

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RAFAEL BORTOLUZZI

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA
CLIMATIZAÇÃO RESIDENCIAL**

CASCABEL - PR

2018

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RAFAEL BORTOLUZZI

**ANÁLISE DO POTENCIAL DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA
CLIMATIZAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso I, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professora **Arquiteta Mestra Cassia Rafaela
Brum Souza**

CASCADEL - PR

2018

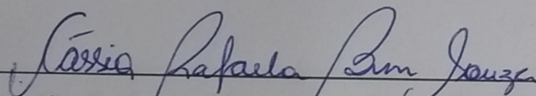
CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

RAFAEL BORTOLUZZI

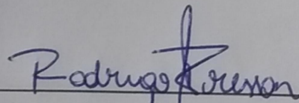
**ANÁLISE DO POTENCIAL DA ENERGIA GEOTÉRMICA PARA
CLIMATIZAÇÃO RESIDENCIAL**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação da
Professora Arquiteta Mestra Cassia Rafaela Brum Souza

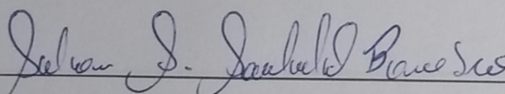
BANCA EXAMINADORA



Orientadora Professora Mestra Cassia Rafael Brum Souza
Centro Universitário Assis Gurgacz
Arquiteta



Professor Eng. Civil Mestre Rodrigo Techio Bressan
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil



Professora Esp. Sciliane Sumaia Sauberlich Bavaresco
Centro Universitário Assis Gurgacz
Arquiteta

Cascavel, 29 de novembro de 2018.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha namorada e família, pelo amor infinito e compreensão,
fonte de minha extrema motivação.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela força divina em minha vida.

Agradeço imensamente a minha namorada, pela enorme compreensão, por ter me ajudado a superar todos os obstáculos nesse período enfrentado, por ter compreendido minha ausência, problemas financeiros, mas que em todos os momentos esteve ao meu lado.

Pela minha família a qual tenho muito orgulho de fazer parte, por terem me apoiado desde o início dessa jornada que estou terminado, por terem me ajudado a levantar a cabeça quando achava que tudo estava perdido.

Agradeço a todos os meus orientadores, que me orientaram no desenrolar desse trabalho, que por algum motivo não puderam dar continuidade, por uma grande sorte, tive a orientação da Professora Cassia, que me orientou, norteou e ajudou-me imensamente para chegar ao objetivo de realizar esse trabalho, que não somente uma realização do trabalho acadêmico, mas por uma realização de um objetivo de minha vida e motivo a qual adentrei ao curso de Engenharia Civil.

EPÍGRAFE

“Quando penso que cheguei ao meu limite, descubro que tenho forças para ir além”.

Ayrton Senna.

RESUMO

Este trabalho aborda análise do potencial energético do solo para climatização residencial, o solo devido a sua estabilidade térmica pode ser utilizado para troca de energia, tanto para ganho de temperatura quanto para redução, com a utilização de serpentinas e condução de ar pelas mesma forçada ou natural troca-se energia com o solo e retorna para o ambiente. Com o aumento da necessidade de redução de consumo de energia elétrica, cada vez mais é necessária à utilização de energia renovável ou alternativa, a utilização da energia geotérmica é uma fonte inesgotável, que pode ser utilizada para produção de energia elétrica, mas também pode ser utilizada diretamente para climatização de ambiente. Este trabalho irá analisar o potencial energético geotérmico na cidade de Pato Bragado – PR localizado no oeste do Paraná, onde serão confeccionados protótipos simulando ambientes reais e com aparelho “*datalogger*” para medição da temperatura num intervalo de 15 minutos no período de junho de 2018 até agosto de 2018, sendo executados protótipos para simularem ambiente reais em escala reduzida. Com objetivo de se obter qual o potencial de redução ou aumento da temperatura para que com esses dados se consiga simular matematicamente a serpentina para um quarto de 20 m². Os resultados obtidos pela pesquisa são fundamentais, tendo em vista que comprovou que o solo pode climatizar um ambiente, utilizando somente um cooler para forçar a circulação de ar para serpentina para trocar calor com o solo, é que se mantém estável durante todo o período do ano, para dias frios ou quente sendo sim uma fonte eficiente e alternativa de energia.

Palavras-chave: Climatização geotérmica, climatização residencial, sustentabilidade, energia alternativa.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fatores que alteram equilíbrio térmico.....	16
Figura 2 Zona climática e carta bioclimática da cidade de Ponta Grossa – PR.	16
Figura 4 – Principais aplicações da energia geotérmica em função da temperatura.	19
Figura 5 – Fluxo de calor no sistema de bomba de calor geotérmico	20
Figura 6 – Modos de captação de energia geotérmica.	20
Figura 7 – Gráfico de amplitude térmicas do ar e do solo.	21
Figura 8 – Variação de temperatura em uma edificação.....	22
Figura 9 – Dissipação de temperatura ao longo do trocador de calor.....	23
Figura 10 – Fatores que influenciam o sistema.	23
Figura 11 – Serpentina de PVC.	26
Figura 12 – Protótipo de análise.	26
Figura 13 – Coolers utilizado	27
Figura 14 – Micro ventilador <i>VentiSilva</i>	27
Figura 15 - Arranjo dos protótipos sem 1.	30
Figura 16 – Arranjo protótipo fase dois.	36

LISTA DE GRÁFICO

Gráfico 1 - Variação temperatura ao longo do dia semana 1.	30
Gráfico 2 - Média temperatura semana 2 e 3.	33
Gráfico 3 – Média temperatura quarta semana 4 semana.	37
Gráfico 4 – Média temperatura semana 5 e 6.	39
Gráfico 5 - Média temperatura semana 7 e 8.	42
Gráfico 6 – Média hora semana 9 a 11.	44
Gráfico 7 – Média de temperatura e média de diferença.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média temperatura ao longo do dia semana 1.	31
Tabela 2 - Média temperatura dia e noite semana 1.	32
Tabela 3 - Temperatura máxima semana 1.	32
Tabela 4 - Temperaturas Mínimas semana 1.....	32
Tabela 5 - Média temperatura semana 2 e 3.....	34
Tabela 6 - Média temperatura turno semana 2 e 3.....	34
Tabela 7 - Mínimo temperatura turno semana 2 e 3.....	35
Tabela 8 - Máximo temperatura turno semana 2 e 3.	35
Tabela 9 – Média temperatura semana 4.....	38
Tabela 10 – Média, máxima e mínima temperatura semana 4.....	38
Tabela 11 – Média temperatura diária semana 5 e 6.	40
Tabela 12 – Média de temperatura semana 5 e 6.	40
Tabela 13 - Máximas temperaturas semana 5 e 6.....	41
Tabela 14 – Mínima temperatura semana 5 e 6.....	41
Tabela 15 – Média temperatura por dia semanas 7 e 8.....	42
Tabela 16 – Temperaturas diárias semana 9 a 11.....	44
Tabela 17 – Média temperatura por turno semana 9 a 11.	45
Tabela 18 – Máximas temperatura por turno semana 9 e 11.....	45
Tabela 19 - Máximas temperatura por turno semana 9 e 11.	45
Tabela 20 – Média de entrada e saída da serpentina.....	46
Tabela 21 – Temperatura detalhada dia 23/10.	48
Tabela 22 – Tratamento estatístico dos dados de entrada e saída.	49

Sumário

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivos específicos	12
1.2 JUSTIFICATIVA	12
1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	13
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	13
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CONFORTO TÉRMICO	15
2.2 TIPOS DE CLIMATIZAÇÃO	17
2.3 ENERGIA GEOTÉRMICA	18
3. METODOLOGIA	25
3.1. TIPO DE ESTUDO E LOCAL DA PESQUISA	25
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA	25
3.1.2 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados	27
3.1.3 Análise dos dados	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1 MELHORAMENTO CLIMÁTICO UTILIZANDO PROTÓTIPOS	29
4.1.2 Primeira semana 15/06 até 22/06	29
4.1.3 Segunda e terceira semana 22/06 ate 06/07	33
4.1.4 Quarta semana 07/07 ate 13/07.	36
4.1.5 Quinta e sexta semana 14/07 até 27/07	39
4.1.6 Setima e oitava semana 27/07 até 10/08	41
4.1.7 Nona semana até a décima primeira semana 10/08 ate 30/08	43
4.2 MEDIÇÕES DE ENTRADA DO AR E DA SAIDA DO AR PELA SERPENDINA	46
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	51
REFERÊNCIAS	52

1 INTRODUÇÃO

Crichton, Roaf e Nicol (2009), afirmam que estamos em uma guerra climática, vindo de encontro a ameaça global que supera e muito que já é provocada pelo terrorismo, em batalha que já ceifaram a vida de milhares de homens e mulheres ao redor do mundo. Também afirmam que estamos vivendo um aquecimento global onde está provocando aumento dos mares, extinção de muitas espécies e que o mundo tem somente uma, ou talvez duas gerações para salvar o planeta.

Os verões vêm a cada ano sendo mais rigorosos, ou seja, aumentando sua média a cada ano que passamos. E por todo o planeta muita políticos e estudiosos tem se apresentado com grande perigo o aquecimento global, em que não somente é preciso reduzir a emissões de gases, reduzir a poluição, mas que devemos dar atenção aos pequenos detalhes, e reinventar as edificações, utilizando de alternativas sustentáveis (CRICHTON, ROAF E NICOL, 2009).

Nascimento *et al* (2015), a energia geotérmica possuir diversas aplicações, que pode ser utilizada para climatização residencial, de piscinas e ainda para geração de energia elétrica que é uma das suas maior utilização hoje. Os autores também citam que é fonte de energia renováveis menos conhecida e utilizada, que sua energia é extraída do interior da terra para a geração.

Segundo Rio (2011), 55% da energia final utilizada no consumo doméstico está associado à climatização e arrefecimento de ambientes, o restante destinando-se ao consumo do restante de equipamento elétricos domiciliar. Em que num cenário atual de melhoramento energético e sustentabilidade, essa forma de utilização limpa da energia geotérmica vem de contra mão da utilização da energia elétrica no uso da climatização residência e industrial.

Para Omido, Barboza e Moreira Junior (2017), os cenários atuais, em relação ao consumo e geração de energia elétrica e o custo de operação de residência e edifícios têm fortificado e aumenta as pesquisas para essa redução, um ramo dessas pesquisas é a utilização da energia geotérmica para a climatização. Os autores afirmam que com a utilização da energia geotérmica pode se reduzir em ate 25% o consumo de energia para a climatização de residências.

Omido, Barboza e Moreira Junior (2017), também comprovam que a temperatura do solo em poucos metros de profundidade é constante durante todo o ano, durante a estação gelada, o solo se mantém e propício para o aquecimento do local, e durante a estação calorosa se mantém com uma temperatura amena, ou seja, reduzindo a temperatura/aumentando a temperatura do ambiente, podendo ser usada durante todo o ano.

Assim esse trabalho tem como objetivo, analisar e medir o potencial energético da geotermia para climatização residencial, por meio de um ensaio em escala reduzida.

1.1 OBJETIVOS

Esse trabalho tem o objetivo de analisar o potencial energético do solo para climatização de residências, tanto para o aquecimento ou resfriamento do ambiente na cidade de Pato Bragado - PR.

1.1.1 Objetivo geral

Analisar o potencial energético da energia geotérmica para climatização residencial.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar o melhoramento climático utilizando energia geotérmica em modelo reduzido.
- b) Determinar amplitude térmica de entrada e saída da serpentina.

