um compressor, um condensador, evaporador e uma válvula de expansão. Um esquema de seu funcionamento está ilustrado na Figura 4.

O objetivo de uma bomba de calor é manter a temperatura no interior de uma residência ou qualquer outra edificação acima da temperatura da vizinhança ou promover uma transferência de calor para certos processos industriais que acontecem a temperaturas elevadas (SHAPIRO, 2010).

Em um aparelho refrigerador, o evaporador, isto é, por onde o calor é retirado, fica instalado na parte interna do eletrodoméstico, enquanto o condensador – por onde o calor é liberado – fica na parte externa. No caso de uma bomba de calor utilizada para aquecer uma residência, o condensador é quem fica na parte interna desta, e o evaporador no exterior, extraíndo o calor do ar ambiente. A Figura 4 ilustra o funcionamento de uma bomba de calor.



Fonte: Adaptado de Atlantic Portugal (2021)

O desempenho de uma bomba de calor é dado em termos do coeficiente de desempenho  $COP_{HP}$ , definido como

$$COP_{HP} = \frac{\text{saída desejada}}{\text{entrada requerida}} = \frac{Q_H}{W_{\text{líquido,ent}}} \quad 1$$

que também pode ser expressa na forma

$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} \quad 2$$

onde  $Q_L$  é a quantidade de calor absorvido do meio de baixa temperatura e  $Q_H$  é a quantidade de calor rejeitada ao meio de temperatura alta.

O COP é adimensional. Uma bomba de calor com COP de 4 por exemplo, significa que para cada 1KW de energia elétrica consumida pelo compressor para movimentar o sistema, 4KW de energia em forma de calor são produzidas.

### 2.3.1 Bombas de calor geotérmicas

O coeficiente de performance de uma bomba de calor geralmente é maior que 1. Ou seja, a bomba de calor funcionará, na pior das hipóteses, como um aquecedor à resistência elétrica, fornecendo tanta energia para a casa quanto a bomba de calor consome. Na realidade, porém, parte de  $Q_H$  é perdida para o ar do lado externo através da tubulação e de outros dispositivos, e o COP poderá ficar abaixo de 1 quando a temperatura do ar externo for muito baixa. Quando isto acontece, os sistemas reais geralmente mudam para o modo de aquecimento à resistência. Atualmente, a maioria das bombas de calor em operação tem um COP médio sazonal entre 2 e 3 (ÇENGEL, BOLES, 2013).

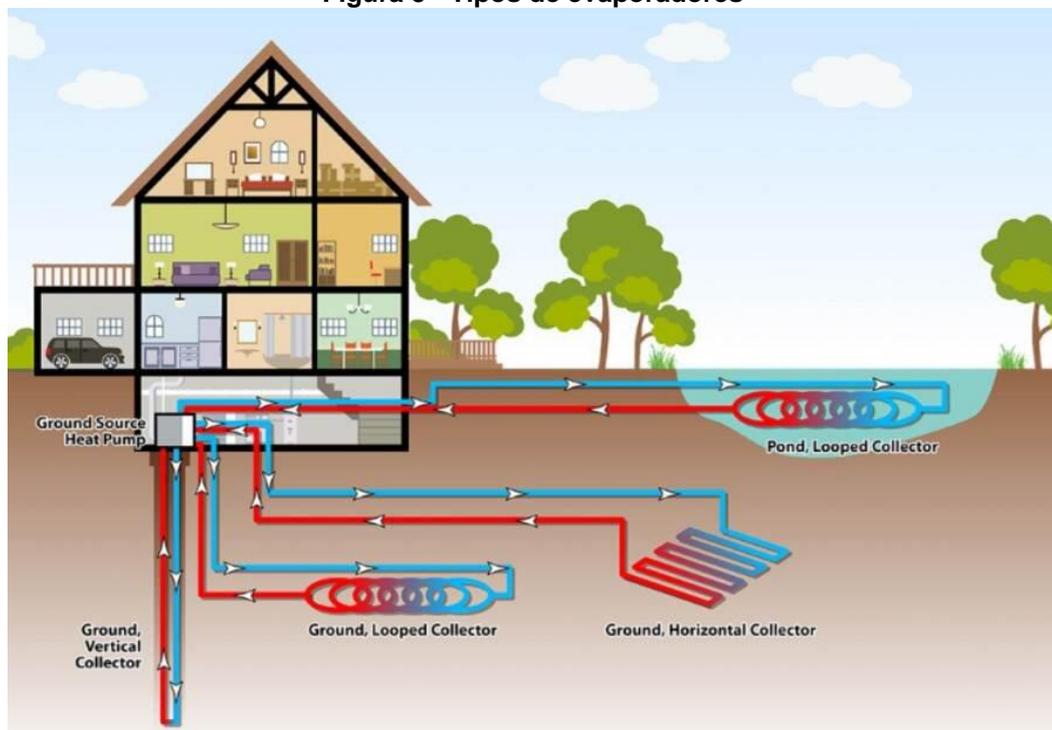
A maioria das bombas de calor existentes utiliza o ar frio externo como fonte de calor durante o inverno, e são chamadas de bombas de calor de fonte no ar. O COP dessas bombas de calor é de aproximadamente 3,0 nas condições de projeto. As bombas de calor de fonte no ar não são apropriadas para climas frios, pois sua eficiência é consideravelmente reduzida quando as temperaturas se situam abaixo do ponto de congelamento da água. Nesses casos, é possível utilizar as bombas de calor geotérmicas (também denominadas “fonte no solo”), que utilizam o solo como fonte de calor. As bombas de calor geotérmicas exigem tubulações enterradas no solo, a uma profundidade de 1 a 2 metros. A instalação dessas bombas de calor é mais cara, mas elas são mais eficientes (até 45% mais eficientes que as bombas de aquecimento

de fonte no ar). O COP das bombas de calor de fonte no solo pode chegar até 6 no modo de refrigeração (ÇENGEL, BOLES, 2013).

## 2.4 Evaporadores

Os evaporadores ou trocadores de calor são as serpentinas que terão a função de trocar calor com o solo. Podem ser de quatro tipos, de acordo com as características do projeto, os quais estão exemplificados na Figura 5 e serão detalhados em seguida.

Figura 5 - Tipos de evaporadores



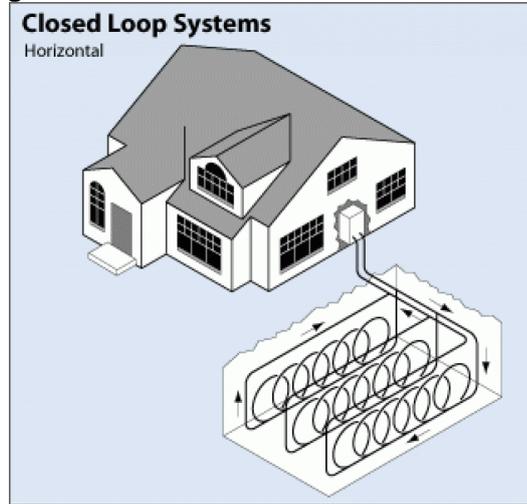
Fonte: ClimateBiz (2021)

### 2.4.1 Horizontal de ciclo fechado

As serpentinas são instaladas paralelas à superfície do solo. Geralmente é a instalação mais acessível, porém necessita de uma área grande de terreno ao redor da residência. As valas devem ter profundidade entre 1,20 a 1,80m. Os canos podem ser instalados em forma de vai-e-vem ou ainda em espirais (*slinky loop*) esta requer

uma área menor de instalação (CLIMATEBIZ, 2021). O sistema está representado na Figura 6.

**Figura 6 - Sistema horizontal de ciclo fechado**

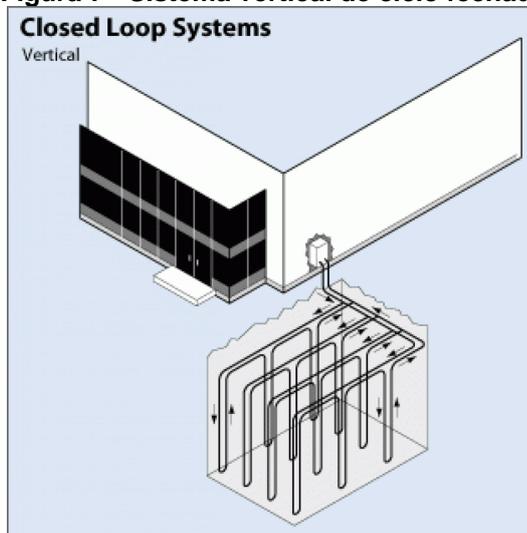


Fonte: ClimateBiz (2021)

#### 2.4.2 Vertical de ciclo fechado

Consiste em tubos instalados verticalmente no solo em valas de aproximadamente 10cm de diâmetro e profundidades de 30 a 120 metros. É indicado em casos de edifícios onde a demanda de calor é maior que a de uma residência e onde não há metragem quadrada de terreno suficiente para a instalação horizontal. É usada ainda quando a profundidade do solo é muito rasa para abertura de valas (CLIMATEBIZ, 2021). O sistema está representado na Figura 7.

