

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

RAFAEL LUÍS MANO PACHECO

WESLEY DA MOTTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE O REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO
CALOR GERADO POR FORNOS A LENHA DE USO COMERCIAL UTILIZANDO
MÓDULOS DE PELTIER**

CURITIBA

2022

RAFAEL LUÍS MANO PACHECO
WESLEY DA MOTTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE O REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO
CALOR GERADO POR FORNOS A LENHA DE USO COMERCIAL UTILIZANDO
MÓDULOS DE PELTIER**

**Feasibility study of the energy reuse of the heat generated by comercial
wood ovens using Peltier Module**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)– Campus Curitiba, como requisito para obtenção de nota e posteriores títulos de Engenheiro Eletricista e Engenheiro de Controle e Automação.
Orientador: Profº Me. Marcelo Barcik

CURITIBA
2022



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

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

RAFAEL LUÍS MANO PACHECO
WESLEY DA MOTTA

**ESTUDO DE VIABILIDADE SOBRE O REAPROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO
CALOR GERADO POR FORNOS A LENHA DE USO COMERCIAL UTILIZANDO
MÓDULOS DE PELTIER**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)– Campus Curitiba, como requisito para obtenção de nota e posteriores títulos de Engenheiro Eletricista e Engenheiro de Controle e Automação.

Data de aprovação: 08 de junho de 2022.

Marcelo Barcik
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Antonio Gomes de Araújo
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Clider Adriane de Souza Silva
Mestrado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA
2022

AGRADECIMENTOS

Há pessoas que fizeram parte desta importante fase de nossas vidas, mas que estes parágrafos certamente não abordam. Pedimos desculpas àqueles que não estão presentes entre estas palavras, mas eles podem ter certeza de que fazem parte de nossos pensamentos e de nossa gratidão.

Primeiramente, gostaríamos de expressar nossa gratidão a todos os professores que contribuíram para esta história. O mundo se tornará um lugar mais justo quando todos, sem exceção, tiverem a oportunidade de ir à escola e aprender, e os professores que se esforçam para fazê-lo são os responsáveis por isso. Não poderíamos nos chamar de engenheiros se não fosse por cada pequena parte do ensino que recebemos de um ou outro professor.

Um agradecimento em especial ao Edgar Henrique de Souza, que no último ano acabou virando um amigo e companheiro de estudos durante toda a trajetória final da graduação que acabou por sendo a mais sofrida, mas também foi a mais divertida.

Somos gratos ao nosso professor, Marcelo Barcik, por nos guiar nesta jornada com sabedoria, por ter paciência conosco e por acreditar que isto era possível.

À toda equipe da Di Terni Pizzaria, que gentilmente nos permitiu alterar seu espaço de trabalho e sua rotina para a realização deste trabalho.

As contribuições de nossas famílias e amigos também são de vital importância, pois acreditamos que sem eles seria muito difícil superar este desafio. Finalmente, gostaríamos de agradecer a todos aqueles que tiveram algum envolvimento na criação deste trabalho.

RESUMO

As empresas que utilizam fornos ou qualquer tipo de aquecimento em seu processo sempre tiveram um não aproveitamento da energia residual dos seus processos. Diante disso, soluções alternativas para geração de energia tornam-se mais atrativas e necessárias para reutilizar essa energia. Neste trabalho buscamos avaliar a viabilidade do reaproveitamento da energia térmica que seria originalmente dispersada no ambiente, convertendo-a em energia elétrica para um consumidor comercial de baixa potência, analisando o perfil de consumo do estabelecimento em questão, através dos dados de consumo e a possível economia gerada pela mudança. O custo de produção de kWh do grupo foi calculado levando em conta tanto os custos de implementação do empreendimento quanto as variáveis que os afetam. A partir do processo de desenvolvimento das fases previamente listadas, foi determinado que o projeto seria financeiramente inviável no ponto escolhido com o delta de temperatura em 85°C, pois o custo de investimento seria de aproximadamente R\$ 308.250,00 e o *payback* de 23,5 anos tornando o retorno do investimento muito demorado. Porém, indicamos possíveis abordagens alternativas que poderiam ser sugeridas para torná-lo viável, melhorando sua eficiência e diminuindo o investimento inicial, podendo trazer o *payback* para aproximadamente 4 anos em uma situação mais eficiente. Também trouxemos a possibilidade de uma estação de carregamento sustentável que pode ser um diferencial para a marca, com o custo inicial de aproximadamente R\$18.000,00.

Palavras-chave: Reaproveitamento Energético, Calor, Forno a Lenha, Módulo de Peltier.

ABSTRACT

Power companies were forced to use thermoelectric generation due to the recent energy crisis in our country, which was caused by insufficient rainfall in certain areas, resulting in higher generation costs, which were consequently passed on to consumers. Such transfer has a significant financial impact for most consumers, especially small and medium-sized enterprises. In view of this, alternative solutions for energy generation become more attractive and necessary. In this work, we seek to evaluate the feasibility of reusing thermal energy that would originally be dispersed in the environment, converting it into electrical energy, for a low-power commercial consumer, analyzing the consumption profile of the establishment in question, through consumption data and the possible savings generated by the change. The group's cost of producing kWh was calculated taking into account both the implementation costs of the enterprise and the variables that affect them. From the development process of the previously listed phases, it was determined that the project would be financially unfeasible at the chosen point with the temperature delta at 85°C, since the investment cost would be approximately R\$ 308,250.00 and the payback of 23.5 years making the return on investment very time consuming, but we indicate possible alternative approaches that could be suggested to make it viable, improving its efficiency and reducing the initial investment, being able to bring the payback to approximately 4 years in a very efficient situation. We also brought the possibility of a sustainable charging station that can be a differentiator for the brand with an initial cost of approximately R\$18,000.00.

Keywords: Energy reuse, Heat, Wood oven. Peltier module.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Estrutura básica de um forno a lenha | 16 |
| Figura 2 - Influência da energia emitida, transmitida e refletida na medida de um termômetro sem contato | 19 |
| Figura 3 - Diagrama de blocos de um termômetro infravermelho..... | 20 |
| Figura 4 - Sensor de temperatura em funcionamento Minipa 350A..... | 21 |
| Figura 5 – Módulo de Peltier..... | 27 |
| Figura 6 - Efeito Peltier | 28 |
| Figura 7 - Interior do forno a lenha estudado | 31 |
| Figura 8 - Boca do forno estudado..... | 32 |
| Figura 9 - Sensor MT-350A..... | 33 |
| Figura 10 - Módulo de Peltier TEG1-12611-6.0..... | 35 |
| Figura 11 – Ponto na parede da frente do forno e ponto na boca do forno | 36 |
| Figura 12 - Ponto no meio do forno..... | 36 |
| Figura 13 - Ponto na chaminé (saída da pizzeria)..... | 37 |
| Figura 14 - Ponto na chaminé (saída do forno) e ponto na parede lateral..... | 37 |
| Figura 15 - Ponto no topo do forno (sobre a lã de rocha)..... | 38 |
| Figura 16 - Ponto no topo do forno (entre a lã de rocha e outros isolamentos) | 38 |
| Figura 17 - Inversor de potência veicular Leboss 1kW..... | 45 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Unidades de medida | 24 |
| Tabela 2 - Especificações técnicas do sensor MT-350A | 34 |
| Tabela 3 - Obtenção da temperatura do forno a lenha em diferentes pontos | 40 |
| Tabela 4 - Temperaturas médias por área disponível | 41 |
| Tabela 5 - Cálculo dos valores médios do histórico de consumo | 42 |
| Tabela 6 – Tabela com os valores estimados de carga da pizzaria | 43 |
| Tabela 7 - Valores do módulo de Peltier à pressão constante | 44 |
| Tabela 8 - Correlação de Delta e a potência com o número de placas do módulo de Peltier necessárias para uma carga de 1128 W | 44 |
| Tabela 9 - Orçamento para o ponto de delta de temperatura igual a 85°C | 46 |
| Tabela 10 - Gasto anual atual <i>versus</i> economia | 47 |
| Tabela 11 - ROI ao longo do tempo | 47 |
| Tabela 12 - Resultado para outros deltas de temperatura | 49 |