1.2 JUSTIFICATIVA

Com o aumento populacional houve um aumento no consumo de energia elétrica, que por sua vez o ser humano está aumentando a geração da energia, que nem sempre é de uma forma sustentável, e essas alternativas que agredem o meio ambiente está consequentemente aumentando a temperatura da crosta terrestre, e com sua capacidade de criação e desenvolvimento desenvolve meio para a climatização, e hoje a forma mais comum para resolver este problema é a utilização de ar-condicionado, que como dito chega a ser responsável de 55% do consumo direto de energia elétrica por residência unifamiliar.

Porém, juntamente com esse crescimento, muitas pesquisas vêm sendo desenvolvidas para melhorar essa eficiência, desde redução de consumo desses aparelhos, até de formas

alternativas para climatização. Fontes alternativas para climatização que este presente trabalho tem como objetivo de estudar e analisar. Para propor um método eficaz e de baixo custo.

A climatização do ambiente tem relação direta com o bem estar do ser humano, onde que uma boa noite de sono pode ser obtida com a temperatura do ambiente e baixo consumo de energia.

Este estudo por sua vez, tem objetivo de analisar o potencial da energia geotérmica para climatização residencial, comprovando que é uma alternativa eficiente e barata para climatização.

1.3 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Qual é amplitude da energia geotérmica para climatizar um ambiente reduzido e controlado em Pato Bragado - PR?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Grandes partes das residências contemplam um ou mais aparelhos de climatização, os quais são em larga escala usada para o resfriamento e aquecimento do ambiente, a energia geotérmica tem como princípio resfriar e aquecer o ambiente, mantém o ambiente em uma temperatura média de 22 a 25 °C.

Como o solo tem uma energia térmica constante durante todo o ano, o propósito da climatização térmica, é de, manter a temperatura constante durante todo o ano, desde o verão até o inverno, na faixa de 22 a 25 °C.

Espera-se ao final do projeto, verificação que com a energia geotérmica é possível climatizar um ambiente residencial, somente utilizando a transferência de calor com o solo, assim reduzindo o custo de climatização e utilizando uma energia renovável.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa é delimitada a medições de temperatura de abril de 2018 até outubro de 2018, na cidade de Pato Bragado – PR, com medições em três tipos de ambiente, uma com somente ventilação, outro com ventilação e tubulação de PVC enterrada e uma terceira que terá somente a tubulação enterrada.

Para realização do estudo, serão confeccionados três caixas de madeira idênticas, as quais serão monitoradas e medidas as temperaturas no período do estudo. A profundidade da tubulação será de 2 metros. O material utilizado será de PVC com diâmetro de 1”.

Foi usado para medição da variação da temperatura o aparelho *Data Logger*, que registrou em um intervalo de tempo a temperatura nas três condições.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será abordado o conceito, conforto térmico tipo de climatização, energia geotérmica e transferência de calor.

2.1 Conforto térmico

Conforto térmico é definido por um estado de espírito que reflete a satisfação do ambiente térmico que envolve uma pessoa, sendo considerações fisiológicas e psicológicas nesse contexto ASHRAE (1992).

Segundo Frota e Schiffer (2003) o homem é homeotérmico, onde seu organismo é mantido com temperatura interna entre 36,1 e 37,2 °C. Tendo como temperatura mínima de 32 °C e máxima de 42 °C. Quando este corpo é exposto ao frio, o corpo busca reduzir perdas e aumenta a combustão interna, e aumentando a resistência térmica entre o indivíduo e o ambiente. Já quando este corpo está em um ambiente de alta temperatura, trabalha de forma contrária, aumentando a troca de calor com o ambiente, reduzindo as combustões internas.

O conforto térmico tem uma série de variáveis, e para avaliar este ambiente o indivíduo deve estar vestido e sem problemas de saúde ou de aclimação. É certo que as condições ambientais capazes de proporcionar sensação de conforto térmico em habitantes de clima quente e úmido não são as mesmas que proporcionam sensação de conforto em habitantes de clima quente e, muito menos, em habitantes de regiões de clima temperado ou frio (FROTA E SCHIFFER, 2003).

Segundo Cerdeira (2011), os fatores que influenciam no conforto térmico entre os indivíduos são: metabolismo, temperatura da pele e da roupa utilizada. E além desses também deve-se considerar temperatura do ar, temperatura da superfície, humidade de velocidade do ar, Cerdeira (2011) ainda mostra na Figura 01 que representa todas essas condições citadas. Porém, sabe-se que critérios de conforto térmico variam-se de pessoa para pessoa, em quem num mesmo ambiente uma pessoa pode estar confortável, e outra juntamente pode estar termicamente desconfortável, pois como dito, vários fatores influenciam no que diz respeito de conforto térmico entre os indivíduos.

Figura 1 – Fatores que alteram equilíbrio térmico.

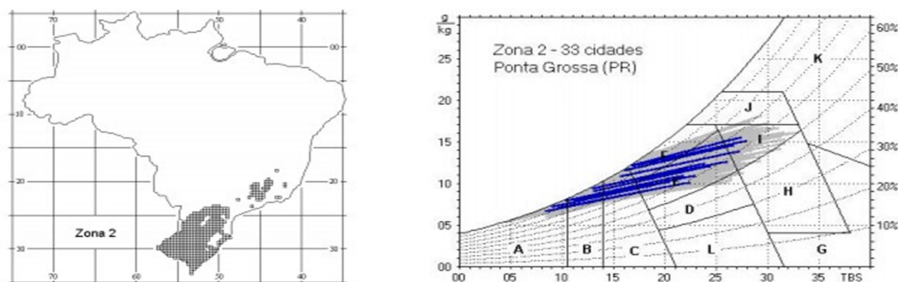


Fonte: Cerdeira (2011).

Frota e Schiffer (2003) consideram que para os climas mais quentes da América a temperatura de 25° C como a temperatura ótima, podendo variar entre 23 e 27° C.

Na Norma Brasileira regulamentadora (NBR-15220-2003), detalha que para região em que estamos situados, oeste do Paraná, e na norma referenciada pela cidade de Foz do Iguaçu, apresenta que para essa região não é necessário o uso de aquecimento artificial, pois o frio pode não causar eventuais desconfortos térmicos, porém ao mesmo tempo indica que alguns detalhes construtivos devem seguir para manter temperatura no interior, com o método de energia geotérmica é uma forma natural de aquecimento, ou seja, pode contribuir para o aquecimento. A norma contempla também em relação a sensação térmica de calor, que deixa explícito que nessa região a ventilação cruzada, e a ventilação interna já pode em ser uma forma de deixar o ambiente mais confortável.

Figura 2 Zona climática e carta bioclimática da cidade de Ponta Grossa – PR.



Fonte: NBR15220

Na Figura 2 mostra a zona climática 2 da NBR15220-2003, que é incluída a cidade em estudo Pato Bragado, pois para essa carta bioclimática está incluído além de Ponta Grossa mais 33 cidades.

2.2 Tipos de climatização

A indústria de condicionamento de ar chega hoje a ser uma das maiores do mundo, perdendo somente para o ramo automobilístico e de seguros. Os autores afirmam que esse ramo hoje, chega a representar a 39% do mercado norte americano (CRICHTON, ROAF E NICOL, 2009).

Para Cerdeira (2011), a nova corrente de tendência para a solução climática, é projetar a residência ou edifício levando em conta as características do terreno e do local que está sendo construído, aproveitando ao máximo as condições climáticas e reduzindo o custo de operação da edificação. Esta forma instiga ao projetista, desenvolver novos desafios e criatividade para desenvolver edificações com ganho térmico.

Para Romero (2000), a arquitetura bioclimática é o ambiente construído, o qual envolve o ambiente, relacionando com o seres vivos, em que se pode atuar com mecanismos de controle das variáveis do meio. Desde sua envoltória, fachada ou cobertura, seu entorno obtendo água, vegetação, sombras e terras. E observando e se atentando aos fatores referentes a ventilação.

O autor Olgyay (1963), afirma que o processo de concepção de um local climaticamente equilibrado deve seguir quatro fundamentos, primeiro climatologia que é os estudos dos dados locais, temperatura, umidade relativa, radiação e ventos. Segundo é a biologia que é a avaliação biológica baseada nas sensações humanas, buscando as condições de conforto térmico. Terceiro é a tecnologia empregada, que aplicada após as a primeira e a segunda seres estudadas, que é a aplicação de cálculo de sombras, utilização do vento. E por última aplicação da arquitetura, que será o resultado de todos os fundamentos, sendo compatibilizado com o restante.

Para solução climática Cerdeira (2011), destaca que a ventilação é muito importante para a redução da temperatura de ambientes e que 1/3 do ar contido no ambiente deve ser renovado a cada hora, assim regularizando a temperatura. O movimento do ar aumenta perda

de calor do corpo humano e provoca convecção forçada entre as paredes, chão e teto assim ajudando a dissipar o calor do ambiente.

Por outro lado, além de provocar a perda de calor, no inverno tem o desafio de projetar para o ganho de calor, para a edificação não ter uma sensação e ser com baixas temperaturas, para isso Cerdeira (2011), esse ganho, deve se pensar em aperfeiçoar a recepção dos raios solares para a melhora térmica.

Uma alternativa de melhora térmica de ambientes é a utilização da energia geotérmica, em que Cerdeira (2011) demonstra que existem duas formas de utilização, com transferência de calor utilizando água ou ar, e que ambas pode ser utilizadas tanto para o inverno, quanto para o verão. Sendo uma alternativa renovável e econômica, pois tem um baixo consumo de energia elétrica e grande impacto na climatização do ambiente.

Essa alternativa de melhoria térmica, energia geotérmica, é o produto de estudo deste trabalho, analisar e quantificar o potencial desse método.

2.3 Energia geotérmica

Silva e Iarozinski Neto (2010), afirmam que por muito tempo a energia geotérmica foi usada somente para geração de energia elétrica, captada em grandes profundidades, porém uma tecnologia muito pouco difundida no Brasil, porém de grande utilização em outros países, é a utilização da energia geotérmica pra climatização residencial em baixa profundidade.

Segundo Vichi e Mansor (2009), a energia geotérmica é economicamente viável, e devido a sua sustentabilidade pode trazer grande contribuição para com um país ou região no mix de energia. Segundo os mesmo autores devido ao crescimento econômico se tem ampliado as fontes de energias não renováveis na matriz energética brasileira.

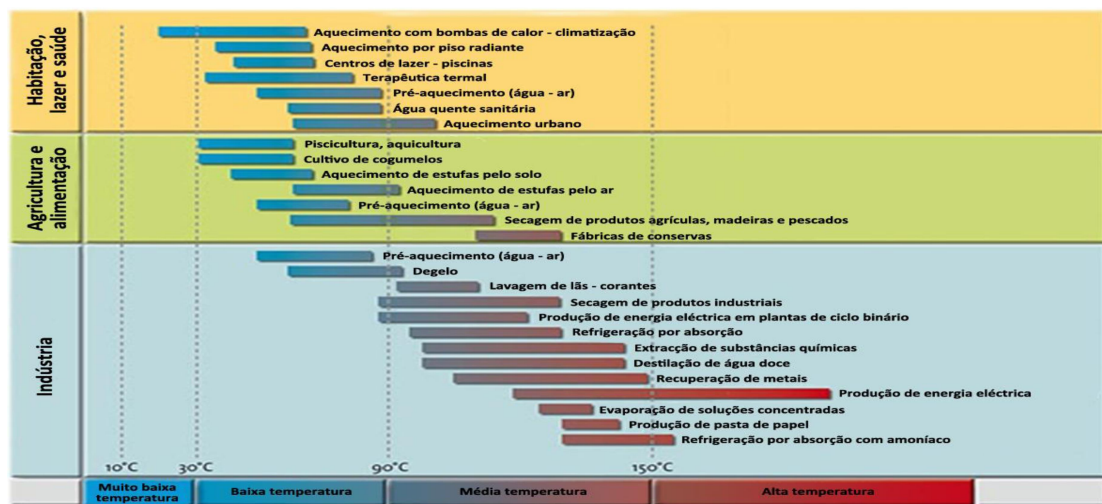
A energia geotérmica pode ser classificada basicamente em três categorias, o que diferencia entre elas, é a quantidade de energia térmica extraída por um fluido, ou objeto, pode permutar com a sua envolvente, se expressa por kj/kg ou kcal/kg.