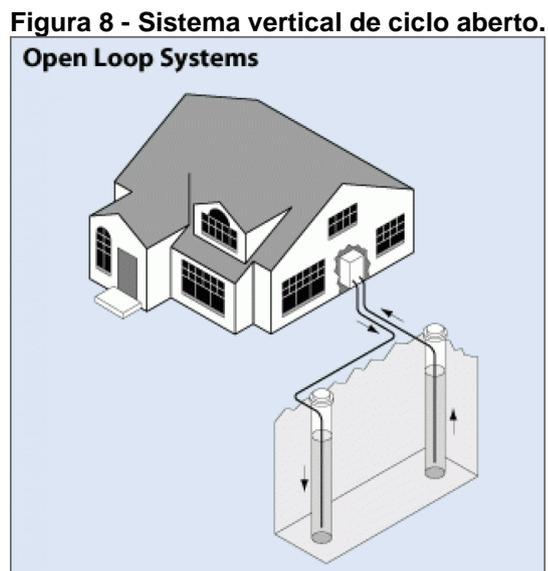
**Figura 7 - Sistema vertical de ciclo fechado**



Fonte: ClimateBiz (2021)

### 2.4.3 Vertical de ciclo aberto

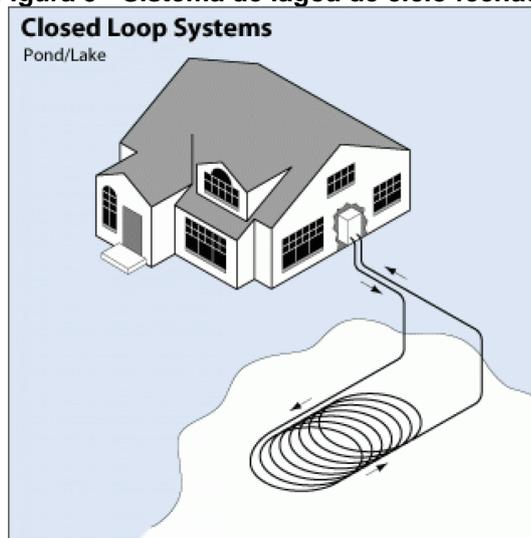
Este sistema utiliza água proveniente de um poço ou rio como fluido de troca de calor. Uma vez utilizada, ela retorna ao lugar de origem. É indicado em locais em que haja uma fonte de água próxima limpa e profunda o suficiente. Pode estar sujeito a regulamentações ambientais locais (CLIMATEBIZ, 2021). O sistema está representado na Figura 8.



Fonte: ClimateBiz (2021)

### 2.4.4 De lagoa de ciclo fechado

Uma opção mais econômica, caso exista um lago nas proximidades da residência, é a instalação de lagoa, que consiste em simplesmente depositar tubos em espirais no fundo desta, dispensando a necessidade de abrir valas. É necessário que o lago tenha volume e profundidade suficiente para atender o sistema (CLIMATEBIZ, 2021). O sistema está representado na Figura 9.

**Figura 9 - Sistema de lagoa de ciclo fechado**

Fonte: ClimateBiz (2021)

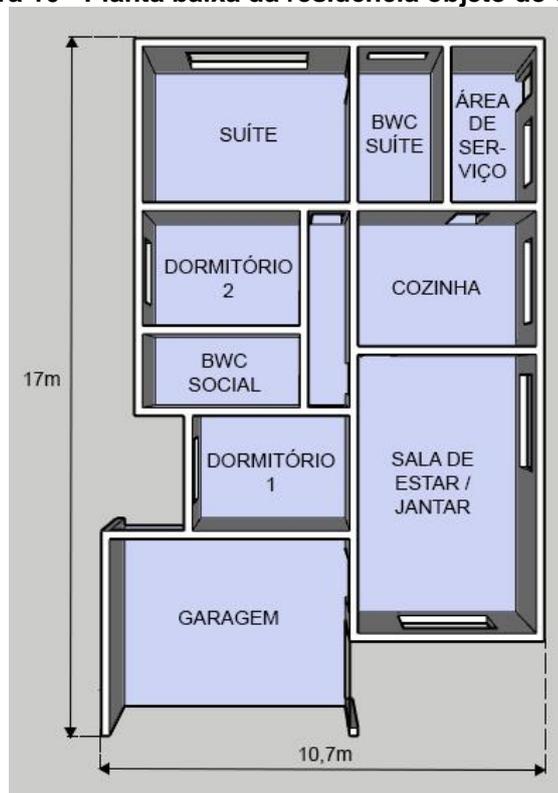
### 3 METODOLOGIA

Este capítulo traz um apanhado dos passos seguidos para obtenção dos resultados de interesse.

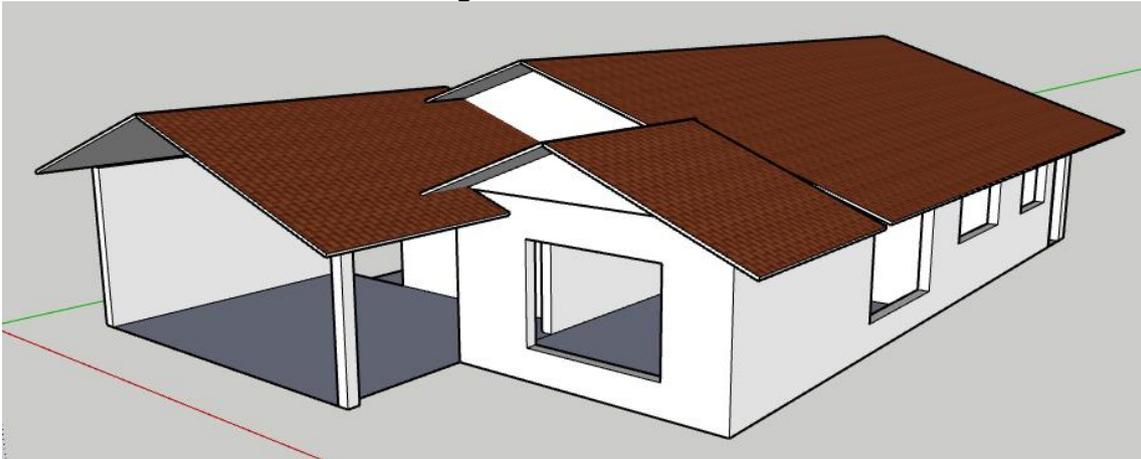
#### 3.1 Caracterização da residência

O objeto do estudo, uma residência unifamiliar de aproximadamente 140,43 metros quadrados, cuja planta baixa está ilustrada na Figura 10 e vistas em perspectiva da fachada e dos fundos estão ilustradas nas Figuras 11 e 12, respectivamente, é composta da seguinte forma: uma garagem para dois veículos de 28,1 m<sup>2</sup>, um ambiente integrado de sala de estar, sala de jantar e circulação, totalizando 34,50 m<sup>2</sup>; uma cozinha de 14,19 m<sup>2</sup>; dois dormitórios de 10,8 m<sup>2</sup> cada, um banheiro social de 6,84m<sup>2</sup>, uma suíte de 19,30 m<sup>2</sup> acrescida de um banheiro de 7,79 m<sup>2</sup> e uma área de serviço de 8,11m<sup>2</sup>. A garagem, por se tratar de um ambiente aberto, não será considerada para os cálculos de climatização, portanto a área total a ser analisada é de 112,33 m<sup>2</sup>.

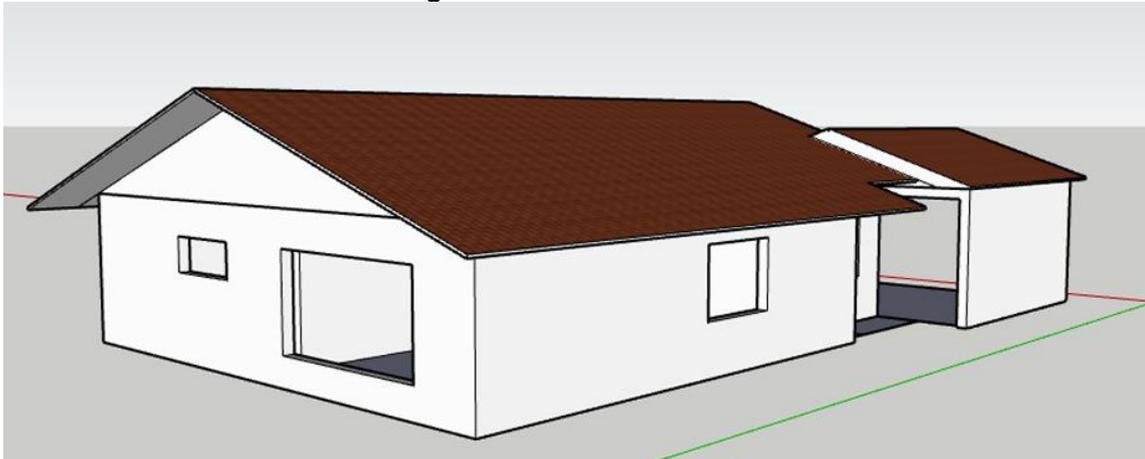
Figura 10 - Planta baixa da residência objeto do estudo



Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 11 - Fachada da casa**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Figura 12 - Fundos da casa**

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A residência foi modelada utilizando o software SketchUp, levando em consideração os seguintes aspectos construtivos: paredes com tijolo deitado revestido por reboco de argamassa em ambos os lados, com espessura total de 200mm, janelas com folhas de vidro temperado com espessura 10mm, portas em madeira com espessura de 30mm e telhado com telhas de fibrocimento com espessura de 6mm. As portas de acesso aos cômodos apresentam medida padrão de 800mm de largura por 2100mm de altura e a porta de entrada principal, localizada na sala, apresenta a mesma altura, porém com largura de 1300mm. As janelas na sala e na suíte tem altura de 1600mm, sendo afastadas 500mm do chão, nos banheiros estão afastadas do chão em 1500mm, para garantir a privacidade dos usuários, e possuem altura de 600mm. Nos demais cômodos apresentam altura padrão de 1200mm afastadas em 900mm do chão. As respectivas larguras foram definidas de modo a maximizar a