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

| | |
|----------|--------------------|
| CC | Corrente contínua |
| CA | Corrente Alternada |
| Hz | Hertz |
| V | Volts |
| A | Ampere |
| m | Metros |
| °C | Graus Celsius |
| Δ | Delta |
| Ω | Ohm |
| W | Watts |
| kWh | Quilowatt-hora |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Tema | 11 |
| 1.2 | Problema | 12 |
| 1.3 | Objetivos | 13 |
| 1.3.1 | Objetivo Geral..... | 13 |
| 1.3.2 | Objetivos Específicos | 13 |
| 1.4 | Justificativa..... | 13 |
| 1.5 | Procedimentos metodológicos | 14 |
| 1.6 | Estrutura do trabalho | 15 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 16 |
| 2.1 | Forno a lenha..... | 16 |
| 2.2 | Sensores | 17 |
| 2.2.1 | Sensores de temperatura | 18 |
| 2.3 | Transferência de calor | 21 |
| 2.3.1 | Unidades | 23 |
| 2.3.2 | Modalidades | 25 |
| 2.4 | Módulo de Peltier..... | 26 |
| 2.5 | Inversores | 28 |
| 2.6 | Avaliação do projeto de investimento | 28 |
| 2.6.1 | Retorno sobre o investimento..... | 29 |
| 2.6.2 | Período de <i>payback</i> | 30 |
| 3 | MATERIAIS E MÉTODOS | 31 |
| 3.1 | Forno a lenha..... | 31 |
| 3.2 | Sensor | 32 |
| 3.3 | Módulo de Peltier..... | 34 |
| 3.4 | Procedimento de coleta de dados | 35 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 40 |
| 4.1 | Dados obtidos da medição de temperatura do forno a lenha | 40 |
| 4.2 | Análise do consumo de energia elétrica | 42 |
| 4.3 | Dimensionamento | 43 |
| 4.3.1 | Inversor conversor de potência CC-CA | 45 |
| 4.4 | Análise financeira..... | 46 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.4.1 | Custo de aquisição do sistema..... | 46 |
| 4.4.2 | Prazo do retorno do investimento (<i>payback</i>) | 46 |
| 4.4.3 | Período de ROI..... | 47 |
| 4.5 | Soluções alternativas..... | 48 |
| 4.5.1 | Alimentação de estações de carregamento USB | 48 |
| 4.5.2 | Simulação com outros valores para o delta de temperatura | 48 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 50 |
| | REFERÊNCIAS..... | 53 |
| | APÊNDICE A – ESPECIFICAÇÕES DA PLACA DO MÓDULO DE PELTIER | 55 |
| | APÊNDICE B – MANUAL DO SENSOR DE TEMPERATURA MINIPA | 58 |

1 INTRODUÇÃO

No mundo contemporâneo tem-se buscado cada vez mais o aproveitamento de energias residuais outrora consideradas como desperdícios aceitáveis. Já é possível verificar diversas aplicações que objetivam a utilização de energia residual cinética, térmica, gravitacional e solar, dentre outras. Pouco se encontra, entretanto, em relação ao reaproveitamento do calor gerado por fornos a lenha muito utilizados em estabelecimentos comerciais, tais como pizzarias.

São muitas as alternativas possíveis para o reaproveitamento do calor gerado por fornos, como, por exemplo, a utilização de gases em altas temperaturas em sistemas de resfriamento, a utilização do calor para aquecimento de água utilizado em outros setores do mesmo estabelecimento comercial ou, ainda, a conversão de energia térmica em energia elétrica.

Independentemente das soluções que se busque adotar, é necessário, inicialmente, obter dados da temperatura de vários pontos internos e externos do forno a lenha para, então, através da análise dos dados obtidos, dedicar-se à elaboração de um estudo de viabilidade de possíveis sistemas de reaproveitamento energético.

1.1 Tema

Este trabalho consiste em um estudo de viabilidade do reaproveitamento energético do calor gerado em fornos a lenha em um estabelecimento comercial de pequeno porte utilizando módulos de Peltier, visando, por meio do projeto desenvolvido, otimizar a utilização de energia e reduzir o custo de produção.

Assim sendo, será desenvolvido um estudo de viabilidade com o intuito de mensurar e analisar o calor gerado pelo forno e, conseqüentemente, permitir uma projeção acurada da viabilidade das possíveis soluções para reaproveitamento deste calor gerado utilizando módulos de Peltier. Por fim, será realizada uma simulação financeira da implementação destas possíveis soluções a partir da análise dos dados coletados.

Uma vez concluído o estudo, serão avaliados fatores favoráveis e contrários à implementação do sistema proposto, resultando em um parecer assertivo e com o devido embasamento teórico da viabilidade ou não viabilidade do projeto.

1.2 Problema

Considerando um forno a lenha de uma pizzaria de pequeno porte — que será o exemplo abordado neste estudo — funcionando diariamente das 16h às 2h (manhã), há um desperdício de energia considerável de material combustível (lenha), que é queimada e, dessa forma, conta com calor sendo gerado mesmo quando não há necessidade, isto é, quando não há pizzas no forno. Isto porque o tempo de preparação do forno é bastante longo e, por isso, é preferível que esteja sempre já aquecido. A maior parte da energia térmica não é utilizada para seu objetivo primário — assar as pizzas, e acaba por ser dissipada no ambiente, o que faz com que a possibilidade de reaproveitar esta energia inicialmente desperdiçada seja bastante interessante.

Além disso, a obtenção dos dados de temperatura do forno possibilita solucionar outro problema recorrente: a variação da consistência do produto final. Percebe-se uma diferença muito grande entre a pizza assada com o forno em uma temperatura muito elevada (isto é, quando o operador acrescenta muito material combustível ao forno) em comparação com a pizza assada com o forno em uma temperatura mais amena (quando, por exemplo, o forno fica muito tempo sem adição de combustível). A simples obtenção de dados utilizando um termômetro infravermelho indicando a temperatura durante o horário de funcionamento da pizzaria possibilitaria um controle mais assertivo da temperatura do forno, mantendo a consistência e a temperatura mais próximas do ideal de funcionamento do equipamento.

Este estudo visa encontrar uma solução para esse desperdício de energia, bem como para a obtenção da temperatura do forno e reaproveitamento da energia gerada em forma de energia elétrica e, também, a análise dos dados de temperatura ao longo do dia para definir quais as melhores alternativas a serem implementadas em questão de reaproveitamento energético.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo em um estabelecimento comercial para avaliar a viabilidade técnica e financeira da implementação de uma solução baseada no efeito

de Peltier para reaproveitamento da energia residual térmica de fornos a lenha de uma pizzaria de pequeno porte, mas que conta com dois equipamentos — um ativo e outro inativo, presente no mercado há aproximadamente 20 anos, com faturamento mensal aproximado de R\$ 200.000,00 e que conta com uma média de venda de 3 mil unidades ao mês.