Segundo Omido, Barboza e Moreira Junior (2017) alta entalpia ($T > 150^{\circ}\text{C}$) que é utilizada na produção de energia elétrica. Média entalpia ($90^{\circ}\text{C} < T < 150^{\circ}\text{C}$), utilizada nas indústrias para secagem de produtos, refrigeração, lavagem, degelo, destilação e etc. Baixa entalpia ($30^{\circ}\text{C} < T < 90^{\circ}\text{C}$) geralmente utilizada na agricultura e alimentação, lazer e saúde

para aquecimento de estufas, piscicultura, aquicultura, cultivo de cogumelos e etc.. Muito baixa entalpia ($T > 30^{\circ}\text{C}$), utilizada em residências para climatização com bombas de calor.

Segundo Cruz (2013) as aplicações da energia geotérmica pode ser de várias formas utilizadas, nas suas três formas de troca, que varia conforme sua profundidade, em que quanto mais profundo, maior é a troca de calor, ou seja, maior é a energia concentrada. Como ele demonstra na Figura 3.

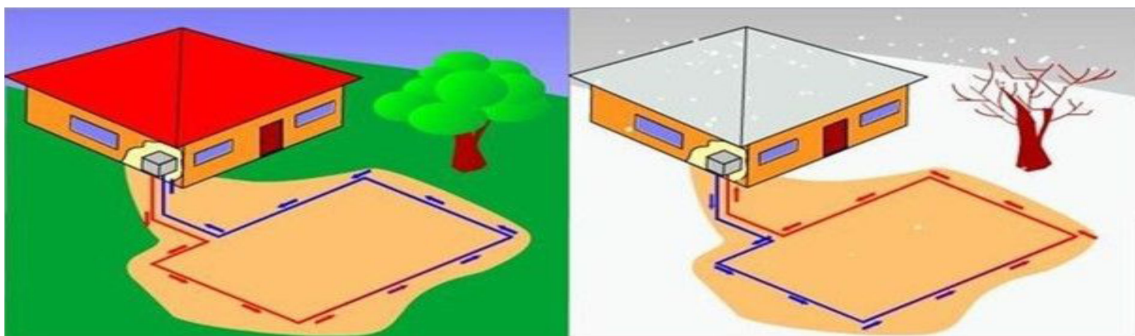
Figura 3 – Principais aplicações da energia geotérmica em função da temperatura.



Fonte: Cruz (2013).

Bomba de calor é um dispositivo termodinâmico, com funcionamento simples, uma válvula de expansão e um compressor, e completa o ciclo tubulação enterrada, essa disposta para passagem de um fluido refrigerante na tubulação, em que uma parte está no ambiente a ser climatizado, e a outra parte enterrada no solo, conforme mostra a Figura 4, se adaptando a temperatura do ambiente, mantendo-a a uma temperatura constante por todo o ano (OMIDO, BARBOZA E MOREIRA JUNIOR, 2017).

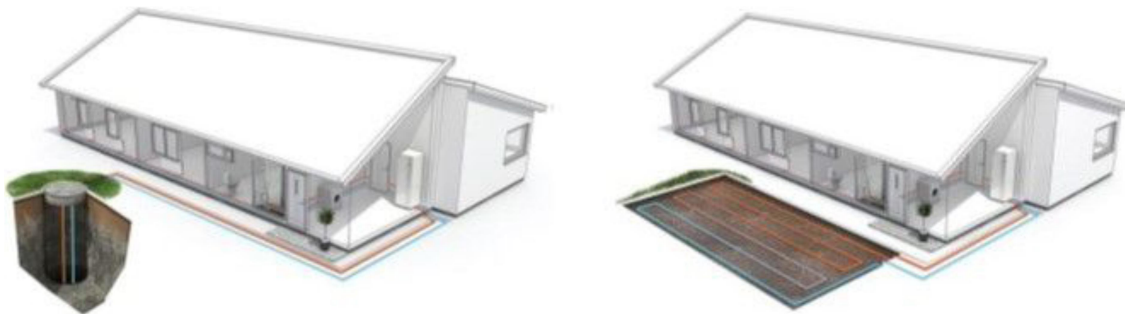
Figura 4 – Fluxo de calor no sistema de bomba de calor geotérmico .



Fonte: Omido, Barboza e Moreira Junior (2017).

Omido, Barboza e Moreira Junior (2017) demonstram dois modelos para captação de energia geotérmica num sistema de baixa entalpia, sendo que cada modelo pode depender do terreno, da edificação, se é uma edificação já existente, ou uma que está sendo construída. Esses dois modelos podem ser vertical ou horizontal, ambos os sistemas de captação apresentam mesma funcionalidade e eficiência conforme apresentado na Figura 5.

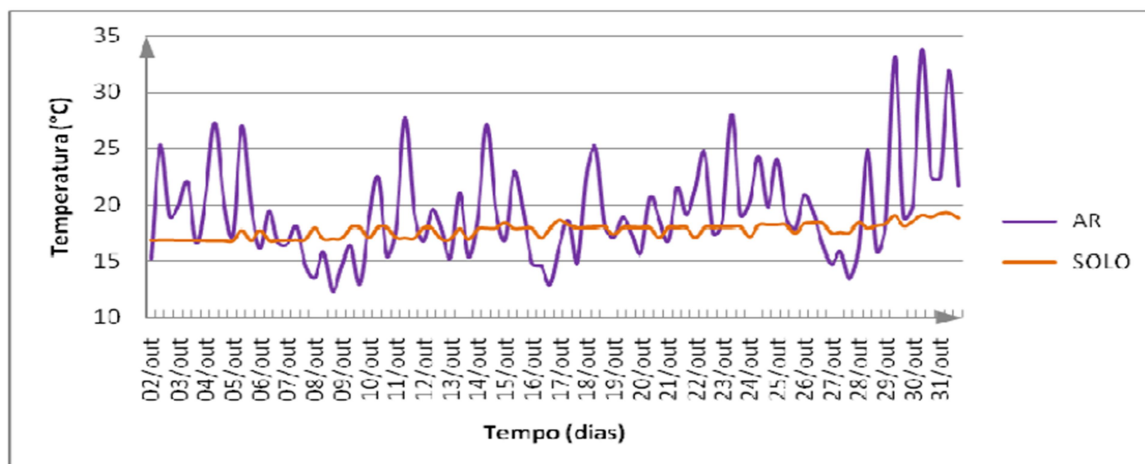
Figura 5 – Modos de captação de energia geotérmica.



Fonte: Omido, Barboza e Moreira Junior (2017).

Silva e Iarozinski Neto (2010) em medições apresentam na Figura 6, a variação do solo durante 30 dias, foram medidos a temperatura do ar e do solo, a medição do solo foi realizada com um orifício a uma profundidade de um metro e a alocação de um sensor.

Figura 6 – Gráfico de amplitude térmicas do ar e do solo.



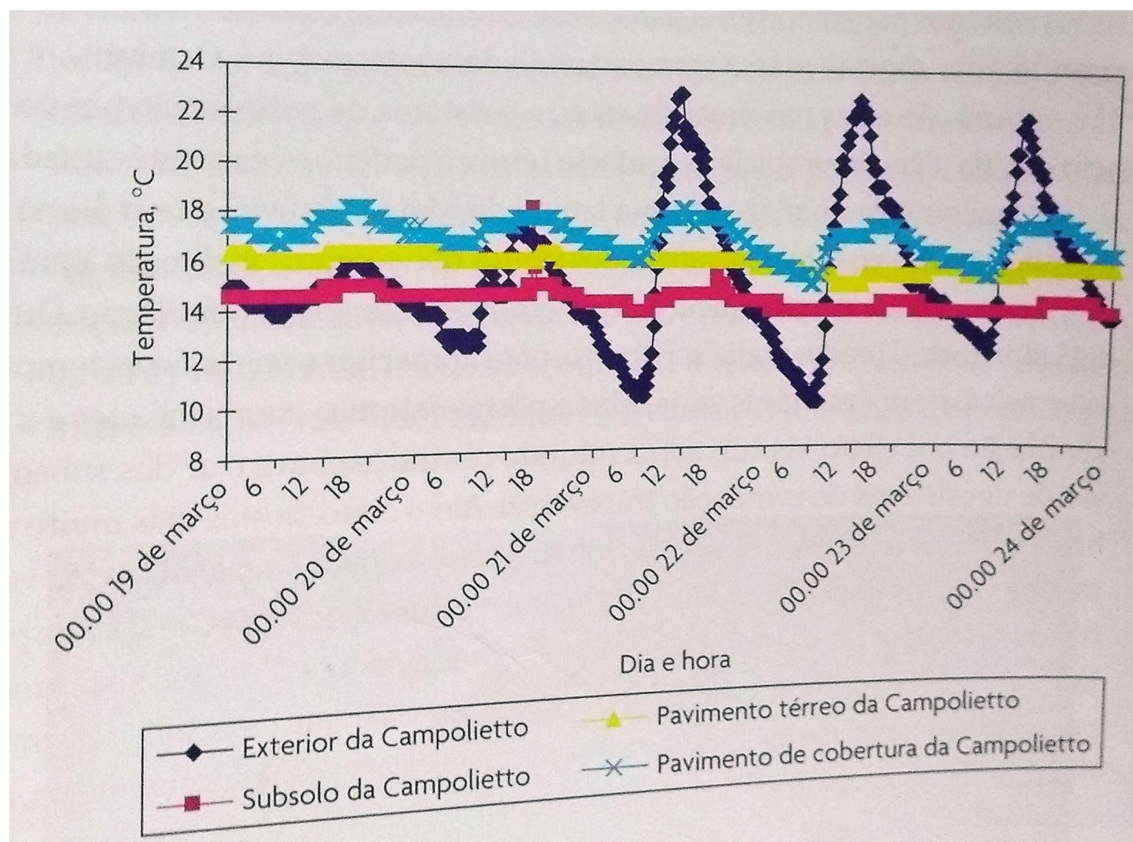
Fonte: Silva e Iarozinski Neto (2010).

Segundo Silva e Iarozinski Neto (2010), o solo apresenta uma estabilidade na sua temperatura ao longo do ano, com poucas variações, tanto para o verão ou inverno, estabelecendo uma média de 17.71°C . Os autores também demonstram que a variação térmica do ar neste período foi de 14.41°C , e a do solo de 01.51°C , ou seja, uma variação bem maior no ar, o que possibilita a afirmação da estabilidade da temperatura do solo.

Edificações que são contempladas como subsolos ou porões, tem uma variação de temperatura entre o porão e outros pavimentos, além de uma temperatura mais amena, também tem uma baixa variação de temperatura, comparada com o externo e os pavimentos, assim tendo uma temperatura mais agradável.