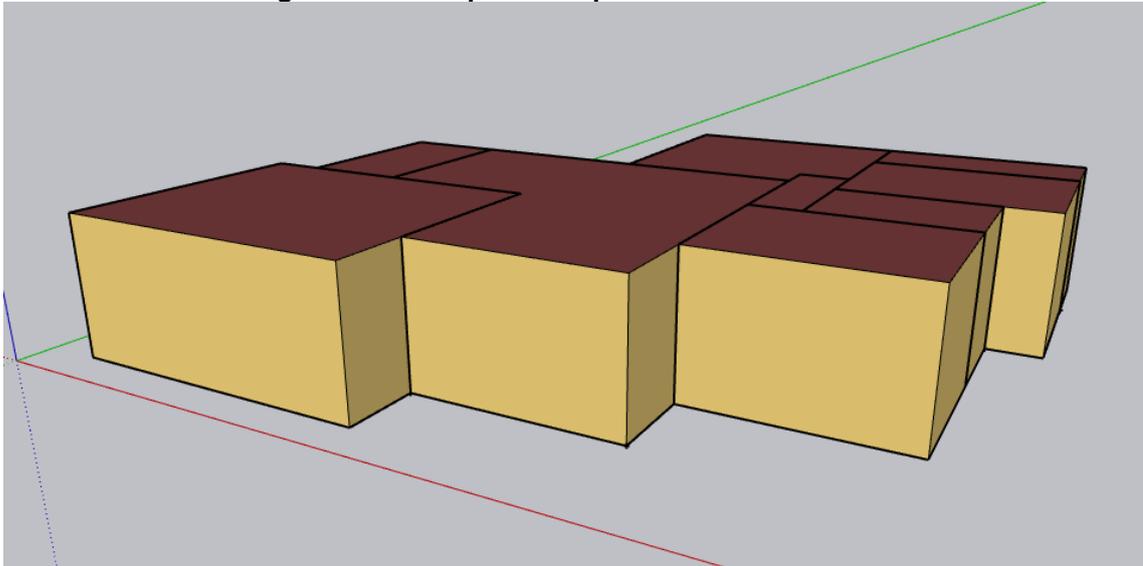
entrada de ar e luz, mas sem comprometer a posição de uma eventual mobília ou equipamentos nos respectivos cômodos.

### 3.2 Modelagem

O desenho arquitetônico desenvolvido no SketchUp serviu apenas como uma base de localização e distribuição dos cômodos, bem como dos acessos e posição das janelas, além de uma visão geral da residência, mas não teve real utilidade para fins da simulação energética. Para isso, foi necessário refazer o desenho utilizando a barra de ferramentas do Open Studio, na própria interface do SketchUp.

Para isso foi necessário desenhar em uma vista superior a planta baixa da residência novamente, porém nesse primeiro momento pôde ser desprezada a espessura das paredes, então com a ferramenta do Open Studio *Create Spaces From Diagram* (Criar espaços a partir do diagrama), foi inserido a altura do pé direito da residência, que nesse caso foi deliberada em 2,7m, e o software criou uma imagem tridimensional extrudada a partir da planta baixa desenhada, com a altura determinada, como representado na Figura 13.

**Figura 13 - Exemplo da etapa inicial de um modelo**

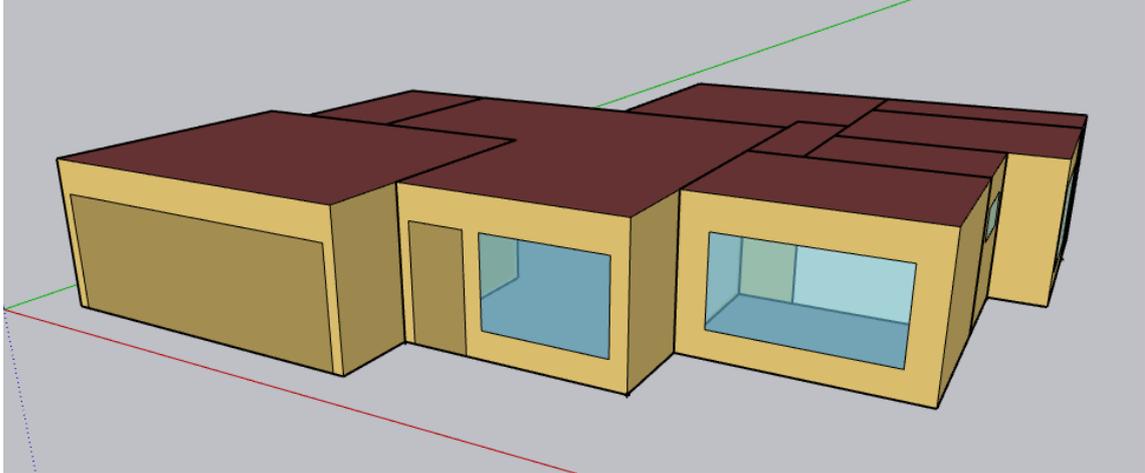


**Fonte: Autoria própria (2022)**

A próxima etapa foi inserir manualmente as portas e janelas, utilizando a própria ferramenta de desenho do SketchUp. Vale ressaltar que o próprio software já reconhece as diferentes estruturas e as representa com cores diferentes, sendo as

paredes amarelas, o telhado marrom escuro, as portas um marrom médio e as janelas um azul translúcido, que permitem visualizar inclusive as paredes internas do modelo.

**Figura 14 - Exemplo de um modelo representado com portas e janelas**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Posteriormente, foi necessário identificar cada um dos cômodos e delimitar as respectivas zonas térmicas. Essa análise individual é necessária, porque embora dois cômodos possuam a mesma área e apresentem as mesmas cargas térmicas, a sua posição em relação à residência e aos cômodos adjacentes pode significar mais insolação ou sombra por exemplo, o que interfere nas suas necessidades de climatização. Isso é feito no software utilizando a ferramenta *Set Attributes For Selected Spaces* (Definir atributos para espaços selecionados).

### 3.3 Simulação

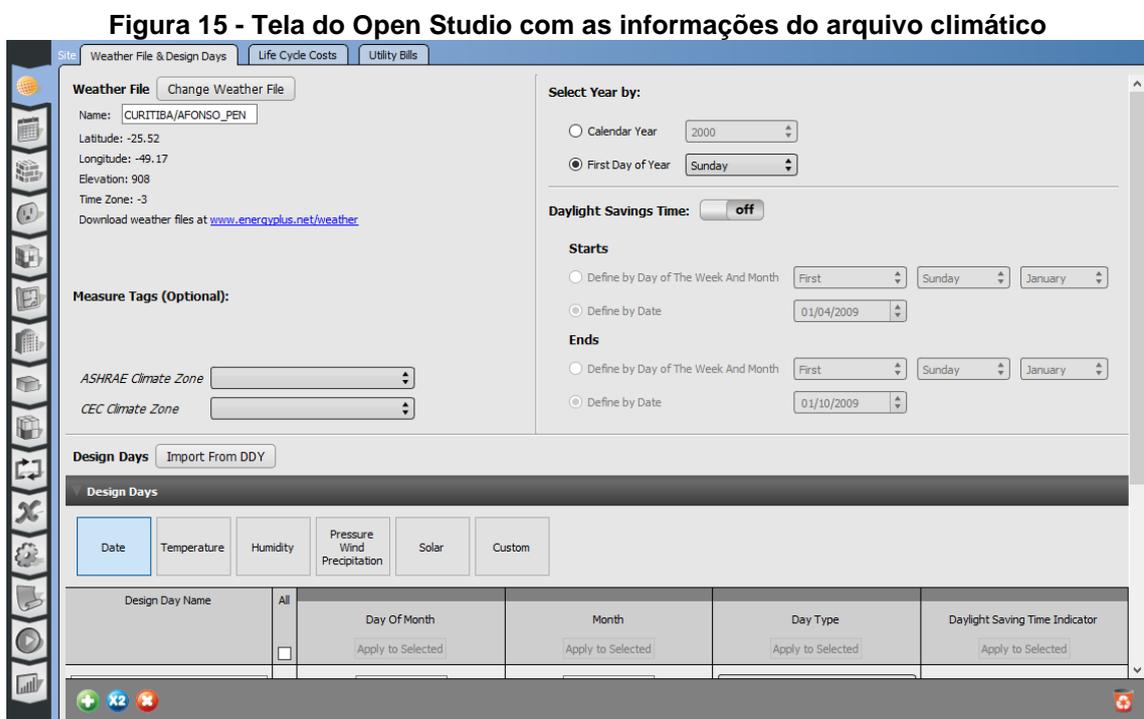
A etapa de simulação foi feita dentro da própria interface do Open Studio, e não mais através do SketchUp. Essa interface pôde ser acessada pela própria barra de ferramentas do programa, no botão *Launch OpenStudio* (Abrir OpenStudio).

A interface do programa é relativamente intuitiva e apresenta uma barra de ferramentas lateral indicando cada uma das etapas a ser seguida até a realização da simulação.

### 3.3.1 Arquivo Climático

A primeira variável a ser inserida no programa foi o arquivo climático regional. Esse arquivo é fornecido pelos institutos de meteorologia e contém o histórico de temperaturas para a região.

Para esta análise foram utilizados os dados climáticos da cidade de Curitiba, fornecido pelo próprio banco de dados do Energy Plus, já que os dados da cidade de Guarapuava não estão disponíveis. A Figura 15 apresenta a tela inicial do programa com as informações do arquivo climático regional.