1.3.2 Objetivos Específicos

Entende-se que a realização do objetivo definido acima se tornará possível por meio de um desdobramento em cinco objetivos específicos:

- Traçar uma revisão bibliográfica acerca dos sensores térmicos;
- Traçar um referencial teórico a respeito dos fornos a lenha utilizados em estabelecimentos comerciais de pequeno porte e do seu potencial energético;
- Coletar e mapear a temperatura do forno a lenha em diferentes pontos e horários;
- Avaliar as conformidades do forno a lenha e do dispositivo de Peltier para conversão da energia residual gerada pelo forno;
- Realizar uma análise financeira do custo da implementação e da economia gerada pelo sistema para avaliar sua viabilidade e o interesse por parte do estabelecimento comercial e;
- Estender a análise realizada para diferentes cenários, variando tanto especificações técnicas quanto financeiras para inferir o impacto dessas variações na viabilidade do projeto.

1.4 Justificativa

O custo da energia tem aumentado consideravelmente. Por exemplo, em 2021 as contas de luz devem ficar ainda mais caras. O consumidor brasileiro, que já estava enfrentando aumentos nas suas contas de energia elétrica desde dezembro de 2020, deve ver o valor repassado continuar a crescer.

Em fevereiro deste ano, o diretor-geral da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), André Pepitone, afirmou que “áreas técnicas já fazem estimativas de que, se nada for feito, o reajuste 2021, média Brasil, está na casa dos 13%”. As cobranças maiores servirão para cobrir um déficit de 3,12 bilhões de reais na arrecadação que a ANEEL teve durante o ano de 2020 (INFOMONEY, 2021).

Considerando, ainda, que a matriz energética brasileira é composta, em grande parte, por uma mesma fonte, isto a torna ainda mais vulnerável a situações adversas em relação a outras matrizes mais diversificadas. Qualquer cenário desfavorável à geração de energia hidrelétrica, impacta diretamente em mais de 64% da produção de energia do país, levando-o a recorrer a fontes de energia com maior custo, que é, então, repassado ao consumidor. Esse aumento de preço é bastante expressivo, fazendo com que o custo da energia passe a ser mais representativo no total do produto, forçando os empresários a buscar alternativas para não perder competitividade (MASSERONI; OLIVEIRA, 2012, p. 52).

Concomitantemente, o consumo também vem crescendo. Em termos de segmentos, a expansão do mercado energético vem sendo marcada pelo expressivo aumento do consumo das classes residencial e comercial, que vem crescendo a taxas superiores em relação ao crescimento do consumo total de energia elétrica do país (GIAMBIAGI; GOSTKORZEWICZ; PIRES, 2001, p. 7).

Desta forma, o aumento no valor da energia elétrica afeta consideravelmente o orçamento dos consumidores, em especial de estabelecimentos comerciais de pequeno e médio porte. Diante disso, é necessário buscar alternativas para reduzir ou otimizar o consumo de energia.

No caso da energia térmica, em seus mais diversos usos, percebe-se uma eficiência consideravelmente baixa. Diante disso, pode-se perceber a importância de buscar soluções que aumentem a sua eficiência ou que façam uso da energia residual em outros processos.

1.5 Procedimentos metodológicos

Para a observação dos objetivos propostos, realizaremos um levantamento bibliográfico, em meios físicos e digitais, com o intuito de identificar a existência de outros trabalhos, artigos e livros relacionados a esse mesmo tema de estudo, que

propiciem a constituição de uma fundamentação teórica a respeito de sistemas de sensoriamento, sistemas de conversão de energia e estudos de viabilidade financeira.

Após a conclusão desse primeiro passo de estudo, iniciaremos a aquisição das informações e históricos da temperatura gerada no forno do estabelecimento, através de termômetro a laser próprio para medição de fornos a lenha. Posteriormente, estabeleceremos os padrões para, enfim, avaliar a solução mais apropriada através de um estudo de viabilidade técnica e financeira. Por fim, serão feitas as considerações e emitido um parecer a respeito dos resultados obtidos, concluído sobre a viabilidade ou não viabilidade e sobre os impactos financeiros da implementação e seus outros possíveis usos.

1.6 Estrutura do trabalho

A realização desse trabalho será dividida de acordo com a estrutura a seguir:

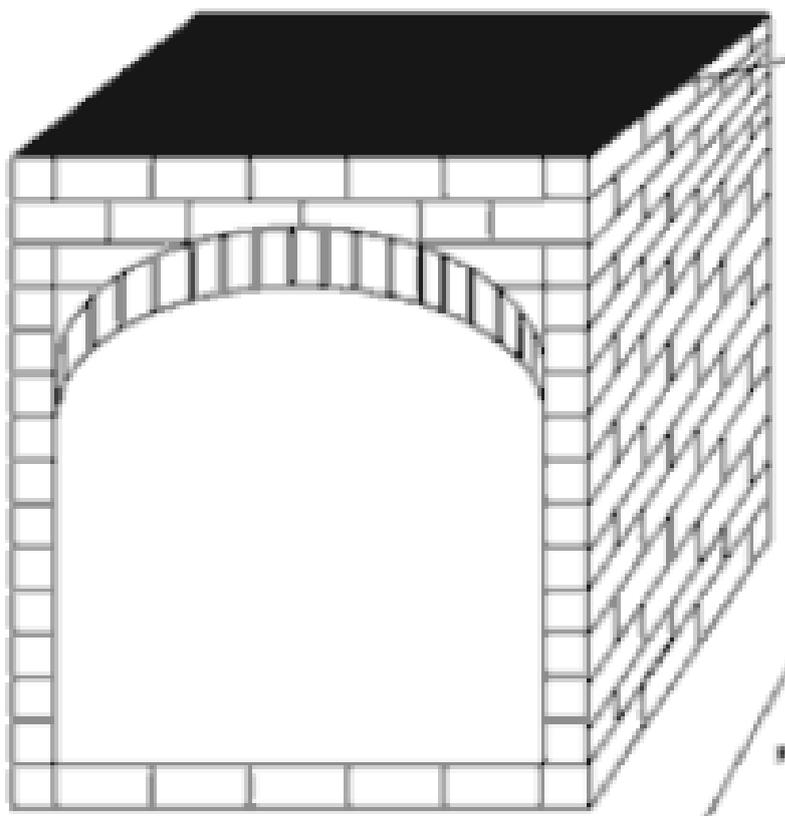
- Capítulo 1: Introdução, contendo a delimitação do tema, problemas e premissas, objetivos geral, objetivos específicos, justificativa e procedimentos metodológicos relacionados a proposta elaborada;
- Capítulo 2: Revisão teórica sobre fornos, sensores, efeito Peltier e outros conceitos relevantes para a execução do estudo aqui proposto;
- Capítulo 3: Descrição dos aparatos utilizados e dos procedimentos empregados na realização do estudo de viabilidade;
- Capítulo 4: Descrição dos dados obtidos e cálculo de indicadores e parâmetros úteis na avaliação da viabilidade da implementação do sistema proposto;
- Capítulo 5: Considerações finais e;
- Capítulo 6: Referências bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Forno a lenha

O forno a lenha utilizado em pizzarias geralmente é construído especificamente para cada estabelecimento, não possuindo um modelo usado repetidamente devido ao tamanho e formato específico de cada local. Sua estrutura é dividida em camadas, que são construídas com tijolos e concreto refratários intercalados com isolantes térmicos. Seu isolamento deve ter entre três e cinco camadas e necessita de alguns cuidados específicos, como uma saída no bocal por onde a fumaça gerada pelo forno será eliminada. Temos na Figura 1 a estrutura básica de um forno a lenha.