Cruz (2013) demonstra a transmissão de calor entre a tubulação e o solo, exibindo a transmissão do calor, na situação em que a superfície se encontra em alta temperatura (verão), assim o solo está resfriando o ambiente, com o ar entrando pela superfície e ao longo da tubulação vai resfriando. Com a Figura 06 o autor afirma que, o solo se apresenta por um todo a uma temperatura constante, e com isso é uma energia térmica disponível e com grande potencial para a climatização de ambientes. O que o autor nos mostra na Figura 7, em que medições em um determinado período mostram a variação dos pavimentos de um edifício (CRICHTON, ROAF E NICOL, 2009).

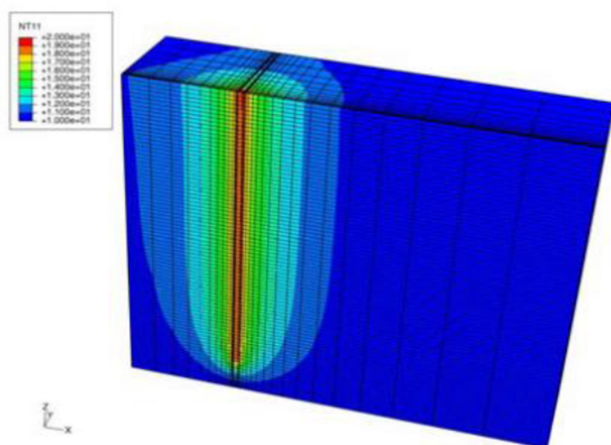
Figura 7 – Variação de temperatura em uma edificação.



Fonte: Crichton, Roaf e Nicol, (2009).

Estudos e projetos recentes tem revelado um grande progresso incentivador no âmbito dos sistemas geotérmicos superficiais, ou seja, para pequenas profundidades. O subsolo, mesmo em baixa profundidade, revela ser uma fonte térmica muito estável, que pode ter grande utilização para benefício de conforto térmico (CRUZ, 2013).

Figura 8 – Dissipação de temperatura ao longo do trocador de calor.



Fonte: Cruz (2013).

Para um bom funcionamento do sistema de climatização geotérmico, Cruz (2013), fala que devem ser identificado alguns fatores do solo para essa utilização, esses fatores pode ser características/propriedade do solo, como também potencial de transferência de calor pelo solo para com o material utilizado para a troca de calor. Cruz (2013) faz uma tabulação desses fatores que contribuem para sua utilização.

Figura 9 – Fatores que influenciam o sistema.

<i>FATORES QUE INFLUENCIAM O SISTEMA</i>		
<i>Propriedades térmicas do solo</i>	<i>Parâmetros geotécnicos</i>	<i>Fenómenos de transferência de calor</i>
Condutibilidade térmica; Difusividade térmica; Capacidade calorífica.	Tipo de solo; Nível freático; Densidade; Área de contacto solo-fundação; Percolação da água.	Condução; Convecção; Vaporização e condensação; Gelo-degelo; Troca de iões.

Fonte: Cruz(2013).

Na Figura 10 Cruz (2013) separa o fatores que influenciam o sistema de energia geotérmica, separando por propriedades térmicas do solo, parâmetros geotécnicos e fenômenos de transferência de calor, e dentro de cada tópico fazendo uma subdivisão dos fatores apresentados .

3 METODOLOGIA

O presente trabalho é a execução de protótipos, simulando a realidade de uma residência, realizando monitoramento 24 horas para terem-se dados para tabular e obter qual o ganho com a climatização geotérmica.

3.1. Tipo de estudo e local da pesquisa

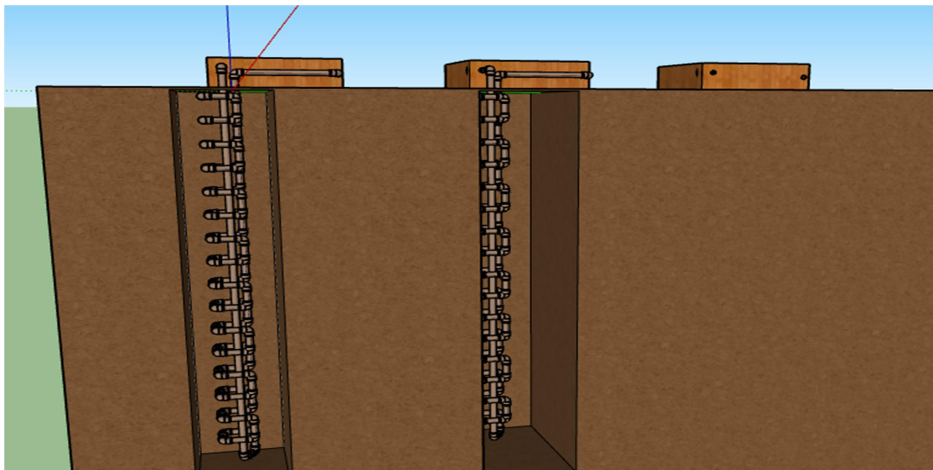
Este trabalho trata-se de um levantamento quantitativo de dados da alteração de temperatura em um ambiente controlado e com volume conhecido. Que consistiu na confecção de caixas que foram usados como protótipos de medição. Os protótipos foram instalados na cidade de Pato Bragado – PR.

3.2 Caracterização da amostra

O estudo foi realizado em Pato Bragado - PR, localizado no centro da cidade. Pato Bragado situado no oeste do estado do Paraná, tendo com vizinho o Paraguai, e sendo uma cidade com grande lamina de água devido ao alagamento do Rio Paraná.

Os protótipos deste trabalho foram confeccionados de madeira compensada com espessura de 12 mm nas dimensões de 500 x 500 x 150 mm, e foram instalados em três modelos de configurações diferentes. A primeira foi somente uma caixa com um *cooler* de ventilação. A segunda caixa foi confeccionada com uma serpentina enterrada a uma profundidade de 2 metros com comprimento total da tubulação enterrada de 6,5 metros e sem forçar a circulação do ar, diferença para a terceira caixa, em que teve a tubulação e no retorno para a caixa terá um *cooler* que forçou a circulação do ar pela serpentina que estava enterrada, assim forçando a troca de calor. Para a realização dos protótipos foi elaborado um pré - projeto no *Software – SketchUp*, conforme demonstrado na Figura 10, onde demonstra os três protótipos que serão confeccionados.

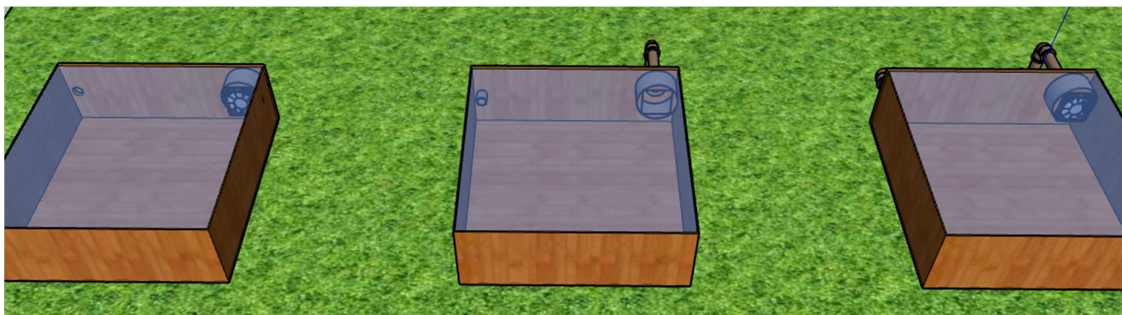
Figura 10 – Serpentina de PVC.



Fonte: Autor (2018)

Na Figura 11 apresenta os modelos dos protótipos de análise que será utilizada para este trabalho, onde demonstram os três modelos que foram analisados, conforme descrito acima.

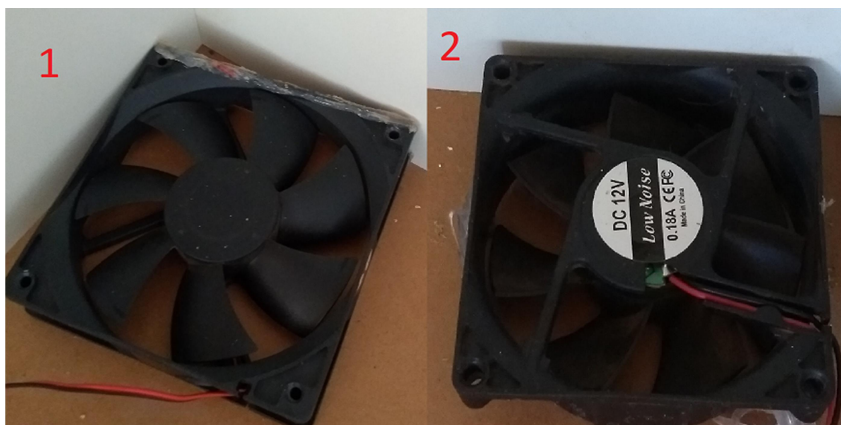
Figura 11 – Protótipo de análise.



Fonte: Do autor (2018)

Os coolers utilizados para forçar a circulação de ar nos protótipos, são encontrados em computadores para resfriamento da placa mãe, são da marca *LOW NOISE* de 12v e estão exibidos na Figura 12, em que o cooler 1 é o cooler grande e o cooler 2 é o cooler pequeno. O cooler menor é de 2” e o maior é de 4”.

Figura 12 – Coolers utilizado



Fonte: Do autor (2018)

Outro aparelho de ventilação utilizada para forçar a circulação do foi um micro ventilado da marca *Ventisilva* 110 Volts, com 31 w, com 4” de diâmetro, conforme Figura 13.

Figura 13 – Micro ventilador *VentiSilva*.



Fonte: Do autor (2018).

3.1.2 Instrumentos e procedimentos para coleta de dados

A coleta de dados foi realizada com o auxílio de um equipamento que realiza medições de temperatura, *DATALOGGER* da marca *AEMC INSTRUMENTS* modelo *DL-1080* que foi

configurado para marcar a temperatura em intervalos de 15 minutos. Durante o tempo de coleta foram feitas alterações no arranjo dos protótipos, das localizações dos micros ventiladores dentro da amostra, e tudo registrado pelo *DATALOGGER*.

Durante todo o período de medição, diariamente foi visitado o local dos protótipos, e a coleta de dados foi realizada semanalmente, para garantir que esteja sendo coletados corretamente os dados.

Durante a coleta de dados foram realizados mudanças nos protótipos para atingir a melhor composição, arranjo e melhores eficiências, as alterações foram:

- Arranjo dos protótipos;
- Arranjo dos coolers no interior do protótipo de condução forçada;
- Troca de cooler do protótipo de condução forçada.

Para a perfuração do poço para a serpentina, foi utilizado um trado mecânico com diâmetro de 30 cm, e no momento em que foi enterrada a serpentina foi tomado o cuidado da compactação do solo, ou seja, enquanto era depositado terra era jogado água para reduzir o número de vazios.

3.1.3 Análise dos dados

Após a coleta de dados os mesmos foram tabelados, e efetuado um gráfico de linha para visualizar a variação de temperatura em cada protótipo. Após isso será efetuado o cálculo da média de temperatura, valor máximo e mínimo e a moda dos dados coletados. Foi realizada análise de máximos, mínimos e médios para cada alteração feita durante o tempo de coleta de dados do trabalho.

Com os dados coletados mais as informações dos protótipos, como o comprimento da tubulação e a profundidade que estava enterrado, será possível avaliar o potencial de climatização geotérmica nessas condições.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante o processo de coleta de dados serão descritos e separados nos diferentes tipos de arranjos e alterações realizados durante o trabalho, para que se tenha a o perfil e tipo de reação para cada alteração.