Fonte: Aatoria própria (2022)

### 3.3.2 Cargas Internas

O software permite determinar, como cargas internas a iluminação, os equipamentos elétricos disponíveis, as pessoas no ambiente e seus respectivos níveis de atividade. Cada uma dessas cargas é associada a um cronograma, fracionário que determina qual porcentagem daquela determinada carga estará presente em função das horas do dia.

### 3.3.2.1 Iluminação

A NBR 5413 estabelece os valores de iluminâncias médias mínimas em serviço para iluminação artificial em interiores, a Tabela 2 foi adaptada com os valores extraídos da norma para a residência em questão, considerando-se a soma da iluminação geral e local, e considerando a luminância média do grupo.

**Tabela 2 - Iluminância por cômodo da residência**

<b>Cômodo</b>	<b>Iluminância [lux]</b>
Sala	500
Cozinha	500
Quartos	500
Banheiros	450
Circulação	100
Área de serviço	250

**Fonte: Adaptado de NBR 5413 (1992)**

A fim de determinar o fluxo luminoso para cada ambiente, multiplica-se os valores de iluminância determinados na norma, pela área de cada ambiente, os resultados são apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3 - Cálculo do fluxo luminoso por cômodo**

<b>Cômodo</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Fluxo luminoso [lumens]</b>
Sala	29,56	14750
Cozinha	14,35	7175
Quarto 1	10,64	5320
Quarto 2	10,64	5320
Suíte	19,14	9550
BWC Social	6,84	3080
BWC Suíte	7,79	3505
Circulação	5,42	540
Área de serviço	7,95	1990

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Analisando as informações de potência e fluxo luminoso de algumas lâmpadas disponíveis no mercado, pode-se afirmar que uma lâmpada eficiente apresenta uma

eficiência luminosa de aproximadamente 100 lumens/watts. A devida conversão e os valores de potência dimensionados para cada cômodo estão expostos na Tabela 4.

**Tabela 4 - Cálculo da potência**

<b>Cômodo</b>	<b>Fluxo luminoso [lumens]</b>	<b>Potência [W]</b>
Sala	14750	147,5
Cozinha	7175	71,75
Quarto 1	5320	53,20
Quarto 2	5320	53,20
Suíte	9550	95,50
BWC Social	3080	30,80
BWC Suíte	3505	35,05
Circulação	540	5,40
Área de serviço	1990	19,90
<b>Total</b>		<b>512,25</b>

**Fonte: A autoria própria (2022)**

Portanto são necessários pouco mais de 500W para a iluminação do interior da residência.

### 3.3.2.2 Equipamentos

Na Tabela 5 estão listados por cômodo, os principais equipamentos necessários para uma residência, com suas respectivas potências.

**Tabela 5 - Potência dos equipamentos**

**(continua)**

<b>Cômodo</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Potência [W]</b>
Sala	Aparelho de TV	200
	Home-theater	100
Banheiro	Chuveiro elétrico	7500
	Secador de cabelo	1300
Dormitório	Aparelho de TV	200
	Computador	90

**(conclusão)**

<b>Cômodo</b>	<b>Equipamento</b>	<b>Potência [W]</b>
Área de Serviço	Máquina de lavar roupa	1500
	Aspirador de pó	1000
	Ferro de passar	1500
Cozinha	Forno	2000
	Micro-ondas	1300
	Air fryer	1800
	Liquidificador	400
	Batedeira	450
	Sanduicheira	1200
	Geladeira	140
Cafeteira	600	

**Fonte: Adaptado de Mundo da elétrica (2022)**

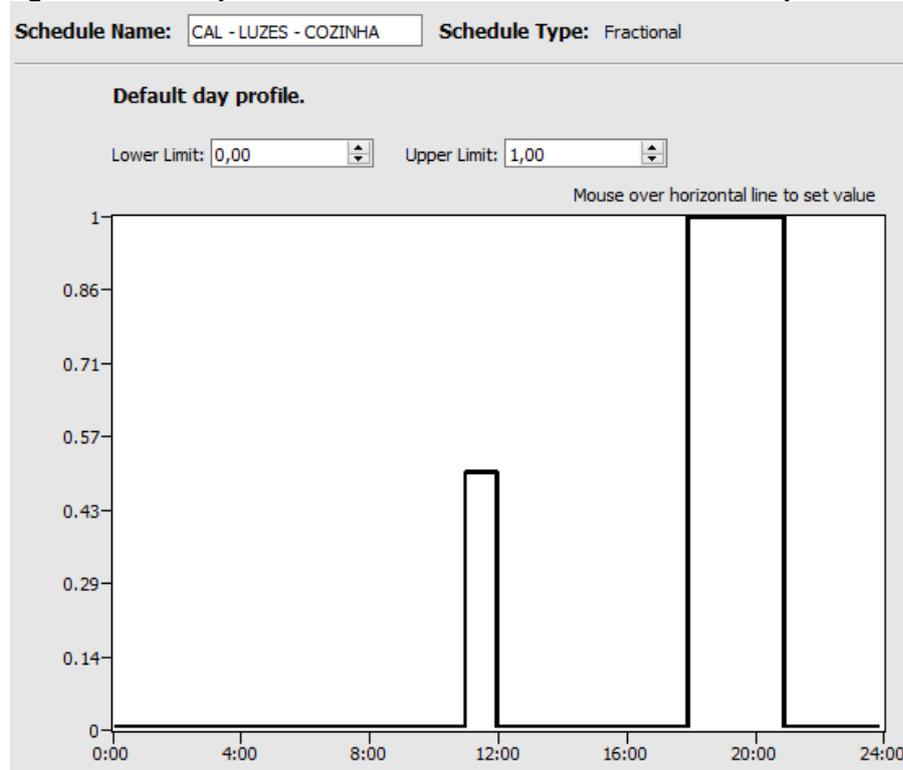
### 3.3.2.3 Pessoas

Das pessoas que frequentam a residência, foi considerada uma família composta por cinco pessoas, e mais um funcionário, responsável pela limpeza.

### 3.3.3 Cronogramas

O software fornece gráficos nos quais o usuário determina a porcentagem da carga a ser utilizada em função das horas do dia. É possível criar quantos intervalos forem necessários. A Figura 16 apresenta um exemplo de um dos cronogramas no software

**Figura 16 - Exemplo de um calendário extraído do software Open Studio**



Fonte: Autoria própria (2022)

A fim de simplificar a análise, foram utilizados os mesmos cronogramas para os mesmos tipos de cômodos, como dormitórios e banheiros. Além disso, não foram considerados padrões de dias diferentes, como por exemplo fins de semana ou feriados.

### 3.3.3.1 Iluminação

Para a iluminação foram considerados os seguintes casos:

Nos banheiros 100% da iluminação ativada das 18h às 19h, sugerindo o horário em que os membros da família tomam banho e 50% ativada das 22:30h às 23h, sugerindo o uso antes de dormir.

Para os quartos foi considerado uma carga de 75% da carga instalada das 21h às 23h.

Na cozinha foi considerada 50% da iluminação no horário das 11h ao meio dia, sugerindo uma iluminação focal, para auxílio do preparo do almoço, e 100% da iluminação ativa a partir das 18h até as 21h, sugerindo o horário do preparo do jantar e da refeição.

Na sala foi deliberado 75% da capacidade instalada na faixa horária das 18h às 23h, sugerindo a interação social da família nesse ambiente.

Na área de serviço não foi considerada carga de iluminação, pois o cômodo é usado majoritariamente durante o dia, em horário comercial.

### 3.3.3.2 Equipamentos

Na sala, foi determinado um consumo de 66% da capacidade instalada, (sugerindo uma televisão ligada, por exemplo) nos horários das 8h às 12h e também no horário das 19h às 23h. Nos demais horários foi considerado um consumo de 1% referente aos aparelhos em *stand-by*.

Nos dormitórios, 40% da capacidade instalada das 7h às 8h e das 22h às 23h. Entre as 8h e as 22h um consumo de 15% indicando um computador ligado, por exemplo e nos demais horários 1% referente aos equipamentos em *stand-by*.

Nos banheiros foi considerado 70% da capacidade das 19h às 19:15h sugerindo um chuveiro ligado e em seguida 20% das 19:15h às 19:30h indicando um secador de cabelo, por exemplo.

Na área de serviço foi considerada uma carga de 35% das 8h às 11h e também das 14h às 17h, sugerindo o uso de uma máquina de lavar, um ferro de passar, e um aspirador de pó, em horários diferentes.

### 3.3.3.3 Pessoas

Nos dormitórios foi considerada a presença de duas pessoas nos horários das 23h às 7h

Nos banheiros, duas pessoas nos horários das 7h às 7:30h, também nos horários das 18h às 19h e por fim das 22:30h às 23h.

Na sala, duas pessoas das 8h às 11h, também das 13h às 18h e por fim, quatro pessoas das 20h às 22h.

Na cozinha, 5 pessoas das 6h às 7:30, das 12h às 13h e das 20h às 21h.

Na área de serviço, uma pessoa das 8h às 11h e das 13h às 17h.

### 3.3.4 Aspectos Construtivos

Para a residência em questão foram definidos dois padrões construtivos: um para áreas secas como sala e quartos, e um para áreas molhadas, como banheiros, cozinha e área de serviço. Eles diferem com relação aos acabamentos:

Nas áreas molhadas foi determinado a instalação de revestimento cerâmico tanto no piso quanto nas paredes, enquanto nas áreas secas, o revestimento das paredes é apenas massa e tinta enquanto o piso é revestido por tábuas de madeira de espessura 15mm.