Figura 1 - Estrutura básica de um forno a lenha



Fonte: FazFácil (2021)

Em sua base é construída uma laje comum e sobre a base é feita uma camada de concreto de aproximadamente 8 cm. Sobre essa camada de concreto é adicionada

uma massa chamada vermiculita (material refratário) de aproximadamente 6 cm e, por fim, sobre a camada de vermiculita é adicionada outra camada de cerâmica refratária.

Com a base construída, começa a construção do “iglu” de tijolos refratários com uma base quadrada fechando a lateral em um ângulo de aproximadamente 30° até completar a envergadura da estrutura. O iglu tem aproximadamente 20 cm a menos de comprimento de todos os lados da base e nessa distância é erguida mais uma camada de tijolos refratários. Esse espaço entre a parede e o iglu há mais material refratário, sendo o mais comum deles uma serragem de vermiculita. Entre o teto do ambiente em que a estrutura foi construída é deixado outro espaço de aproximadamente 20 cm. Por fim, o teto do forno é preenchido com lã de rocha, um material isolante.

Na entrada do forno, temos duas paredes, sendo uma a saída do calor, que é canalizada por uma calha até a chaminé, feita em inox. No topo da chaminé é utilizado um equipamento chamado Chapéu Chinês, que não deixa a água da chuva entrar por sua estrutura e chegar dentro do forno.

2.2 Sensores

Em todos os campos da automação, sejam sistemas industriais, comerciais, domésticos ou quaisquer outros, é preciso determinar as condições, os parâmetros e as variáveis do sistema. É preciso traduzir em grandezas mensuráveis as características físicas do ambiente a ser monitorado e é exatamente essa a função dos sensores (THOMAZINI, 2011).

Junto aos atuadores, os sensores estão entre os principais elementos de qualquer sistema de automação, independentemente de sua natureza ou área de aplicação.

Entende-se por sensor dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente, seja essa energia luminosa, térmica ou cinética e, através dessa energia, esses dispositivos são capazes de quantificar a intensidade da energia percebida que se pretender mensurar, tais como temperatura, pressão, velocidade, corrente elétrica, aceleração, posição etc. (ALBUQUERQUE, 2011).

Todavia, não necessariamente um sensor terá as características elétricas necessárias para ser utilizado em um sistema de automação e controle. Em muitos

casos, o sinal de saída deve ser manipulado antes da sua leitura pelo sistema de controle. Esse processo é, geralmente, realizado por um circuito eletrônico que atua como a interface para a conversão do sinal em um equivalente que possa ser lido pelo controlador.

Há diversas categorias de sensores, voltados para a detecção de diferentes fenômenos:

- Sensores de presença detectam a existência de qualquer material sem que haja contato entre eles;
- Sensores de posição são dispositivos utilizados para determinar a posição linear ou angular de um objeto;
- Sensores de velocidade consideram o intervalo entre o recebimento de pulsos enviados para inferir a velocidade de um objeto;
- Sensores de aceleração como acelerômetros e os giroscópios fornecem um sinal elétrico proporcional à aceleração do sistema;
- Sensores de nível são utilizados para o controle de líquidos ou particulados contidos em reservatórios;
- Sensores de vazão mensuram a quantidade de líquidos, gases ou vapores que passam em um determinado ponto durante um certo período;
- Sensores de umidade medem o estado atmosférico determinado pelo conteúdo de vapor d'água no ar;
- Diferentes tipos de sensores elétricos podem detectar diferentes propriedades da eletricidade, como corrente e tensão.

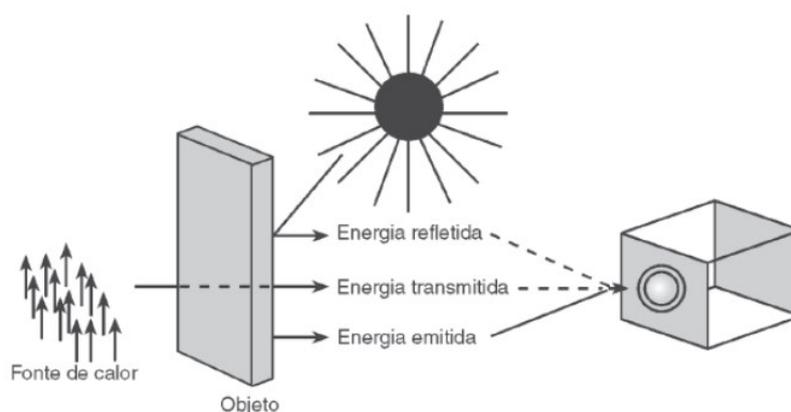
2.2.1 Sensores de temperatura

Sensores de temperatura são equipamentos de medição que detectam a temperatura a partir de uma característica física correspondente dos dispositivos, como, por exemplo, uma resistência elétrica ou um campo eletromagnético ou radiação térmica. Termopares, detectores de temperatura de resistência, termistores, interruptores bimetálicos e sensores de temperatura infravermelhos estão entre os vários tipos de sensores de temperatura.

O termo pirômetro foi originalmente empregado para denominar instrumentos utilizados para medir temperatura de objetos em alta incandescência, isto é, acima do brilho perceptível ao olho humano. Os pirômetros originais eram instrumentos ópticos que mediam temperatura sem contato através da avaliação da radiação visível emitida por objetos quentes e brilhantes.

Um conceito mais moderno seria o de que o pirômetro é um instrumento para medição de temperatura sem contato, que intercepta e avalia a radiação emitida por determinada superfície. Os termos pirômetros e termômetros de radiação são utilizados por diferentes referências bibliográficas para descrever o mesmo instrumento. A Figura 2 mostra a execução de uma medição com um termômetro de radiação medindo temperatura sem contato.