Durante todo o período foi realizado oito modelos diferentes, para verificar a reação de cada um, abaixo será descrito cada modelo, e resumindo o que se obteve com os dados de maior significância para o presente trabalho. Para todas as situações foram adotadas as mesmas formas de análises

4.1 Melhoramento climático utilizando protótipos.

A primeira fase de estudo referente a este trabalho foi de desenvolver pequenas caixas como protótipo e instala-los no mesmo ambiente para que seja avaliado o desempenho da tecnologia estudada.

Para isso estão descritos abaixo os tópicos de análises que foram realizados, e o período que se encontrou essa análise.

4.1.2 Primeira semana 15/06 até 22/06

Para a primeira semana de coleta de dados, a situação dos protótipos era: protótipos na posição vertical, condução forçada com serpentina e cooler grande, dados coletados entre os dias 16/06 até 22/06. O arranjo descrito acima, esta exibido pela Figura 14, onde o primeiro da parte abaixo para superior é o protótipo com condução forçada para a serpentina enterrada, o do meio é o com serpentina, mas com condução natural, por peso do ar, e o terceiro o mais alto é o protótipo instalado para simular um ambiente natural.

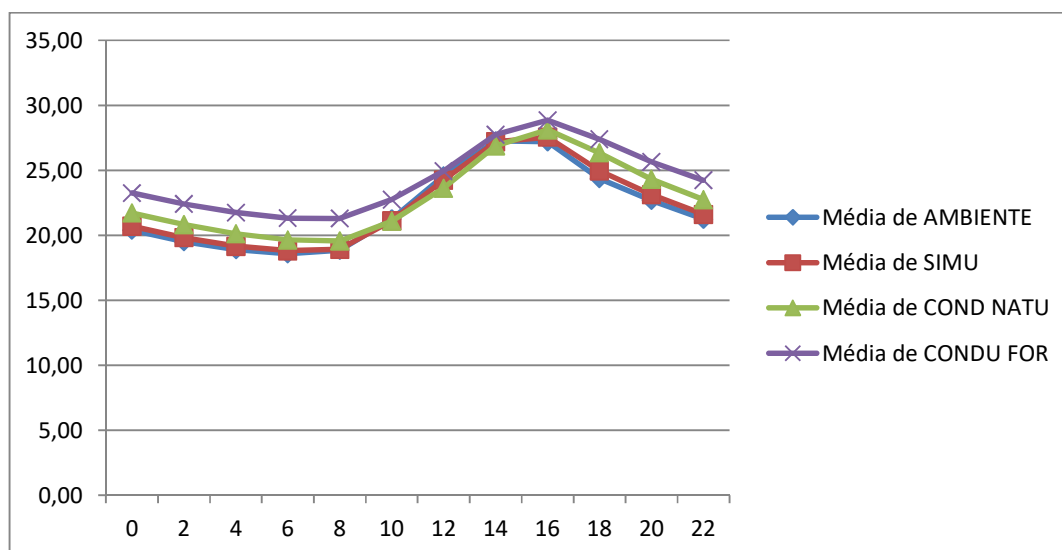
Figura 14 - Arranjo dos protótipos sem 1.



Fonte: do Autor, (2018).

Após o início da coleta, não se teve nenhuma alteração, ao final do último dia foi coletado os dados, que obtiveram os seguintes resultados.

Gráfico 1 - Variação temperatura ao longo do dia semana 1.



Fonte: do Autor, (2018).

A condução forçada teve a maior temperatura até às 11 horas e a faixa de variação da temperatura de 20 a 25⁰C, a partir das 11 horas até às 16 horas a condução forçada teve a sua temperatura mais baixa, porém a partir das 16 horas volta a ficar com a maior temperatura. Ou seja, o primeiro período até às 11 horas o solo estava aumentando a temperatura do ambiente, e até as 16 horas o mesmo estava reduzindo a temperatura, conforme podemos observar no Gráfico 01.

Na Tabela 01 observa-se que até às 14 horas a condução forçada está com temperatura mais inferior e após isso ganha temperatura e começa a perder temperatura a partir das 20 horas.

Ponto a ser destacado na Tabela 1, é o resultado do protótipo de condução natural, pelo diferencial do peso do ar conforme a temperatura, a média desse protótipo teve a média maior do que os outros três protótipos, ou seja, sendo eficaz nesse arranjo para aumentar a temperatura do ambiente.

Tabela 1 - Média temperatura ao longo do dia semana 1.

Horas do dia	Média de AMBIENTE (°C)	Média de SIMU (°C)	Média de COND NATU (°C)	Média de CONDU FOR (°C)
0	15,56	15,89	16,96	17,70
2	14,60	14,88	15,86	16,64
4	13,86	14,12	15,07	15,89
6	13,44	13,68	14,53	15,39
8	13,99	13,98	14,47	15,41
10	17,60	17,36	16,89	17,74
12	22,69	22,09	20,54	20,75
14	26,23	26,23	25,35	25,07
16	25,95	26,44	26,83	26,55
18	21,44	22,16	23,61	23,75
20	19,26	19,73	20,99	21,46
22	17,53	17,92	19,09	19,71
Total Geral	18,55	18,76	19,26	19,75

Fonte: do Autor, (2018).

A média dos turnos analisa-se que na condução forçada houve uma variação de aproximadamente 1⁰C, já no protótipo de simulação houve uma variação de aproximadamente de 2^o C, mostrando que na condução força mesmo pouca, houve pouca variação. E também na condução natural do ar na serpentina, observa-se pequena variação da temperatura.

Tabela 2 - Média temperatura dia e noite semana 1.

Turno	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
DIA	19,25	20,00	20,28	19,42
NOITE	17,62	19,11	19,76	18,00
Total Geral	18,78	19,74	20,13	19,00

Fonte: do Autor, (2018).

Na Tabela 03, são os resultados de temperaturas máximas registradas, em que retorna que os valores ficaram muito aproximados, mesmo com a serpentina e condição forçada, não teve uma baixa nas temperaturas extremas.

Tabela 3 - Temperatura máxima semana 1.

Turno	Máx de AMBIENTE	Máx de COND NATU	Máx de CONDU FOR	Máx de SIMU
DIA	31,7	31,6	31,8	31,8
NOITE	27,2	29,5	30,1	28
Total Geral	31,7	31,6	31,8	31,8

Fonte: do Autor, (2018).

Para as baixas temperaturas a condução forçada mostrou que tem uma boa eficiência para aumentar a temperatura, já que na menor temperatura registrada teve uma diferença de 2^oC, e observando que a com condução natural também se mostraram eficaz, não tendo tanta diferença na temperatura mínima, mas aumentando a temperatura.

Tabela 4 - Temperaturas Mínimas semana 1.

Rótulos de Linha	Mín de AMBIENTE	Mín de COND NATU	Mín de CONDU FOR	Mín de SIMU
DIA	8,6	9,8	10,8	8,8
NOITE	9,1	10,5	11,4	9,4
Total Geral	8,6	9,8	10,8	8,8

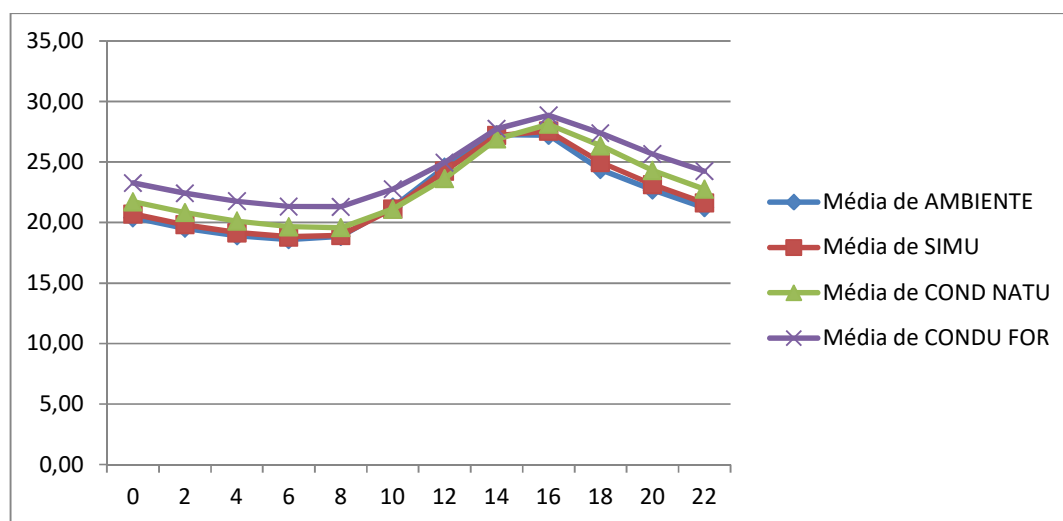
Fonte: do Autor, (2018).

Assim concluindo demora para ganhar alta temperatura, mas também demorando a reduzir a temperatura, e mostrando uma maior eficiência para aumentar a temperatura no frio do que para reduzir a temperatura no calor.

4.1.3 Segunda e terceira semana 22/06 ate 06/07

Para a segunda e terceira a semana houve alteração na ventilação do protótipo da condução força, foi adicionado um cooler menor, logo à frente do cooler maior, para proporcionar uma maior circulação de ar dentro dos trocadores de calor. A Posição dos protótipos se manteve na posição vertical conforme demonstrado na Figura 13.

Gráfico 2 - Média temperatura semana 2 e 3.



Fonte: do Autor, (2018).

Para essas semanas, visualizou-se que a condução forçada se manteve sempre com temperaturas maiores que o restante dos outros protótipos. Analisando que nesse período as temperatura foram menores, sendo todo o período temperaturas agradáveis, médias das semanas por horas foram exibidas no Gráfico 2.

Tabela 5 - Média temperatura semana 2 e 3.

Horas	Média de AMBIENTE	Média de SIMU	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR
0	20,40	20,69	21,72	23,25
2	19,52	19,82	20,82	22,41
4	18,89	19,16	20,11	21,75
6	18,58	18,81	19,65	21,32
8	18,85	18,93	19,56	21,30
10	21,26	21,11	21,09	22,74
12	24,58	24,25	23,63	24,94
14	27,25	27,20	26,89	27,75
16	27,20	27,54	28,12	28,85
18	24,36	24,96	26,34	27,38
20	22,69	23,13	24,30	25,65
22	21,24	21,62	22,75	24,24
Total Geral	21,99	22,19	22,84	24,23

Fonte: do Autor, (2018).

Como no Gráfico 2, na Tabela 5 observa-se que a temperatura na condução forçada a média se manteve mais alta em todo os horários, diferente da semana um que tinha somente um cooler, ou seja, maior a circulação de ar, maior esta sendo o ganho de temperatura.

Tabela 6 - Média temperatura turno semana 2 e 3.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de SIMU	Média de CONDU FOR
DIA	23,10	23,38	23,15	24,68
NOITE	20,87	22,31	21,23	23,79
Total Geral	21,98	22,84	22,18	24,23

Fonte: do Autor, (2018).

Na média dos turnos da Tabela 6 demonstra que a condução forçada de manteve nos dois turnos com as maiores temperatura, mas em ambos casos, dia e noite, se mante numa temperatura agradável.

Tabela 7 - Mínimo temperatura turno semana 2 e 3

Rótulos de Linha	Mín de AMBIENTE	Mín de COND NATU	Mín de SIMU	Mín de CONDU FOR
DIA	16,7	17,9	17	19,1
NOITE	17,1	18	17,2	19,9
Total Geral	16,7	17,9	17	19,1

Fonte: do Autor, (2018).

Nas temperaturas mínimas registradas, como na média, a condução forçada se manteve com a maior temperatura, e com pouca variação entre os turnos, nem 1⁰C de variação, e também a condução natural se mostrou eficiente para o aquecimento.