As características termo físicas dos principais materiais utilizados são apresentadas na Tabela 6.

**Tabela 6 - Características termo físicas dos materiais**

<b>Material</b>	<b>Espessura [m]</b>	<b>Condutividade térmica [W/mK]</b>	<b>Densidade equivalente [kg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Calor específico [J/kgK]</b>
Tábua de madeira	0,015	0,15	614	2300
Janela de vidro	0,01	0,9	2500	670
Reboco de argamassa	0,025	1,15	2000	1000
Bloco de tijolo maciço	0,14	0,9	1764	920
Telha fibrocimento	0,006	0,95	1900	840
Laje de concreto	0,2	1,75	2200	1000
Revestimento cerâmico	0,01	0,9	1600	920
Argamassa de assentamento	0,015	1,15	2000	1000

**Fonte: Adaptado de Vieira (2019)**

Todas essas informações foram alimentadas no Open Studio para a criação de cada um dos materiais, e posteriormente os materiais foram agrupados em “construções” por camadas, da mais externa pra mais interna. A Tabela 7 mostra as associações de materiais feitas:

**Tabela 7 - Agrupamento de materiais em construções**

<b>Tipo de construção</b>	<b>Áreas secas</b>	<b>Áreas molhadas</b>
Paredes	Reboco de argamassa, tijolo, reboco de argamassa	Reboco de argamassa, tijolo, reboco de argamassa, reboco de assentamento, revestimento cerâmico Revestimento cerâmico,
Piso	Tábua de madeira, laje de concreto	argamassa de assentamento, laje de concreto
Telhado	Telha de fibrocimento, resistência do ar do vão do forro, laje de concreto, reboco de argamassa	Telha de fibrocimento, resistência do ar do vão do forro, laje de concreto, reboco de argamassa
Portas	Tabua de madeira, tabua de madeira	Tabua de madeira, tabua de madeira
Janelas	Vidro	Vidro

**Fonte: A autoria própria (2022)**

### 3.3.5 Montagem dos espaços

Na aba *space types* no Open Studio, foram criados os tipos de espaço, onde foram inseridos as cargas e os respectivos cronogramas. Essa tela está representada na Figura 17.

No entanto, esses tipos de espaços ainda não estão atribuídos aos cômodos que foram modelados no SketchUp, essa etapa é feita na aba *spaces*, onde cada um dos cômodos do modelo foi associado à um tipo de espaço e à um tipo de construção, como ilustrado na Figura 18.

**Figura 17 - Aba 'space types' no Open Studio, mostrando as cargas e os respectivos cronogramas**

Space Type Name	Load Name	Multiplier	Definition	Schedule
ST BWC	People 2	1.000000	PEOP - SP	CAL - PESSOAS - BWC
	Lights 1	1.000000	LUZ - BWC	CAL - LUZES - BWC
	Electric Equipment 3	1.000000	EQ.EL - BWC	CAL - EQUIP - BWC
ST COZINHA	People 3	1.000000	PEOP - SP	CAL - PESSOAS - COZINHA
	Lights 2	1.000000	LUZ - COZINHA	CAL - LUZES - COZINHA
	Electric Equipment 1	1.000000	EQ. EL - COZINHA	CAL - EQUIP - COZINHA
ST LAVANDERIA	People 4	1.000000	PEOP - SP	CAL - PESSOAS - LAVANDERIA
	Lights 3	1.000000	LUZ - LAVANDERIA	CAL - LUZES - LAVANDERIA
	Electric Equipment 6	1.000000	EQ.EL - LAVANDERIA	CAL - EQUIP - LAV

Fonte: Autoria própria (2022)

**Figura 18 - Aba 'spaces' no Open Studio, com cada cômodo atribuído às suas características**

Space Name	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
BWC SOCIAL	Building Story 1	TZ BWC SOCIAL	ST BWC	C.SET - AREA MOLHADA		✓
BWC SUITE	Building Story 1	TZ BWC SUITE	ST BWC	C.SET - AREA MOLHADA		✓
CORREDOR	Building Story 1	TZ CORREDOR	ST SALA	C.SET - AREA SECA		✓
COZINHA	Building Story 1	TZ COZINHA	ST COZINHA	C.SET - AREA MOLHADA		✓
LAVANDERIA	Building Story 1	TZ LAVANDERIA	ST LAVANDERIA	C.SET - AREA MOLHADA		✓
QUARTO 1	Building Story 1	TZ QUARTO 1	ST QUARTO	C.SET - AREA SECA		✓
QUARTO 2	Building Story 1	TZ QUARTO 2	ST QUARTO	C.SET - AREA SECA		✓
SALA	Building Story 1	TZ SALA	ST SALA	C.SET - AREA SECA		✓
SUITE	Building Story 1	TZ SUITE	ST SUITE	C.SET - AREA SECA		✓

Fonte: Autoria própria (2022)

Foi atribuída uma zona térmica a cada cômodo e foram delimitados os parâmetros de temperatura para cargas de aquecimento e de arrefecimento.

A norma NBR 16401 determina que, a temperatura operativa para conforto térmico no inverno está na faixa entre 21,0 °C a 24,0 °C e para o verão, a faixa confortável é de 22,5 °C até 26,0 °C, a depender da umidade relativa do ar. Para esta análise, foram utilizadas as temperaturas de bulbo seco de 23 °C para ambas as estações.

Por fim, seleciona-se dentre as inúmeras variáveis de saída as que forem convenientes para a análise, na aba correspondente do programa. Para o caso proposto, a energia de aquecimento e energia de arrefecimento por zona térmica. E então o programa é capaz de rodar a simulação.

### 3.3.6 Dimensionamento Do Sistema Geotérmico

Com os dados dos picos de carga para o aquecimento e arrefecimento do edifício, utilizou-se o software RETScreen para o dimensionamento do trocador de calor com o solo, objetivo deste trabalho. Para isso o programa segue alguns passos, como a característica do local, da instalação e as demandas energéticas.

#### 3.3.6.1 Características do local

Para o município de Guarapuava, objeto deste estudo, o banco de dados climáticos do RETScreen fornece algumas informações, reunidas no Quadro 1.

<b>Latitude</b>	-25,4
<b>Longitude</b>	-51,5
<b>Zona Climática</b>	3A – Quente – Úmido
<b>Elevação</b>	948 m
<b>Temperatura para projeto de aquecimento</b>	7,9°C
<b>Temperatura para projeto de refrigeração</b>	28,6°C
<b>Amplitude da temperatura do solo</b>	12,5°C

Fonte: RETScreen (2022)

Onde a temperatura para o projeto de aquecimento e refrigeração é a mínima temperatura que foi medida por uma frequência de ao menos 1% em um ano, para a área específica (ASHRAE, 2009). E também foi fornecido pelo banco de dados climáticos do RETScreen.

Além disso, as médias de temperaturas para a região por mês, bem como os graus-dia para aquecimento e refrigeração estão representados na Tabela 8. Os Graus-dia mensais são a somatória da diferença entre as temperaturas menores que 18°C para a estação de aquecimento e acima de 10°C para a estação de refrigeração. Por exemplo, se em um determinado dia no mês de julho, a temperatura externa foi de 5°C, a diferença entre essa temperatura e 18°C são os graus-dia desse dia em específico, portanto, 13 graus-dia. Repete-se o procedimento para todos os dias do mês.

Essa medida indica a intensidade e a duração do tempo frio ou quente, e está melhor ilustrada nos Gráficos 1 e 2.

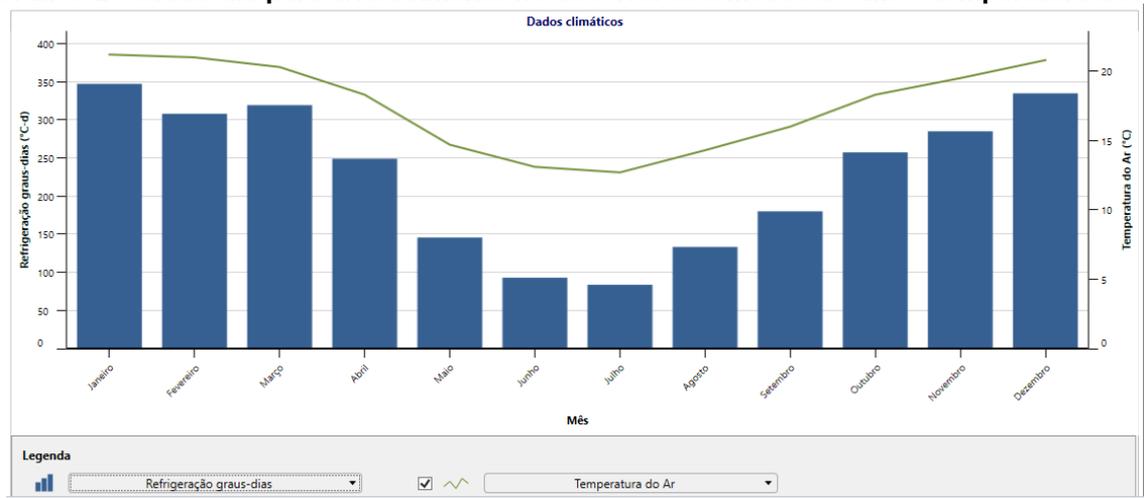
**Tabela 8 - Graus-dia para aquecimento e refrigeração**