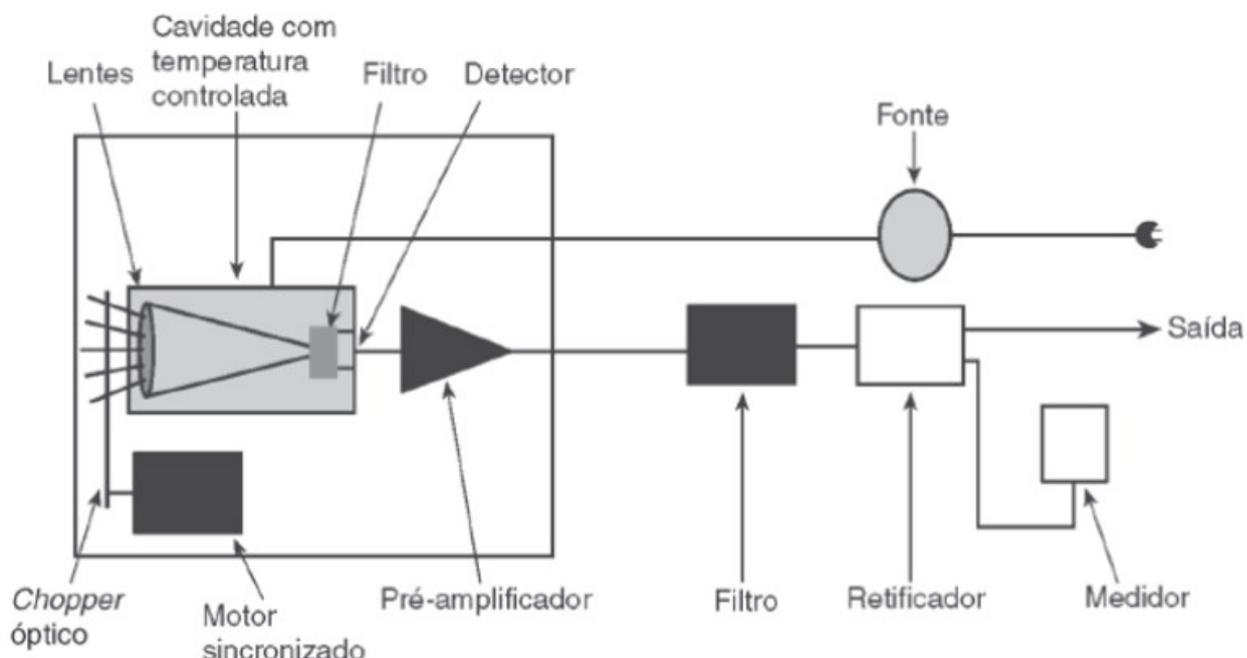
Figura 2 - Influência da energia emitida, transmitida e refletida na medida de um termômetro sem contato



Fonte: Thomazini, D.; Albuquerque, P.U.B. D. Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações. Editora Saraiva, 2011

Um termômetro de radiação consiste em um sistema óptico e um detector. O sistema óptico foca a energia emitida por um objeto sobre o detector. A saída do detector é proporcional à energia irradiada pelo objeto menos a energia absorvida (pelo detector), e a resposta desse instrumento está relacionada a um comprimento de onda específico. A Figura 3 mostra um diagrama de blocos de um termômetro infravermelho. Esses instrumentos são interessantes para a medição de objetos em movimento ou então de objetos cuja posição ou condição torna a medida de temperatura uma tarefa difícil ou que de alguma maneira ponha em risco a saúde das pessoas envolvidas no processo.

Figura 3 - Diagrama de blocos de um termômetro infravermelho



Fonte: Thomazini, D.; Albuquerque, P.U.B. D. Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações. Editora Saraiva, 2011

Os termômetros de radiação infravermelha constituem uma família dentro dos termômetros de radiação, por medirem uma faixa específica de radiação emitida que vai de 0,7 a 20 μm de comprimento de onda.

Apesar das facilidades, esses instrumentos apresentam algumas desvantagens, tais como o custo. O preço dos termômetros de radiação varia bastante, mas esses sistemas são mais caros que os sistemas implementados com termorresistores e com termopares. Além disso, não existem regras aceitas e definidas em processos de calibração, como no caso dos dois primeiros. Temos um exemplo de um sensor em funcionamento, o modelo 350^a, da marca Minipa.

Figura 4 - Sensor de temperatura em funcionamento Minipa 350A



Fonte: Minipa do Brasil LTDA (2022)TEC

2.3 Transferência de calor

Segundo Bergman (2019), “transferência de calor (ou calor) é a energia térmica em trânsito em razão de uma diferença de temperatura no espaço”. Quando se tem uma diferença de temperatura em um meio ou entre dois ou mais meios, haverá, imperativamente, transferência de calor.

Sempre que dois sistemas com temperaturas diferentes entrarem em contato, ou sempre que houver um gradiente de temperatura dentro de um sistema, a energia será transferida. O calor flui ou é transferido de uma região de alta temperatura para uma de baixa temperatura. O processo pelo qual se efetua o transporte de energia é conhecido como transferência de calor. O calor, o objeto em trânsito, não pode ser diretamente observado ou medido. Entretanto, seus efeitos podem ser identificados e

quantificados através de medições e análises. O fluxo de calor, como o desempenho do trabalho, é um processo pelo qual a energia inicial de um sistema é alterada.

A principal dificuldade, de uma perspectiva de engenharia, é determinar a taxa de transferência de calor a uma determinada diferença de temperatura. Para estimar o custo, viabilidade e tamanho do equipamento necessário para transferir uma quantidade especificada de calor em determinado momento, deve ser feita uma análise de transferência de calor detalhada. O tamanho das caldeiras, aquecedores, resfriadores e trocadores de calor é determinado pela quantidade de calor a ser transmitida e pela velocidade na qual é transferida sob certas circunstâncias. O desempenho de peças de equipamentos como lâminas de turbina ou paredes de câmara de combustão depende de certas peças metálicas poderem ser resfriadas continuamente a uma taxa rápida para evitar superaquecimento e danos. Além da análise de transferência de calor, máquinas elétricas, transformadores e mancais devem ser projetados para evitar superaquecimento, a fim de evitar danos ao equipamento. Esses exemplos confirmam que muitos ramos da engenharia encontram problemas de transferência de calor, o que mostra a impossibilidade de serem resolvidos pelo raciocínio termodinâmico isoladamente, sendo necessária uma análise baseada na ciência de transferência de calor.

Há limitações sobre a forma como os fenômenos de transferência de calor podem ser descritos e quantificados. A fim de resolver um problema, certas suposições e idealizações devem ser feitas. Como não é possível descrever exatamente um fenômeno físico, algumas aproximações são necessárias para expressar o problema como uma equação que pode ser resolvida. Nos cálculos de circuitos elétricos, por exemplo, geralmente presume-se que os valores de resistências, capacitâncias e indutâncias são independentes da corrente que flui por eles. A simplificação da análise é alcançada através dessa suposição, mas em alguns casos os resultados podem ser severamente limitados em termos de precisão.

Para interpretar os resultados, é importante levar em consideração as idealizações, as aproximações e os pressupostos feitos no decorrer de uma análise. Há ocasiões em que dados insuficientes sobre as propriedades físicas de um material tornam impossível abordar um assunto. Nesses casos, são usadas estimativas de engenharia. Por exemplo, na concepção de peças de máquina para operação em temperaturas elevadas, pode ser necessário estimar o limite proporcional ou a tensão

de fadiga do material a partir de dados de baixa temperatura. O projetista deve aplicar um fator de segurança aos resultados de uma análise para garantir o funcionamento adequado de um determinado componente. As mesmas aproximações também são necessárias para problemas de transferência de calor. Com a seleção adequada das propriedades físicas médias, tais como condutividade térmica ou viscosidade, os cálculos podem ser simplificados sem introduzir erros significativos no resultado, mesmo que estas características mudem com a temperatura. Quando o calor flui de um fluido para uma parede, como em uma caldeira, uma película se forma continuamente e reduz o fluxo de calor. Portanto, para garantir o funcionamento satisfatório durante longo período de tempo, deve ser aplicado um fator de segurança que considere essa eventualidade.