Tabela 8 - Máximo temperatura turno semana 2 e 3.

Rótulos de Linha	Máx de AMBIENTE	Máx de COND NATU	Máx de SIMU	Máx de CONDU FOR
DIA	31,70	31,60	31,80	31,80
NOITE	27,20	29,80	28,20	30,30
Total Geral	31,70	31,60	31,80	31,80

Fonte: do Autor, (2018).

Já para as máximas temperaturas registradas, a condução forçada, mesmo com alteração nos cooler, se igualou na temperatura máxima do protótipo da simulação, assim se mostrando ineficiente para reduzir a temperatura quando o ambiente está aquecido.

Concluindo na segunda e terceira semana, o aumento da ventilação houve um grande ganho para o aquecimento do ambiente, as mínimas tiveram um bom resultado, mas esse aumento de ventilação gerou também aumento na maior temperatura, por outro lado as médias de temperatura superaram as expectativas.

4.1.4 Quarta semana 07/07 ate 13/07.

Para a quarta semana de coletas foram alterado o posicionamento dos protótipos, onde todos foram alocados na mesma altura, para não haver favorecimento em questão de altura, maior ou menor proximidade com a cobertura do local que estavam acondicionados.

A Figura 14 demonstra o modelo do arranjo que foram instalados os protótipos, ficando todos a uma altura média de 30 cm do chão.

Figura 15 – Arranjo protótipo fase dois.

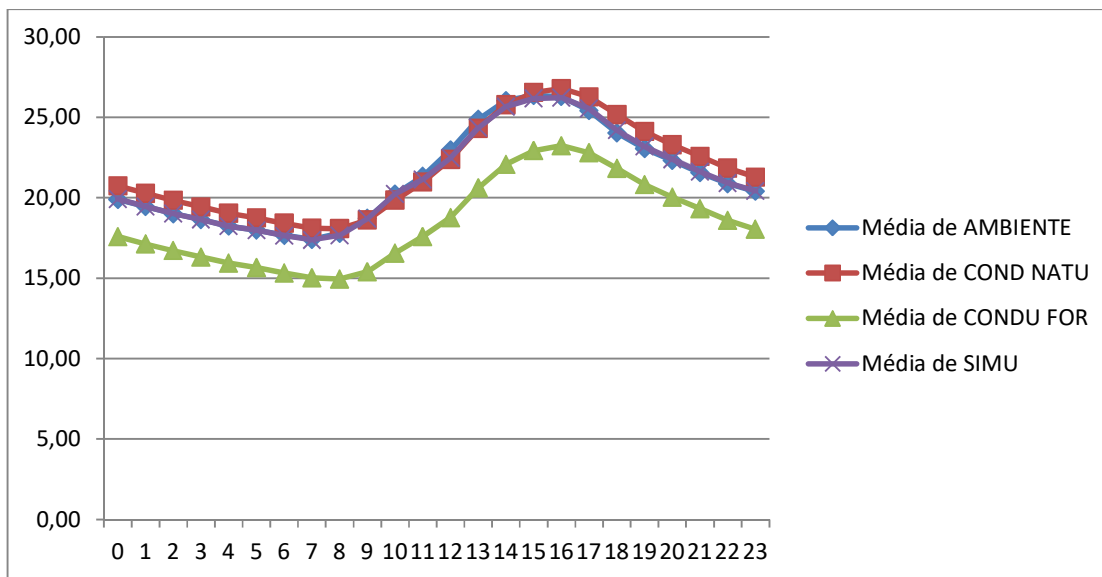


Fonte: do Autor, (2018).

A alteração, além de igualar o desempenho dos protótipos em relação a altura, outra justificativa foi de reduzir o contato da tubulação que troca calor com o solo com o contato com o ar do ambiente, já que no outro arranjo tinha aproximadamente 1 metro de tubulação em contato com o ambiente externo, o que poderia estar influenciando nos resultados, já no novo arranjo dos protótipos a tubulação com contato com o ambiente ficou com aproximadamente 40 cm.

Em relação aos coolers, foi mantido o da última semana coletada.

Gráfico 3 – Média temperatura quarta semana 4 semana.



Fonte: do Autor, (2018).

Para quarta semana, observa-se no Gráfico 3, que por todo o período o protótipo com condução forçada se manteve com a temperatura elevado, mesmo no períodos noturnos em que a simulação se manteve amena, porém a média da condução forçada em nenhum momento superou a temperatura dos 25⁰ C.

Na Tabela 9, está detalhado numericamente das médias dos dias ao longo da coleta, observa-se que a média da condução forçada ao longo do período se manteve sempre acima das demais, o que nos demonstra uma reação que no frio a reação do solo é aquecer o ambiente, outro ponto a ser destacado é os resultados da condição de condução natural, em que também ficou com a média acima da simulação e o ambiente.

Assim mostrando que a condução forçada e natural está se mostrando com bastante eficácia para o aumento de temperatura do ambiente.

Tabela 9 – Média temperatura semana 4.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de NATU	COND	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
07/07/2018	23,18		23,87	25,42	23,19
08/07/2018	19,15		19,90	21,92	19,12
09/07/2018	14,28		14,80	16,90	14,24
10/07/2018	13,26		13,85	15,95	13,25
11/07/2018	13,68		14,26	16,30	13,59
12/07/2018	15,42		15,89	17,85	15,31
13/07/2018	19,20		19,55	21,44	19,11
Total Geral	16,80		17,36	19,32	16,75

Fonte: do Autor, (2018).

Na Tabela 10, podemos observar as temperaturas nos turnos, dia e noite, apresentando a temperatura média, máxima e mínima, onde podemos observar que conforme já dito, a condução se mostrou em todos os momentos acima dos demais protótipos. Ponto a se destacar dentre essas tabelas, é a com informação de máxima temperatura, que foi da condução forçada, superando a casa dos 25⁰ C.

Tabela 10 – Média, máxima e mínima temperatura semana 4.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
DIA	17,40	17,57	19,46	17,30
NOITE	16,21	17,15	19,17	16,21
Total Geral	16,80	17,36	19,32	16,75

Rótulos de Linha	Máx de AMBIENTE	Máx de COND NATU	Máx de CONDU FOR	Máx de SIMU
DIA	28,7	28,4	29,9	28,2
NOITE	26,7	27,7	29,4	26,9
Total Geral	28,7	28,4	29,9	28,2

Rótulos de Linha	Mín de AMBIENTE	Mín de COND NATU	Mín de CONDU FOR	Mín de SIMU
DIA	7,80	8,60	10,80	7,80
NOITE	8,40	9,50	11,70	8,40
Total Geral	7,80	8,60	10,80	7,80

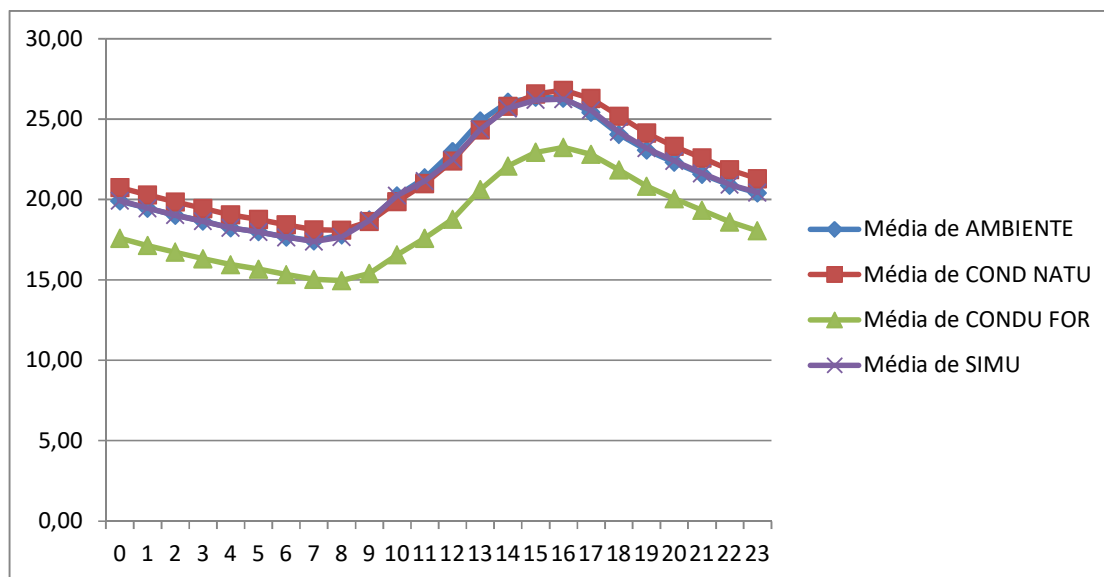
Fonte: do Autor, (2018).

O que podemos concluir de todos os resultados obtidos, que somente para o aquecimento do ambiente esse método está sendo eficiente, pois está sempre se mantendo a temperatura acima do ambiente e do protótipo de simulação.

4.1.5 Quinta e sexta semana (14/07 até 27/07)

Para a quinta e sexta semana houve uma alteração no arranjo dos coolers no interior do protótipo de condução forçada, anteriormente havia dois coolers, um empurrando o ar para a serpentina e o outro puxando. Nesse momento foi optado em deixar somente um cooler puxando o da serpentina, assim reduzindo a velocidade do ar pela serpentina propiciando uma maior troca de energia e reduzindo o atrito com a parede da tubulação, conforme exibido no Gráfico 04.

Gráfico 4 – Média temperatura semana 5 e 6.



Fonte: do Autor, (2018).

Para a quinta e sexta semana o que foram obtidos como resultado que, o protótipo com condução forçada ao contrário da quarta semana, se manteve durante todo o processo com temperatura menor, porém outra questão a ser levado em conta é que nesse período a

temperatura ambiente foi mais elevada em que a média da semana, segundo os resultados obtidos foram de 21,27⁰ C, e a média da temperatura do protótipo com condução forçada foi de 18,47⁰ C, conforme demonstrado na Tabela 11.

Tabela 11 – Média temperatura diária semana 5 e 6.

Rótulos de Linha	Média AMBIENTE	Média NATU	COND	Média FOR	CONDU	Média SIMU
14/07/2018	21,64		21,93		23,66	21,48
15/07/2018	24,58		24,78		21,40	24,36
16/07/2018	25,40		25,82		22,50	25,30
17/07/2018	24,82		25,27		21,99	24,71
18/07/2018	24,09		24,47		21,16	23,91
19/07/2018	25,38		25,68		22,34	25,27
20/07/2018	22,09		22,90		19,73	22,07
21/07/2018	13,57		14,36		11,20	13,60
22/07/2018	15,79		16,22		12,04	15,69
23/07/2018	22,65		23,16		18,85	22,63
24/07/2018	19,42		20,12		16,04	19,52
25/07/2018	20,11		20,66		16,48	20,13
26/07/2018	18,30		18,94		14,86	18,36
27/07/2018	19,98		20,48		16,29	19,99
Total Geral	21,27		21,77		18,47	21,21

Fonte: do Autor, (2018).

Grifado na Tabela 11, podemos verificar que nesses dias as médias os protótipos foram mais expressivo para com o que se deseja como resultado neste trabalho, que é reduzir a temperatura quando estiver acima de 22⁰ C e aumentar quando estiver abaixo.

Tabela 12 – Média de temperatura semana 5 e 6.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
DIA	22,06	22,17	18,37	21,91
NOITE	20,43	21,35	17,76	20,48
Total Geral	21,24	21,76	18,07	21,19

Fonte: do Autor, (2018).