<b>Mês</b>	<b>Temperatura do ar [°C]</b>	<b>Graus-dia para aquecimento</b>	<b>Graus dia para refrigeração</b>
<b>Janeiro</b>	21,2	0	347
<b>Fevereiro</b>	21,0	0	308
<b>Março</b>	20,3	0	319
<b>Abril</b>	18,3	0	249
<b>Mai</b>	14,7	102	146
<b>Junho</b>	13,1	147	93
<b>Julho</b>	12,7	164	84
<b>Agosto</b>	14,3	115	133
<b>Setembro</b>	16,0	60	180
<b>Outubro</b>	18,3	0	257
<b>Novembro</b>	19,5	0	285
<b>Dezembro</b>	20,8	0	335
<b>Anual</b>	17,5	588	2736

**Fonte: RETScreen (2022)**

**Gráfico 1 - Graus-dia para aquecimento no decorrer dos meses do ano e temperatura do ar**

Fonte: RETScreen (2022)

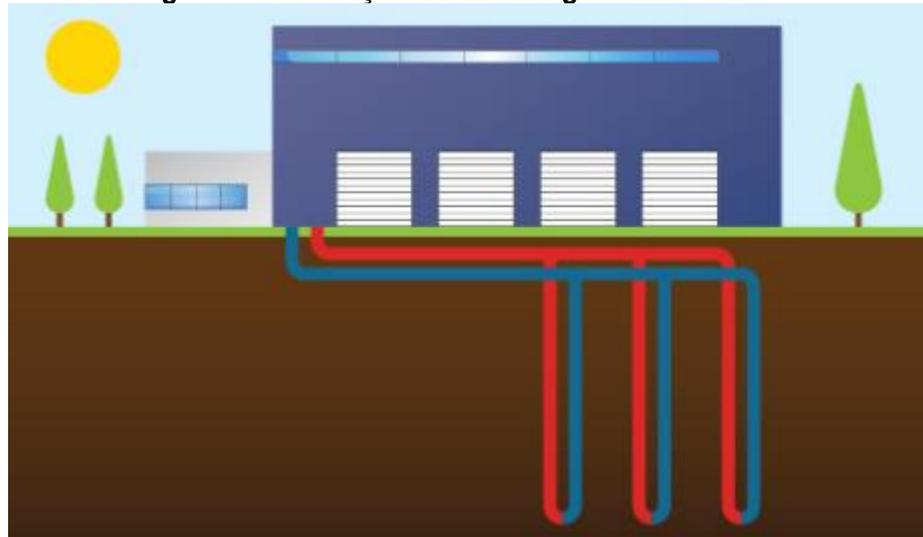
**Gráfico 2 - Graus-dia para arrefecimento no decorrer dos meses do ano e temperatura do ar**

Fonte: RETScreen (2022)

### 3.3.6.2 Características da instalação

Nesta etapa foi selecionado no programa o tipo de instalação, a categoria “Produção de calor e frio” e a descrição “Bomba de calor – solo como fonte de energia”, A Figura 19 é uma ilustração para demonstrar o caso escolhido, fornecida pelo software.

**Figura 19 - Ilustração do sistema geotérmico**



**Fonte: RETScreen (2022)**

O Trocador de calor pode ser horizontal de ciclo fechado ou vertical de ciclo fechado. Além disso, o programa permite selecionar entre três opções de configuração para o trocador de calor: Sendo elas, “padrão”, “compacta” e “super compacta”. Essa seleção determina a separação mínima entre furos em um sistema vertical e entre valas em um sistema horizontal, e pode ser ajustada conforme o espaço de terreno disponível. No entanto, para o caso de cargas de resfriamento muito maiores do que cargas de aquecimento ou vice-versa a eficiência do sistema pode ser reduzida em caso de GHXs compactados (RETScreen).

### 3.3.6.3 Demanda de energia

Por fim, foram inseridos os dados de picos de carga obtidos pelo Open Studio, bem como a área do edifício, dados da bomba de calor, como coeficiente de performance, porcentagem de energia para rede de água quente, e porcentagem de energia de refrigeração independente da estação, esta última refere-se ao caso de câmaras frigoríficas ou aplicações similares, dispensável para esta análise.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Uma vez aplicada a metodologia e as devidas deliberações discutidas no capítulo anterior, os seguintes resultados foram obtidos:

### 4.1 Cargas térmicas

As Tabelas 9 e 10 apresentam o resultado da simulação para os picos de carga de arrefecimento e aquecimento respectivamente, obtidos pelo software Open Studio.

**Tabela 9 – Cargas de arrefecimento**

<b>Cômodo</b>	<b>Carga de pico [W]</b>	<b>Carga pela área [W/m<sup>2</sup>]</b>
Banheiro social	4696.53	587.07
Banheiro suíte	5123.36	569.26
Cozinha	3139.01	199.30
Área de Serviço	1678.20	186.47
Sala	744.06	23.62
Dormitório 1	214.43	17.87
Dormitório 2	166.08	13.84
Suíte	142.79	6.86
<b>Total</b>	<b>15904,46</b>	

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Essa carga de pico de arrefecimento se deu no dia 21 de fevereiro, em que a temperatura máxima aferida naquele dia foi de 30,72°C.

A somatória das cargas de pico divididas pela área total a ser climatizada é de aproximadamente 141,6 W/m<sup>2</sup>. Essa informação será relevante na hora de dimensionar o sistema geotérmico.

Para o caso de aquecimento, a somatória das cargas de pico divididas pela área total a ser climatizada é de aproximadamente 45 W/m<sup>2</sup>.

Esse pico de carga foi registrado no dia 21 de julho daquele ano, em que a temperatura externa atingiu a marca de 2,7°C.

**Tabela 10 - Cargas de aquecimento**

<b>Cômodo</b>	<b>Carga de pico [W]</b>	<b>Carga pela área [W/m<sup>2</sup>]</b>
Banheiro social	311.59	38.95
Banheiro suíte	312.51	94.72
Cozinha	276.26	17.54
Área de Serviço	471.61	52.40
Sala	1733.00	55.02
Dormitório 1	553.98	46.17
Dormitório 2	410.30	34.19
Suíte	932.72	44.84
<b>Total</b>	<b>5001,97</b>	

**Fonte: Autoria própria (2022)**

O Apêndice A apresenta dados mais detalhados extraídos dos relatórios do Open Studio.

Quando alimentados esses dados no RETScreen, o programa fornece os valores das cargas de acordo com sua distribuição pelo ano, conforme a demanda pré-estabelecida pelos graus-dia, conforme a Tabela 11.

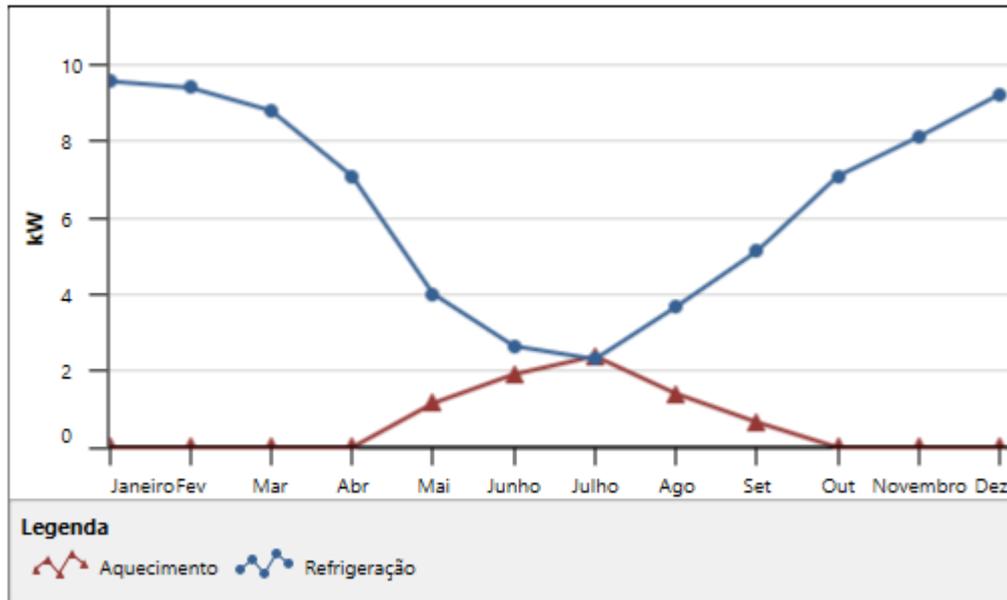
**Tabela 11 - Distribuição das cargas ao longo do ano.**

<b>Mês</b>	<b>Carga do sistema de refrigeração [kW]</b>	<b>Carga do sistema de aquecimento [kW]</b>
Janeiro	9,6	0
Fevereiro	9,4	0
Março	8,8	0
Abril	7,1	0
Maio	4	1,2
Junho	2,7	1,9
Julho	2,3	2,4
Agosto	3,7	1,4
Setembro	5,1	0,66
Outubro	7,1	0
Novembro	8,1	0
Dezembro	9,2	0
Carga de pico – anual	15,9	5,1

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Esses dados estão representados graficamente no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Representação da distribuição das cargas ao longo do ano



Fonte: Autoria própria (2022)

É possível notar que os números de graus-dia de aquecimento estão concentrados dentre os meses de abril e outubro, que são tipicamente os meses de inverno na região e estão zerados nos demais meses, enquanto os graus-dia de refrigeração estão espalhados nos meses de verão, a partir de outubro até maio, tendo o seu auge nos meses de janeiro e fevereiro.

#### 4.2 Bomba de calor

A bomba de calor selecionada para o projeto foi escolhida do banco de dados do RETScreen com base na sua potência requerida. O Quadro 2 apresenta as características do equipamento.