Quando se torna necessário fazer suposição ou aproximação na solução de um problema, o engenheiro deve se basear na criatividade e em experiências anteriores. Não existem guias simples para problemas novos e inexplorados, e uma suposição válida para um problema pode ser equivocada em outro. Tentativas de fazer suposições ou aproximações sólidas na engenharia foram prejudicadas, entretanto, pelo primeiro requisito para uma compreensão física completa e abrangente do problema. No campo da transferência de calor, isso significa ter familiaridade com leis e mecanismos físicos de fluxo de calor, e também com as da mecânica dos fluidos, física e matemática.

Transferência de calor pode ser definida como a transmissão de energia de uma região para outra, como resultado de uma diferença de temperatura entre elas. Considerando que existem diferenças nas temperaturas de tudo sobre o universo, o fenômeno de fluxo de calor é tão universal quanto aqueles associados às atrações gravitacionais. Entretanto, ao contrário da gravidade, o fluxo de calor é governado não por uma relação única, mas por uma combinação de várias leis independentes da física.

2.3.1 Unidades

Antes de prosseguir com o desenvolvimento dos conceitos e dos princípios que regem a transmissão ou o fluxo de calor, é interessante rever as dimensões primárias e as unidades pelas quais suas variáveis descritivas são quantificadas. É importante não confundir os significados das unidades de termos e dimensões. Dimensões são conceitos básicos de medidas como comprimento, tempo e

temperatura. Por exemplo, a distância entre dois pontos é uma dimensão chamada comprimento. Unidades são meios de expressar dimensões numericamente, por exemplo, metro ou centímetro para comprimento; segundo ou hora para tempo. Antes de efetuar cálculos numéricos, as dimensões devem ser quantificadas por unidades.

Vários sistemas diferentes de unidades estão em uso em todo o mundo. O sistema *Systeme International d'Unites* (SI) foi adotado pela Organização Internacional de Normalização e é recomendado pela maioria das organizações nacionais de normalização dos EUA.

As unidades básicas do SI são para comprimento, massa, tempo e temperatura. Com as unidades fundamentais de metro, quilograma, segundo e Kelvin, as unidades para força e energia ou calor são unidades derivadas. Para quantificar o calor, sua taxa de transferência, seu fluxo e sua temperatura, as unidades utilizadas de acordo com a convenção internacional são dadas na Tabela 1. O joule (newton metro) é a única unidade de energia no SI, e o watt (joule por segundo) é a unidade correspondente de energia.

A unidade de temperatura do SI é o Kelvin, mas o uso da escala de temperatura em graus Celsius é considerado admissível. O Kelvin é baseado na escala termodinâmica: zero na escala em graus Celsius (0°C) corresponde à temperatura de congelamento da água é equivalente a 273,15 K na escala termodinâmica. Note, no entanto, que as diferenças de temperatura são numericamente equivalentes em K e $^{\circ}\text{C}$.

Tabela 1 - Unidades de medida

| Abreviatura | Grandeza | Unidade no SI | Unidade inglesa | Conversão |
|-------------|--------------------------------|----------------|--|--|
| Q | Quantidade de calor | J | Btu | $1 \text{ J} = 9,4787 \times 10^{-4} \text{ Btu}$ |
| \dot{Q} | Taxa de transferência de calor | W | Btu/h | $1 \text{ W} = 3,4123 \text{ Btu/h}$ |
| \dot{Q}'' | Fluxo de calor | W/m^2 | $\text{Btu}/(\text{h} \times \text{ft}^2)$ | $1 \text{ W/m}^2 = 0,3171 \text{ Btu}/(\text{h} \times \text{ft}^2)$ |
| T | Temperatura | K | $^{\circ}\text{R}$ | $1 \text{ K} = 1,8^{\circ}\text{R}$ |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

2.3.2 Modalidades

Segundo Kreith (2015), a literatura referente à transferência de calor geralmente reconhece três modalidades distintas de transmissão de calor: condução, convecção e irradiação.

A condução é a forma de transferência de calor que ocorre em uma substância estática devido única e exclusivamente a um gradiente de temperatura nela existente. Neste modo de transferência de calor, definimos a substância como estática para indicar que não há movimento relativo macroscópico entre seus constituintes. Por exemplo, uma barra de aço em temperatura ambiente pode ser recolhida com nossas mãos e uma de suas extremidades pode ser colocada em contato com uma braseira. Imediatamente, a temperatura dessa extremidade começará a se elevar e, com o tempo, a energia será transferida ao restante da barra até que atinja uma temperatura que impeça o toque das nossas mãos (ÇENGEL, 2020).

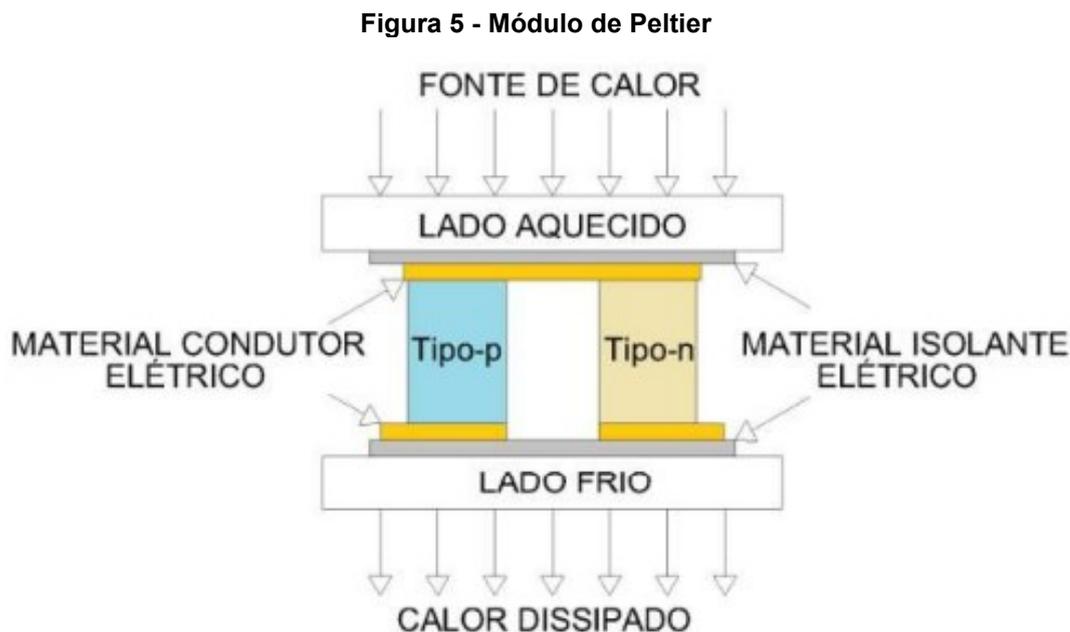
De acordo com Maliska (2004), a transferência de calor por convecção ocorre entre uma superfície e um fluido. A superfície externa da parede vertical de um forno doméstico, por exemplo, transfere calor convectivamente do forno para o ar. Quando o forno está em operação, a superfície tem uma temperatura mais alta do que o ambiente externo. Como resultado da temperatura mais alta do forno, o ar ambiente é aquecido, sua temperatura aumenta, sua massa volumétrica diminui, e sua massa diminui como resultado. Por conta disso, o ar flui verticalmente, resultando em um fluxo contínuo de ar. Este processo de transferência de calor convectivo é conhecido como convecção natural. O termo natural refere-se ao fato de que, nesse caso, o fluxo do fluido é causado pelo próprio processo de transferência de calor, sem qualquer ação externa. Consideremos, agora, que a parede do forno seja resfriada por uma corrente de ar criada por um meio não natural, por exemplo, pelo uso de um ventilador. Nesse caso, o processo de transferência de calor é denominado convecção forçada (COELHO, 2016).