Tabela 13 - Máximas temperaturas semana 5 e 6.

Rótulos de Linha	Máx de AMBIENTE	Máx de COND NATU	Máx de CONDU FOR	Máx de SIMU
DIA	32,1	32,1	28,4	31,8
NOITE	30,0	31,0	27,6	30,2
Total Geral	32,1	32,1	28,4	31,8

Fonte: do Autor, (2018).

Tabela 14 – Mínima temperatura semana 5 e 6.

Rótulos de Linha	Mín de AMBIENTE	Mín de COND NATU	Mín de CONDU FOR	Mín de SIMU
DIA	7,60	8,40	4,60	7,70
NOITE	7,70	8,80	5,00	7,80
Total Geral	7,60	8,40	4,60	7,70

Fonte: do Autor, (2018).

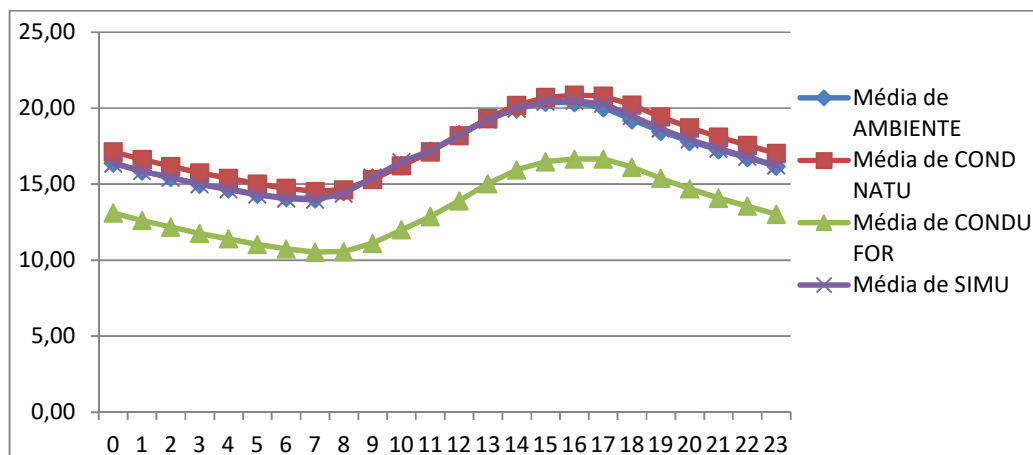
Nas tabelas 12/13 e 14, podemos concluir, que de uma forma sutil, mas de grande valia que o sistema de condução forçada começa a esboçar uma boa melhora em relação às outras semanas já analisadas, pois conforme já dito que está aquecendo o ambiente nas temperaturas mais inferiores, e refrescando nas temperaturas mais quentes, porém uma sutil alteração.

4.1.6 Sétima e oitava semana (27/07 até 10/08)

Para a sétima e oitava semana foi alterado o cooler do protótipo de condução forçada, para que aumente a vazão de ar pela serpentina do protótipo de condução forçada. Os restantes dos protótipos não sofreram alteração.

Segue no Gráfico 05 o desempenho dos protótipos nos período analisado.

Gráfico 5 - Média temperatura semana 7 e 8.



Fonte: do Autor, (2018).

Analisa-se no Gráfico 5, e comparando-o com o Gráfico 4, pode-se afirmar que o protótipo de condução forçada aumentou ainda mais a diferença de temperatura, acompanhando as demais temperaturas dos outro protótipo, mas aproximadamente 5^o C abaixo, para visualizar essa diferença mais detalhada pode ser vista abaixo na Tabela 15. Observando também a temperatura média da semana, que foi de mínima próxima de 15^o e máxima de 22^o.

Tabela 15 – Média temperatura por dia semanas 7 e 8.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
27/07/2018	19,98	20,48	16,29	19,99
28/07/2018	22,76	23,17	18,84	22,67
29/07/2018	17,79	18,55	14,49	17,94
30/07/2018	15,58	16,20	12,16	15,79
31/07/2018	16,07	16,59	12,55	16,01
01/08/2018	15,57	16,03	11,92	15,50
02/08/2018	18,91	19,44	15,32	19,00
03/08/2018	18,50	19,05	15,00	18,63
04/08/2018	18,61	19,08	14,95	18,67
05/08/2018	15,99	16,49	12,42	15,89
06/08/2018	14,64	15,22	11,17	14,58
07/08/2018	16,31	16,65	12,53	16,40
08/08/2018	18,67	19,16	15,01	18,79
09/08/2018	13,96	14,49	10,44	13,95
10/08/2018	14,22	14,75	10,71	14,29
Total Geral	17,17	17,69	13,58	17,20

Fonte: do Autor, (2018).

Durante todos os dias do período sendo analisada, a temperatura do protótipo de simulação se mostrou abaixo dos 22° C, e como já descrito acima, a condução forçada reduziu ainda mais a temperatura, assim não aquecendo o ambiente como se era esperado.

Porém nessa situação devemos observar os valores da média do protótipo de condução natural, que somente com o peso do ar devido a temperatura maior no interior da serpentina conseguiu aumentar e manter a temperatura alta no protótipo.

4.1.7 Nona semana até a décima primeira semana 10/08 ate 30/08

Para as últimas semanas de coleta de dados os protótipos se mantiveram nas mesmas condições de altura que as últimas semanas analisadas, ou seja, todas na mesma altura em relação ao solo. Uma alteração significativa para essa semana foi o isolamento do protótipo de simulação, como os outros dois protótipos tinham um sistema fechada de circulação de ar, dizendo em outras palavras, como eles não trocam temperatura com o ambiente com a circulação de ar, foi optado nesse momento em isolar a simulação para que fique nas mesmas condições.

Outra alteração foi à alteração, de que em vez de se puxar o ar no final da serpentina, foi alterado para empurrar o ar para serpentina. Nesse momento ao se ligar o sistema de ventilação verificou-se que a temperatura imediatamente do ar que saia da serpentina já se encontrava numa mais baixa temperatura.

Na Tabela 17, pode-se observar que na condução forçada a todo o momento a temperatura se manteve abaixo da temperatura da simulação, o que teve de mais significativo nessas semanas foi a condução natural, que somente com o diferencial de peso devido a temperatura conseguir ser mais eficiente, e nos momentos mais frios aquecer o protótipo.

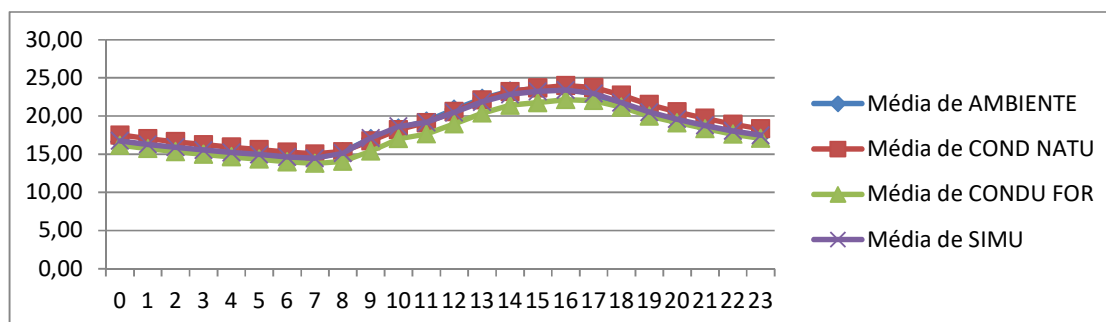
Tabela 16 – Temperaturas diárias semana 9 a 11.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
10/08/2018	14,22	14,75	10,71	14,29
11/08/2018	13,37	14,13	10,11	13,46
12/08/2018	16,18	16,76	12,60	16,16
13/08/2018	19,32	19,79	15,47	19,22
14/08/2018	19,36	19,93	15,73	19,33
15/08/2018	19,62	20,19	16,07	19,73
16/08/2018	19,71	20,26	16,08	19,72
17/08/2018	21,17	21,68	17,43	21,14
18/08/2018	22,56	22,96	21,68	22,50
19/08/2018	23,49	23,90	24,43	23,37
20/08/2018	16,14	17,10	17,71	16,10
21/08/2018	12,53	13,14	14,07	12,49
22/08/2018	13,06	13,61	14,49	13,14
23/08/2018	19,12	19,44	19,84	19,11
24/08/2018	22,47	22,99	23,02	22,38
25/08/2018	16,08	16,84	17,39	16,17
26/08/2018	13,64	14,50	15,28	13,95
27/08/2018	15,35	15,99	16,53	15,48
28/08/2018	21,71	22,08	22,06	21,64
29/08/2018	26,21	26,52	26,02	26,08
30/08/2018	25,28	25,27	25,10	25,03
Total Geral	18,50	19,04	17,60	18,50

Fonte: do Autor, (2018).

No Gráfico 6 pode observar que a todo o momento a condução de manteve abaixo dos restantes dos protótipos, porém quanto menor a temperatura do ambiente, menor é a diferença entra a temperaturas, assim provando da sua eficiência.

Gráfico 6 – Média hora semana 9 a 11.



Fonte: do Autor, (2018).

Podemos comprovar no gráfico o que foi escrito anteriormente, que a condução forçada se mostrou muito eficiente para aquecer ambiente, mesmo sem condução forçada se mostrou com grande ganho de temperatura.

Tabela 17 – Média temperatura por turno semana 9 a 11.

Rótulos de Linha	Média de AMBIENTE	Média de COND NATU	Média de CONDU FOR	Média de SIMU
DIA	19,62	19,74	18,20	19,47
NOITE	17,38	18,35	17,00	17,53
Total Geral	18,50	19,04	17,60	18,50

Fonte: do Autor, (2018).

Na média de temperatura por turno, mostra na Tabela 17, que a condução se manteve a média maior que o restante dos protótipos, seguindo pela simulação, porém a condução forçada se mostrou abaixo dos restantes.

Na Tabela 18, nos trás as máximas temperaturas dos turnos que pode sua vez mostramos a condução forçada foi a temperatura mais baixa das máximas. Portando, comprovando sua capacidade de resfriar ambientes.

Tabela 18 – Máximas temperatura por turno semana 9 e 11.

Rótulos de Linha	Máx de AMBIENTE	Máx de COND NATU	Máx de CONDU FOR	Máx de SIMU
DIA	33,8	33,5	32,1	33,2
NOITE	30,7	31,8	31,1	30,9
Total Geral	33,8	33,5	32,1	33,2

Fonte: do Autor, (2018).

Na Tabela 19, a condução natural também obteve a maior mínima e todos os protótipos analisados.

Tabela 19 - Máximas temperatura por turno semana 9 e 11.

Rótulos de Linha	Mín de AMBIENTE	Mín de COND NATU	Mín de CONDU FOR	Mín de SIMU
DIA	6,30	7,50	4,00	7,00
NOITE	6,80	8,00	5,10	7,40
Total Geral	6,30	7,50	4,00	7,00

Fonte: do Autor, (2018).

Para essas últimas semanas de análise provou que esses métodos são eficientes e pode ser usado para climatização de ambientes com baixo custo de implantação e pequeno custo de operação.

4.2 MEDIÇÕES DE ENTRADA DO AR E DA SAÍDA DO AR PELA SERPENTINA

Conforme propostos nos objetivos, foi determinar a variação de temperatura de entrada e saída da serpentina.

Durante as datas de 14/09 até 28/09, o aparelho de medição e registro de temperatura, foi readequado para medir a temperatura que o ar entra na serpentina, e a temperatura que o ar sai da serpentina, para intuito de se quantificar a perda de energia calórica do ar, por passar pela serpentina enterrada.