Quadro 2 - Dados técnicos da bomba de calor selecionada

<b>Fabricante</b>	Addison
<b>Modelo</b>	HGY072-4A
<b>Potência de aquecimento</b>	16,23kW
<b>Potência de refrigeração</b>	22,36kW
<b>COP aquecimento</b>	3,7
<b>COP refrigeração</b>	4,7

Fonte: RETScreen (2022)

Esse modelo é suficiente para atender as demandas do projeto, atendendo até 140% das cargas de refrigeração e mais de 320% das cargas de aquecimento.

### 4.3 Trocador de calor

Como no estudo de caso não fora definido previamente dimensões do terreno ou a sobra do terreno em relação à casa, iremos analisar os três casos propostos, para as configurações de circuito fechados vertical e horizontal.

#### 4.3.1 Circuito fechado vertical

Para o caso do circuito fechado vertical, que é o circuito no qual as serpentinas ficam perpendiculares à superfície do solo, é possível obter as informações de área mínima necessária de terreno para sua instalação, o comprimento do poço a quantidade, em metros, de tubulação a ser instalada, bem como a quantidade de fluido e a distância entre os furos. Essa distância varia de acordo com a configuração a ser escolhida para a instalação: no caso de terrenos menores essa distância é reduzida, no entanto a eficiência é prejudicada.

As Tabelas 12, 13 e 14 apresentam os dados obtidos para as configurações padrão, compacto e muito compacto, respectivamente.

**Tabela 12 - Dados para o permutador vertical padrão.**

<b>Critério de projeto</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Arrefecimento</b>
Área mínima do terreno	117m <sup>2</sup>	117m <sup>2</sup>
Comprimento do poço	469m	411m
Tubo do circuito	937m	821m
Fluido circulante	0,08m <sup>3</sup>	0,07m <sup>3</sup>
Distância entre furos	6,1m	6,1m

**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Tabela 13 - Dados para o permutador vertical compacto.**

<b>Critério de projeto</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Arrefecimento</b>
Área mínima do terreno	42m <sup>2</sup>	42m <sup>2</sup>
Comprimento do poço	477m	416m
Tubo do circuito	953m	833m
Fluido circulante	0,08m <sup>3</sup>	0,07m <sup>3</sup>
Distância entre furos	3,7m	3,7m

**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Tabela 14 - Dados para o permutador vertical muito compacto**

<b>Critério de projeto</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Arrefecimento</b>
Área mínima do terreno	18,7 m <sup>2</sup>	18,7 m <sup>2</sup>
Comprimento do poço	495m	430 m
Tubo do circuito	990m	860 m
Fluido circulante	0,09m <sup>3</sup>	0,08 m <sup>3</sup>
Distância entre furos	2,4m	2,4m

**Fonte: Autoria própria (2022)**

#### 4.3.2 Circuito fechado horizontal

Para o caso do circuito fechado horizontal, que é o circuito no qual as serpentinas ficam paralelas à superfície do solo, é possível obter as informações de área mínima necessária de terreno para sua instalação, o comprimento da vala a ser cavada, a quantidade de tubulação a ser instalada, bem como a quantidade de fluido e a distância entre as valas, que também varia de acordo com a configuração escolhida. As Tabelas 15, 16 e 17 apresentam os dados obtidos para as configurações padrão, compacto e muito compacto, respectivamente.

**Tabela 15 - Dados para o permutador horizontal padrão**

<b>Critério de projeto</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Arrefecimento</b>
Área mínima do terreno	713m <sup>2</sup>	682m <sup>2</sup>
Comprimento do circuito	585m	559m
Comprimento da vala	292m	280m
Tubo do circuito	585m	559m
Fluido circulante	0,10m <sup>3</sup>	0,10m <sup>3</sup>
Distância entre valas	3,7m	3,7m

**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Tabela 16 - Dados para o permutador horizontal compacto**

<b>Critério de projeto</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Arrefecimento</b>
Área mínima do terreno	477m <sup>2</sup>	450m <sup>2</sup>
Comprimento do circuito	626m	591m
Comprimento da vala	313m	295m
Tubo do circuito	626m	591m
Fluido circulante	0,11m <sup>3</sup>	0,10m <sup>3</sup>
Distância entre valas	2,4m	2,4m

**Fonte: Autoria própria (2022)**

**Tabela 17 - Dados para o permutador horizontal muito compacto**

<b>Critério de projeto</b>	<b>Aquecimento</b>	<b>Arrefecimento</b>
Área mínima do terreno	220m <sup>2</sup>	202m <sup>2</sup>
Comprimento do circuito	721m	664m
Comprimento da vala	361m	332m
Tubo do circuito	721m	664m
Fluido circulante	0,13m <sup>3</sup>	0,12m <sup>3</sup>
Distância entre valas	1,5m	1,5m

**Fonte: Aatoria própria (2022)**

## 5 CONCLUSÕES

O presente trabalho procurou modelar uma residência unifamiliar ideal para uma família média de até 5 pessoas, utilizando métodos construtivos usuais, determinando as características de instalação e ocupação com o intuito de aproximá-la o máximo possível de uma residência real, levando em consideração a norma NBR 5413 para cálculo das necessidades de iluminação e a norma NBR 16401 para conceitos de conforto térmico. Uma vez modelada a residência e suas necessidades energéticas, foi dimensionado um sistema de climatização com base em bomba de calor de permutador geotérmico, para suprir suas demandas energéticas, garantindo conforto térmico para os ocupantes.

A partir dos resultados obtidos pode-se afirmar que, a demanda total de arrefecimento é maior que a de aquecimento em virtude não de uma grande amplitude de temperatura, mas sim de um número muito maior de graus-dia de refrigeração, mais de 4,5 vezes maior que os graus-dia de aquecimento. Portanto, no decorrer de um ano, o sistema produzirá mais frio do que calor.

No entanto, como a amplitude de temperatura nos meses do inverno é maior, o sistema precisará extrair mais calor do solo para aquecer o ambiente, portanto o dimensionamento do permutador para o caso do aquecimento é maior. Para construção, os dados de aquecimento são os que devem ser levados em consideração, visto que são mais que suficientes pra suprir as demais estações.

A escolha do melhor sistema de permutador vai depender principalmente do tamanho do terreno disponível, pois é a variável que apresenta maior variação, podendo variar de pouco menos de 19 metros quadrados para o circuito vertical super compacto até mais de 700 metros quadrados para o circuito horizontal padrão.

Além disso, pelos dados coletados é possível perceber que, para essa aplicação, a quantidade de tubos do circuito é sempre o dobro do tamanho da vala para o caso do sistema horizontal ou do furo para o caso do sistema vertical. Isso quer dizer que o programa efetuou o cálculo com base em apenas uma serpentina, o que pode sugerir que as cargas sejam muito baixas para a instalação do sistema.

Como sugestão para trabalhos futuros, uma análise de custos de implantação do sistema, a fim de analisar a viabilidade financeira e o tempo de retorno do investimento, ainda uma análise mais detalhada, alterando-se determinados

parâmetros para analisar quais dos parâmetros tem uma maior influência no resultado final, que poderia tornar o sistema mais vantajoso.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-1: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5413: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16401-2: Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Rio de Janeiro, 2008.

AZEVEDO, Julia. **Entenda o que é energia geotérmica**. Portal e-cycle. c2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/energia-geotermica/>>. Acesso em 10 dez 2022.

BROWNING, K. **What Temperature Does A Ground Source Heat Pump Produce?** ClimateBiz. Disponível em <<https://climatebiz.com/ground-source-heat-pump-temperature/>> Acesso em 24 ago 2021.

ÇENGEL, Y. A.; Boles, M. A. **Termodinâmica**. [Porto Alegre]: Grupo A, 2013. 9788580552010. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552010/>. Acesso em: 2021 ago. 10.

DANTAS, Daniel.; Barbosa, Gabriela P. et al. **Temperatura Do Ar E Do Solo Em Diferentes Profundidades, Em Diamantina – MG**. Cad. Ciênc. Agrá. v. 9. n. 3. p. 61–66. 2017.

**ENERGIA Geotérmica**. Trilhos energéticos. Disponível em <<http://trilhosenergeticos.pt/energia-geotermica/>>. Acesso em 1 ago 2021.

FERREIRA, Fabiano D.; Marques, Tássia H. T. **Carga Térmica: princípios básicos**. Portal Engenharia e Arquitetura. 2018. Disponível em <<https://www.engenhariaearquitectura.com.br/2018/01/carga-termica-principios-basicos>>. Acesso em 10 dez 2022.

GONÇALVES, Diogo J. P. **Utilização de Bombas de Calor Geotérmico no Aquecimento e Climatização da Academia Militar**. 2017. 106f. Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia e Gestão da Energia. Instituto Superior Técnico Lisboa. 2017.

GUPTA, H.; Roy, S. **Geothermal Energy – An Alternative Resource For The 21st Century**. 1ª ed. 522p. Elsevier. 2006.

HARARI, Y. N. **Sapiens – Uma breve história da humanidade**. 25ª ed. Porto Alegre – RS. L&PM. 2017.

HARRISON, R.; Mortimer, N. D.; Smarason, O. B. **Geothermal Heating: A handbook of Engineering Economics**. 1ª Ed. Pergamon Press. 1990.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). «Banco de dados meteorológicos».

Consultado em julho de 2021.

KAVANAUGH, Steve; RAFFERTY Kevin. **Geothermal Heating And Cooling – Design of Ground-Source Heat Pump Systems**. 442 p. Atlanta. Ashrae. 2014.