Matéria em temperatura não nula emite energia por um mecanismo que ora pode ser tratado como emissão de ondas eletromagnéticas, ora como a emissão de fótons absorvidos pela sua vizinhança, o que é denominado como irradiação térmica. Notamos que a intensidade segundo a qual a energia é emitida pela matéria depende,

em essência, da sua temperatura, o que caracteriza a irradiação térmica como um processo de transferência de calor do corpo para a sua vizinhança. Esse fenômeno é facilmente percebido de diversas formas. Podemos notar a sua existência ao tomar sol na praia, e nesse caso, observaremos um processo em que estamos recebendo energia que chega a nós por meio de irradiação térmica. Podemos, também, aquecer uma barra de ferro e notar que, à medida que a sua temperatura se eleva, a sua superfície emite energia térmica de forma crescente, fazendo com que mude continuamente de cor. Como as superfícies do meio em que vivemos estão em temperatura não nula, elas estão continuamente emitindo energia e, como todas estão emitindo uma em presença da outra, todas estão também recebendo. Não podemos nos esquecer de que meios não sólidos, como os gases e vapores, também emitem e podem participar ativamente, ou não, de processos de transferência de calor por irradiação. Como esse processo se dá por ondas eletromagnéticas, não requer um meio material para ocorrer, sendo que, de fato, usualmente os meios materiais contribuem no sentido de dificultar o processo. As características da irradiação emitida por um corpo dependem da natureza da sua superfície e da sua temperatura. Assim, se uma barra de ferro aquecida está vermelha, significa que está emitindo luz visível predominantemente nos comprimentos de onda que nossos olhos veem como vermelho.

2.4 Módulo de Peltier

O Módulo Peltier é um dispositivo que utiliza a junção de dois materiais diferentes para gerar energia elétrica através da diferença de temperatura entre esses componentes. O dispositivo é quantificado pelo coeficiente Peltier, que representa a sensação de calor (ou frio) quando uma corrente elétrica passa por esses equipamentos. O módulo é composto por blocos de telureto de bismuto dopado tipo N e P montados em alternância entre duas placas com boa condutividade térmica, conforme ilustrado na Figura 5, o que faz com que todos os elementos conduzam o calor em uma única direção.

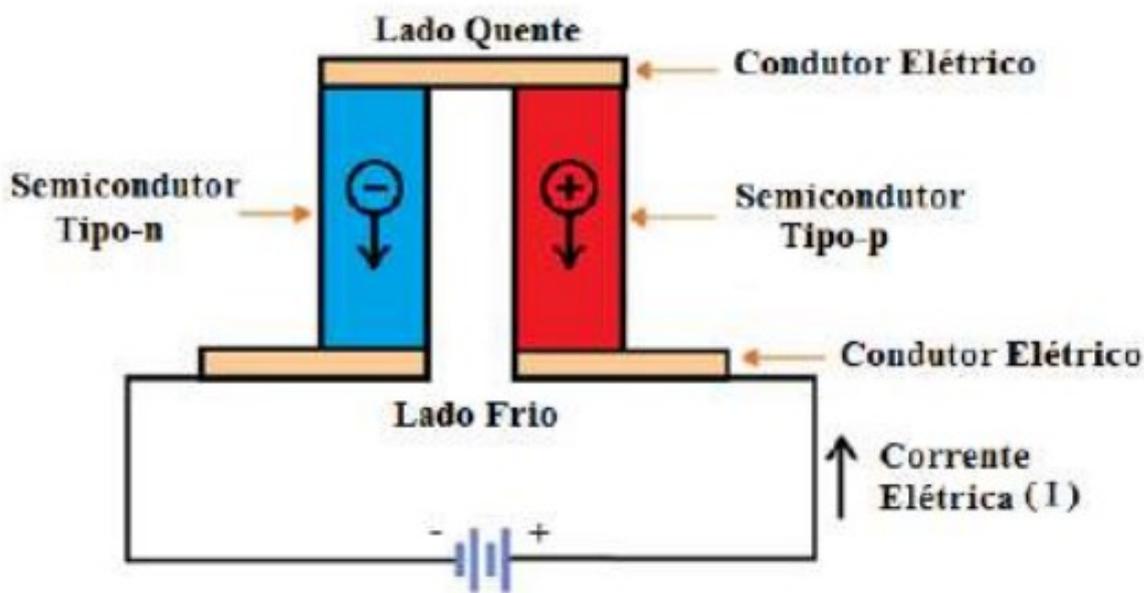


Fonte: Adaptado de Fachini et al. (2019)27 23

Para semicondutores, a dopagem é realizada de tal forma que o material pode conduzir eletricidade com mais facilidade, prevendo assim a formação de lacunas e a ocorrência de elétrons livres. A dopagem do tipo N envolve a introdução de um excesso de elétrons na estrutura cristalina dos materiais, enquanto o doping do tipo P envolve a incorporação de átomos com níveis deficientes de estados de valência de elétrons em relação àqueles encontrados em materiais semicondutores.

A Figura 6 ilustra o funcionamento de um módulo Peltier com elementos dopados P e N. A junção é aquecida de um lado, resfriada do outro, obtendo-se assim um gradiente de temperatura. Ambos os elétrons livres no elemento N se movem para sua parte fria enquanto os interstícios migram para seu ponto quente — ambas as ações fazem com que adquira polaridade negativa. Enquanto isso, os íons com carga positiva são acumulados em uma borda na parte fria devido a sua migração para lá, após o que dão origem a um campo elétrico interno que resulta na geração de tensão no Seebeck.

Figura 6 - Efeito Peltier



Fonte: Ando Junior (2014)

2.5 Inversores

Um inversor converte a corrente contínua em corrente alternada. Os inversores são necessários porque a energia gerada pelos módulos de Peltier que serão utilizados neste estudo é de caráter contínua, mas a maioria das aplicações só consegue usar corrente alternada (BALFOUR, 2016). O tamanho do inversor depende da potência contínua que irá converter, do pico estimado e de que tipo de forma de onda (quadrada, senoidal, senoidal modificada) a ser acomodada. Os módulos de Peltier que interagem com a rede precisam de inversores capazes de interagir com a rede de distribuição de energia elétrica.

Os inversores de onda senoidal pegam a eletricidade dos módulos de Peltier e a combinam em termos de frequência e tensão com a rede de distribuição de energia conectada. Isso permite que o inversor receba e envie energia para a rede.

2.6 Avaliação do projeto de investimento

De modo geral, os projetos devem criar valor, tendo retorno maior do que o custo do capital. O custo de estruturação e funcionamento do projeto deve ser inferior

aos fluxos de caixa que são produzidos durante toda a sua vida útil. O valor de um projeto não deve ser calculado apenas sobre os ativos que inclui, mas sobre os fluxos de caixa que é capaz de produzir. Quanto mais fluxos de caixa excederem os desembolsos, sejam eles operacionais, de investimento ou de financiamento, maior será o valor do projeto, pois produzirá mais riqueza.

O resultado de um projeto é medido com base na especulação de geração de fluxo de caixa. Se um projeto tem muitos ativos fixos incorporados e eles não geram fluxos de caixa, então seu emprego não agrega valor e conseqüentemente não é um empreendimento atraente.