Após os 15 dias de análise chegaram-se aos seguintes resultados:

Tabela 20 – Média de entrada e saída da serpentina.

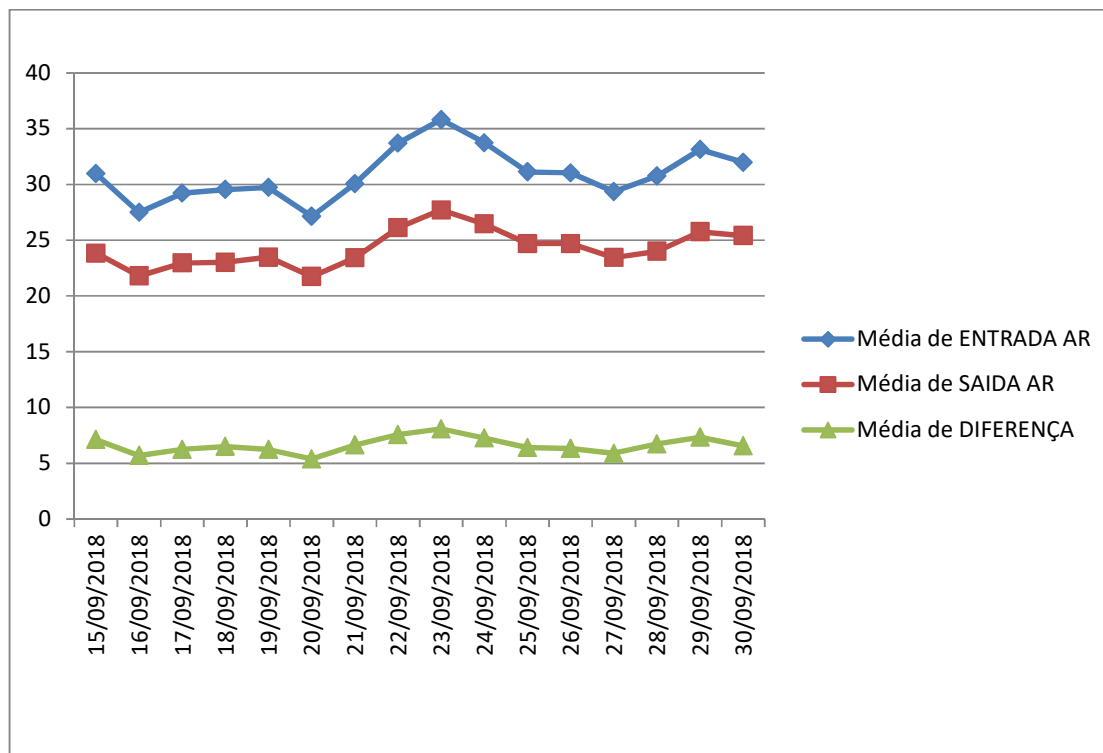
DIA	Média de ENTRADA AR (°C)	Média de SAÍDA AR (°C)	Média de DIFERENÇA (°C)
15	30,97	23,83	7,13
16	27,49	21,79	5,70
17	29,22	22,96	6,26
18	29,54	23,03	6,52
19	29,72	23,48	6,24
20	27,14	21,75	5,39
21	30,06	23,42	6,64
22	33,68	26,11	7,58
23	35,80	27,71	8,09
24	33,73	26,46	7,27
25	31,12	24,70	6,42
26	31,03	24,69	6,34
27	29,35	23,44	5,91
28	30,75	24,02	6,74
29	33,12	25,77	7,35
30	31,98	25,41	6,56
Total Geral	30,91	24,30	6,61

Fonte: do Autor, (2018).

Observa-se pela Tabela 09 que a temperatura medida na entrada da serpentina, fazendo a média do dia, analisando por todo o período de análise que se manteve maior que a saída da serpentina, e verificando que quanto mais alta a temperatura de entrada, maior foi a diferença entre as temperaturas, quanto mais baixa a temperatura de entrada a variação de temperatura também foi menor. Marcado na Tabela 09 nas cores vermelha e amarelo, onde o amarelo destaca a maior diferença de temperatura e a vermelha destaca a menor diferença.

No Tabela 15, grifado de vermelho mostra a evolução da temperatura ao longo dos 15 dias de análises:

Gráfico 7 – Média de temperatura e média de diferença.



Fonte: do Autor, (2018).

Analisando separadamente o dia 23 podemos detalhar melhor toda essa variação conforme figura e tabela abaixo:

Tabela 21 – Temperatura detalhada dia 23/10.

HORA	Média de ENTRADA AR (°C)	Média de SAÍDA AR (°C)	Máx de DIFERENÇA (°C)	Mín de DIFERENÇA (°C)	Média de DIFERENÇA (°C)
00	33,63	26,60	7,10	7,00	7,03
01	33,27	26,47	6,90	6,70	6,80
02	33,10	26,20	6,90	6,90	6,90
03	32,73	25,90	6,90	6,80	6,83
04	32,20	25,53	6,80	6,60	6,67
05	31,60	25,17	6,50	6,40	6,43
06	31,07	24,83	6,30	6,20	6,23
07	30,83	24,90	6,00	5,90	5,93
08	31,23	25,23	6,10	5,90	6,00
09	32,57	26,37	6,50	5,90	6,20
10	34,57	27,23	7,80	7,00	7,33
11	36,33	28,30	8,20	7,80	8,03
12	37,80	29,07	8,80	8,60	8,73
13	39,00	28,97	10,30	9,80	10,03
14	40,47	29,87	10,80	10,50	10,60
15	41,17	30,23	11,00	10,90	10,93
16	41,43	30,30	11,20	11,00	11,13
17	41,27	30,43	11,00	10,70	10,83
18	40,10	30,03	10,50	9,60	10,07
19	38,47	29,63	9,10	8,70	8,83
20	37,67	28,93	8,80	8,70	8,73
21	37,03	28,77	8,50	8,10	8,27
22	36,17	28,30	8,00	7,80	7,87
23	35,57	27,83	7,80	7,70	7,73
Total Geral	35,80	27,71	11,20	5,90	8,09

Fonte: do Autor, (2018).

Analisa-se pela tabela que a menor diferença se deu quando a temperatura de entrada estava entre as mais baixas de todo o processo de coleta do dia, semelhante a maior diferença, que foi quando a temperatura de entrada estava entre as mais altas. Assim sendo que, a temperatura de saída tendeu-se a ser mais constante, na Tabela analisa-se os dados de maior, menos e desvio padrão entre os dados coletados.

Tabela 22 – Tratamento estatístico dos dados de entrada e saída.

DADOS	ENTRADA(° C)	SAIDA(° C)	DIFERENÇA(° C)
DESVIO PADRÃO	3,47	2,23	1,34
MAXIMA	41,5	30,6	11,2
MINIMA	24,4	19,7	4,5

Fonte: do Autor, (2018).

Na Tabela 11, podemos observar que na saída a maior temperatura ficou 10.9° C menor que na entrada, e também o desvio padrão ficou 3.47° C para entrada e 2.23° C para saída, que com isso pode-se afirmar que a saída teve muito menos variação de temperatura do que a entrada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar o ganho energético geotérmico para climatização residencial, em que foi realizado coleta de dados com protótipos instalados em Pato Bragado – PR, que consistiu em três protótipos que simulava com condução forçada uso de cooler e micro ventiladores, outro protótipo com condução natural utilizando diferença de peso do ar para climatização e o ultimo simulando um ambiente natural.

As análises tiveram o objetivo de determinar se há ou não ganho ou perda térmico do ar circulando pela serpentina enterrada no solo, e se essa variação é utilizável para climatização residencial, ou seja, resfriando o ar no calor e aquecendo no frio. Durante o período de análise foram alterados os arranjos do protótipo, arranjo dos coolers no interior do protótipo para chegar num arranjo mais favorável.

Durante o processo todos os arranjos se demostram eficientes para a climatização, que quanto maior a temperatura de entrada na serpentina, maior é a diferença com a saída, e quanto menor a temperatura na entrada da serpentina menor a diferença de temperatura, podendo ter o aquecimento, ou seja o ar entrar e sair com a temperatura maior que a entrada, mas se mantendo a uma variação em alta temperatura uma redução da temperatura de 10° C.

Também se conclui que em condições de baixas temperaturas a serpentina apenas enterrada, sem a condução forçada do ar pela serpentina, se mostrou muito eficiente, pois não precisa forçar a circulação do ar pela serpentina, com isso sem o consumo de energia elétrica. Em alguns momentos se mostrou mais eficiente do que com o cooler na condução forçada. Sendo uma forma de melhorar o conforto térmico em residências com custo somente de implantação, sem custo de operação.

Ao fim de toda a pesquisa, esse método se mostrou de grande eficiência, e que podemos ter um método eficiente e de baixo custo para climatização de ambiente, que sem nenhuma complicação de ser realizado e instalado, pode ser reduzido em grande escala a utilização de ar condicionado, usando somente em casos extremos.

A utilização desse método pode ser usada como principal forma de climatização ou secundária, variando assim o seu tamanho.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros em relação ao tema de climatização residencial com energia geotérmico, que é um assunto muito amplo e com muita pouca pesquisa em nosso país, esse trabalho foi um início de pesquisa, podendo pesquisas futuras ampliar ainda as informações, desenvolver protótipos para seguir as seguintes linhas de pesquisa:

- Analisar a relação profundidade da serpentina com o ganho de energia;
- Análises de ganhos com outros tipos de tubulação para a confecção das serpentinas.
- Pesquisa sobre utilização de água com fluido de troca de calor com o solo e o ambiente a ser climatizado.

REFERÊNCIAS

_____. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações Parte 1: Definições, símbolos e unidades**, 2003.

CERDEIRA, C. E. C.. **Avaliação de sistemas de climatização em edifícios residências**. 2011. 153 f.. Tese (Grau de Mestre em Engenharia Mecânica) – Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2011.

ROAF, S.; CRICHTON, D.; NICOL, F.. **A adaptação de edificações e Cidades as mudanças climáticas**. 01.ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

CRUZ, R. J. L. C.. **Utilização da energia Térmica do solo para climatização de Edifícios**. 2013. 77 f.. Monografia (Especialização Mestre em Engenharia Civil) – Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Civil, Aveiro, Portugal, 2013.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R.. **Manual do Conforto Térmico**. 05.ed. São Paulo - SP: Studio Nobel, 2003.

OLGYAY, V. **Design with climate**. Princeton University Press, New Jersey, 1973.

OMIDO, A. R.; BARBOZA, C. S.; MOREIRA JUNIOR, O.. Energia geotérmica: Uma aliada na busca da eficiência energética. In: **Anais do VIII Congresso brasileiro de gestão ambiental**, 2017, Campo Grande. Campo Grande: Instituto brasileiro de Estudos Ambientais (IBEAS), 2017.

VICHI, F. M.; MANSOR, M. T. C. **Energia, meio ambiente e economia: o Brasil no contexto mundial**. *Química Nova*. v. 32, n.3, p.757-767, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v32n3/a19v32n3.pdf>>. Acesso em: 06 nov. 2018.

RIO, J. P. T. E.. **Geotermia e implicações nas tecnologias da construção – Estudo de caso**. 2011. 194 f.. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções) – Universidade de Porto, Porto, Portugal, 2011.

ROMERO, Marcelo de Andrade. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: ProEditores, 2000.

SILVA, D. R. B.; IAROSINSKI NETO, A., Dimensionamento de sistema geotérmico para climatização de residências em Curitiba. In: **Anais do VIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, 2010, Canela. Rio Grande do Sul: Associação nacional de tecnologia do ambiente construído (ANTAC), 2010.