MARLOW, Simon. **Make Solar & Geothermal Work for You – Harness the Sun and Earth to Power Your Lifestyle**. 147 p. SandSPublishing. 2013.

MATTEDE, Henrique. Tabela de potência dos eletrodomésticos. Portal Mundo da Elétrica. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/tabela-de-potencia-dos-eletrodomesticos/#:~:text=Televis%C3%A3o%20%E2%80%93%20200%20W,Boiler%20%E2%80%93%20900%20W>>. Acesso em: 10 out 2022.

PÍTSICA, M. **Energias Renováveis: O Papel Da Irena**. 1ª ed. 225p. Appris. 2015.

PORGES, F. **Handbook Of Heating, Ventilating and Air Conditioning**. 8 ed. 239 p. Great Britain. Butterworths. 1982.

REIS, P. **Energia Geotérmica E O Calor Da Terra**. Portal Energia. 2019. Disponível em < <https://www.portal-energia.com/ENERGIA-GEOTERMICA-CALOR-DATERRA/>>. Acesso em 1 ago 2021.

**SISTEMAS de aquecimento aerotérmicos – Principio de funcionamento das bombas de calor**. Atlantic. Disponível em < <http://atlanticpt.prod.atlantic2.typhon.net/Como-escolher/Como-escolher-a-sua-bomba-de-calor/Sistemas-de-aquecimento-aeroterminos-principio-de-funcionamento-das-bombas-de-calor>>. Acesso em 10 ago 2021.

TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, E. B.; URBANETZ JR, J.; PEREIRA, S. V.; GONCALVES, A. R.; LIMA, F. J. L.; COSTA, R. S., ALVES, A. R. "**Atlas de Energia Solar do Estado do Paraná**". 1a Ed. Curitiba: UTFPR, 2017.

VIEIRA, Amanda C. de M. Eficiência energética em escolas – estudo de caso escola estadual Padre Antão de São Paulo. 2019.109f. Dissertação. 2019.Universidade Nove de Julho. São Paulo. 2019.

\_\_\_\_\_. **Vantagens E Desvantagens Das Bombas De Calor Geotérmicas**. Portal Energia. 2016. Disponível em < <https://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-das-bombas-calor-geotermicas/>>. Acesso em 1 ago 2021.

\_\_\_\_\_. **Como Funcionam As Bombas Calor Geotérmico**. Portal Energia. 2010. Disponível em <<https://www.portal-energia.com/como-funcionam-as-bombas-calor-geotermico/>>. Acesso em 1 ago 2021.

---

**APENDICE A – RELATÓRIO DO OPEN STUDIO**

Program Version: EnergyPlus, Version 9.4.0-998c4b761e, VMD=2022.11.21 16:35

Tabular Output Report in Format: HTML

Building: **Building 1**

Environment: **RUN PERIOD 1 \*\* CURITIBA/AFONSO\_PEN - BRA SWERA WMO#=-838400**

Simulation Timestamp: **2022-11-21 16:35:48**

---

Report: **Annual Building Utility Performance Summary**

For: **Entire Facility**

Timestamp: **2022-11-21 16:35:48**

Values gathered over **8760.00** hours

**Site and Source Energy**

	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	85.83	691.89	691.89
Net Site Energy	85.83	691.89	691.89
Total Source Energy	202.08	1629.01	1629.01
Net Source Energy	202.08	1629.01	1629.01

Report: Climatic Data Summary  
 For: Entire Facility  
 Timestamp: 2022-11-21 16:35:48  
 SizingPeriod: DesignDay

[Table of Contents](#)

	Maximum Dry Bulb [C]	Daily Temperature Range [deltaC]	Humidity Value	Humidity Type	Wind Speed [m/s]	Wind Direction
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% CONDNS DB=>MWB	30.90	9.20	20.40	Wetbulb [C]	4.50	300.00
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% CONDNS DP=>MDB	24.30	9.20	22.10	Dewpoint [C]	4.50	300.00
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% CONDNS ENTH=>MDB	26.50	9.20	73800.00	Enthalpy [J/kg]	4.50	300.00
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% CONDNS WB=>MDB	26.90	9.20	23.10	Wetbulb [C]	4.50	300.00
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	2.70	0.00	2.70	Wetbulb [C]	1.40	130.00
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG WIND 99.6% CONDNS WS=>MCDB	20.40	0.00	20.40	Wetbulb [C]	9.90	130.00
CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HUM_N 99.6% CONDNS DP=>MCDB	7.10	0.00	-1.10	Dewpoint [C]	1.40	130.00



[Table of Contents](#)

Report: HVAC Sizing Summary

For: Entire Facility

Timestamp: 2022-11-21 16:35:48

Zone Sensible Cooling

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m2]	Calculated Design Air Flow [m3/s]	User Design Air Flow [m3/s]	Design Day Name	Date Time Of Peak (TIMESTAMP)	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Rate [m3/s]	Heat Gain Rate from DOAS [W]
TZ BWC SOCIAL	4083.94	4696.53	587.07	10.311	11.858	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS WB=>MDB	2/21 19:00:00	24.00	23.97	0.00853	23.31	0.01837	0.000	0.00
TZ BWC SUITE	4455.10	5123.36	569.26	5.635	6.480	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS WB=>MDB	2/21 19:00:00	24.00	24.74	0.00855	23.31	0.01837	0.000	0.00
TZ CORREDOR	606.85	697.87	116.31	0.551	0.634	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS DB=>MVB	2/21 20:00:00	24.00	24.00	0.00890	26.30	0.01249	0.047	0.00
TZ COZINHA	2729.57	3139.01	199.30	2.476	2.848	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS DB=>MVB	2/21 12:10:00	24.00	24.00	0.00865	29.83	0.01250	0.000	0.00
TZ LAVANDERIA	1459.30	1678.20	186.47	1.385	1.593	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS WB=>MDB	2/21 17:00:00	24.00	24.00	0.00852	25.61	0.01837	0.000	0.00
TZ QUARTO 1	186.46	214.43	17.87	0.169	0.194	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS DB=>MVB	2/21 17:50:00	24.00	24.00	0.00850	28.85	0.01250	0.000	0.00
TZ QUARTO 2	144.42	166.08	13.84	0.131	0.151	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS DB=>MVB	2/21 18:00:00	24.00	24.00	0.00850	28.69	0.01250	0.000	0.00
TZ SALA	647.01	744.06	23.62	0.587	0.675	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS DB=>MVB	2/21 20:00:00	24.00	24.00	0.00888	26.30	0.01249	0.047	0.00
TZ SUITE	124.16	142.79	6.86	0.113	0.130	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN CLG .4% COND'NS DB=>MVB	2/21 15:20:00	24.00	24.00	0.00850	30.72	0.01250	0.000	0.00

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

## Zone Sensible Heating

	Calculated Design Load [W]	User Design Load [W]	User Design Load per Area [W/m <sup>2</sup> ]	Calculated Design Air Flow [m <sup>3</sup> /s]	User Design Air Flow [m <sup>3</sup> /s]	Design Day Name	Date/Time Of Peak {TIMESTAMP}	Thermostat Setpoint Temperature at Peak Load [C]	Indoor Temperature at Peak Load [C]	Indoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Outdoor Temperature at Peak Load [C]	Outdoor Humidity Ratio at Peak Load [kgWater/kgDryAir]	Minimum Outdoor Air Flow Rate [m <sup>3</sup> /s]	Heat Gain Rate from DOAS [W]
TZ BWC SOCIAL	249.27	311.59	38.95	0.113	0.141	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 18:00:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00
TZ BWC SUITE	250.00	312.51	34.72	0.113	0.142	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 06:40:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00
TZ CORREDOR	370.96	463.70	77.28	0.168	0.210	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 18:00:00	21.00	21.00	0.00788	2.70	0.00512	0.047	0.00
TZ COZINHA	221.01	276.26	17.54	0.100	0.125	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 06:00:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00
TZ LAVANDERIA	377.29	471.61	52.40	0.171	0.214	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 06:40:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00
TZ QUARTO 1	443.19	553.98	46.17	0.201	0.251	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 07:00:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00
TZ QUARTO 2	328.24	410.30	34.19	0.149	0.186	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 07:00:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00
TZ SALA	1386.40	1733.00	55.02	0.629	0.787	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 18:00:00	21.00	21.00	0.00796	2.70	0.00512	0.047	0.00
TZ SUITE	746.18	932.72	44.84	0.339	0.423	CURITIBA/AFONSO_PEN ANN HTG 99.6% CONDNS DB	7/21 07:00:00	21.00	21.00	0.00800	2.70	0.00512	0.000	0.00

The Design Load is the zone sensible load only. It does not include any system effects or ventilation loads.

**E.Ap2-1. Space Usage Type**

	Space Area [m2]	Regularly Occupied Area [m2]	Unconditioned Area [m2]	Typical Hours/Week in Operation [hr/wk]
TZ BWC SOCIAL	8.00	8.00	0.00	14.00
TZ BWC SUITE	9.00	9.00	0.00	14.00
TZ CORREDOR	6.00	6.00	0.00	77.00
TZ COZINHA	15.75	15.75	0.00	38.50
TZ LAVANDERIA	9.00	9.00	0.00	49.00
TZ QUARTO 1	12.00	12.00	0.00	56.00
TZ QUARTO 2	12.00	12.00	0.00	56.00
TZ SALA	31.50	31.50	0.00	77.00
TZ SUITE	20.80	20.80	0.00	56.00
Totals	124.05	124.05	0.00	