Há vários métodos baseados em engenharia econômica que permitem essa verificação. Os métodos utilizados aqui serão o período de *payback*, que provê uma análise baseada em horizontes temporais de retorno, e a taxa de retorno sobre o investimento, que permite a avaliação através de taxas percentuais.

2.6.1 Retorno sobre o investimento

A eficiência ou rentabilidade de um investimento é calculada utilizando o retorno sobre o investimento (ROI). O ROI é uma das métricas mais amplamente utilizadas para avaliar a eficiência ou a rentabilidade de um investimento (INVESTOPEDIA, 2022). É uma métrica relativamente simples que permite uma ampla gama de aplicações, sendo amplamente utilizada devido à sua simplicidade e versatilidade. Também é empregada para medir o retorno de um determinado investimento em relação ao seu custo (INVESTOPEDIA, 2022). O ROI pode ser usado para quantificar a rentabilidade de um investimento em ações, o investimento de uma empresa na modernização de uma fábrica, ou uma transação imobiliária, entre outras coisas. Calculá-lo é simples e a interpretação não é difícil. Um investimento com um retorno líquido positivo é provável que valha a pena. Dessa forma, um investidor que procura um ROI maior pode eliminar ou selecionar as melhores opções, se elas estiverem disponíveis.

Para calcular o ROI, o benefício (ou retorno) de um investimento é dividido pelo custo do investimento, descrito pela equação 1. O resultado é expresso em porcentagem ou proporção.

$$ROI = \frac{\text{Retorno-Investimento}}{\text{Investimento}} \quad (1)$$

2.6.2 Período de *payback*

O período de *payback* de um investimento é o número de períodos necessários para que o investimento seja recuperado, como o nome sugere. O projeto deve recuperar o investimento através do recebimento de somas cumulativas de entradas de dinheiro. Quanto mais rápido o projeto recuperar o investimento, melhor será o resultado, pois será possível investir em outro projeto mais cedo (NETO, 2009).

Deve-se estipular um período máximo de retorno a fim de utilizar o período de retorno como uma medida de aceitabilidade do projeto. Este é o período necessário para que o investidor recupere os fundos investidos e servirá como base para a avaliação. Nenhum projeto de investimento será aceito se demorar mais do que o período máximo para gerar um retorno sobre o investimento. Por outro lado, um projeto com um período de retorno igual ou menor que o período máximo será aceito.

Há dois tipos básicos de períodos de *payback*: o período simples e o período descontado. O período de *payback* simples determina quanto tempo leva para recuperar o investimento sem levar em conta o valor do dinheiro em termos de tempo. Essa metodologia acumula os valores de entrada dos primeiros períodos até que o valor acumulado seja igual ao valor investido. Quando este ponto é alcançado, o período de *payback* é alcançado.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados em detalhes os aparatos envolvidos neste estudo, tais como o forno estudado, o sensor utilizado para a aquisição das amostras de temperatura e o módulo de Peltier empregado na geração de energia, além de todos os procedimentos desenvolvidos para realizar esse Trabalho de Conclusão de Curso.

3.1 Forno a lenha

O estabelecimento comercial escolhido como cenário para a realização desta análise de viabilidade conta com um forno a lenha construído conforme os padrões apresentados na seção 2.1, opera em ciclos de dez horas (das 16h às 2h) e tem dimensões de 2,1 m x 1,5 m na sua construção interna (Figura 7) e abertura de 0,50 m x 0,15 m (Figura 8).

Figura 7 - Interior do forno a lenha estudado



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Figura 8 - Boca do forno estudado

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

3.2 Sensor

O sensor utilizado para aquisição dos dados de temperatura foi o modelo MT-350A (Figura 9) da fabricante Minipa. Trata-se de um termômetro infravermelho “capaz de averiguar a temperatura de uma superfície pela energia infravermelha irradiada da superfície emissora”, conforme o próprio manual do equipamento.

Cada corpo emite radiação infravermelha em proporção à sua temperatura. O termômetro infravermelho detecta a energia infravermelha e depois a converte em uma leitura de temperatura e pode medir a temperatura de objetos opacos. A energia infravermelha é coletada pelo dispositivo óptico e processada pelos circuitos eletrônicos, que então produzem uma leitura de temperatura. O laser é usado exclusivamente para apontar para o alvo.

Figura 9 - Sensor MT-350A

Fonte: Minipa do Brasil LTDA. (2022)

A radiação infravermelha é uma fonte de luz que passa através do ar enquanto é facilmente absorvida por matéria sólida. Um termômetro de emissão que opera pela detecção da radiação infravermelha pode proporcionar uma medição precisa, independentemente da temperatura do ar.

Um sistema óptico direciona a radiação emitida por um objeto para um sensor de radiação infravermelha, que inclui uma lente transparente para a radiação infravermelha e um filtro de corte $5,3 \mu\text{m}$. O circuito eletrônico recebe a saída do sensor infravermelho juntamente com a saída de um sensor de temperatura padrão (uma termopilha). As demais especificações técnicas do sensor são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações técnicas do sensor MT-350A

| | |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Sistemas de Medição | Infravermelho |
| Display LCD | 3 1/2 Dígitos Coloridos |
| Iluminação | - |
| Faixas de Medição (Infravermelho) | -50 ~ 800 °C |
| Faixas de Medição (Termopar) | -40 ~ 1000 °C |
| Resolução | 0,1 °C/0,1 °F |
| Máx./Min./Méd./Difer. | Máx./Min./Méd. |
| Função Hi/Lo | - |
| Data Hold | - |
| Mudança de Faixa | Automática |
| Autodesligamento | - |
| Resposta Espectral | 8 ~ 14 um |
| Mira Laser | - (Circular) |
| Emissividade | Ajustável de 0,1 ~ 1,0 |
| Campo de Visão | 12:1 |
| Precisão Básica | 1,5% + 2 °C |
| Conformidade | Classe II |
| Alimentação | 1x9V |
| Dimensões (mm)/Peso (g) | 169x103x48/200 |
| Garantia | 12 meses |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

3.3 Módulo de Peltier

O módulo de Peltier selecionado foi o modelo TEG1-12611-6.0 (Figura 10) da fabricante *Thermoelectric Generator* (TEG), considerando que o dispositivo atente aos requisitos demandados pelo contexto deste estudo, especialmente a diferença de temperatura entre os lados quentes e frios, e o seu custo, aspecto fundamental no resultado da análise de viabilidade que será feita.

Figura 10 - Módulo de Peltier TEG1-12611-6.0



Fonte: Thermoelectric Generator (2014)

3.4 Procedimento de coleta de dados

O sensor foi utilizado para averiguar a temperatura do forno, em intervalos próximos de vinte e cinco minutos durante o horário de atividade do estabelecimento, em diferentes pontos.

Ao todo foram utilizados nove pontos de medição. Um deles, referente à água corrente aplicada ao lado frio do módulo de Peltier e os outros oito em diferentes locais a estrutura do forno. Desses oito, um está situado na fonte de calor, dois na chaminé e os cinco restantes em diferentes faces do “iglu” supramencionado. Nas Figuras 11 a 16, temos as imagens demonstrando fisicamente os pontos das medições.

Na Figura 11, temos dois pontos indicados através de um “xis” em vermelho. A indicação superior mostra o ponto denominado “ponto na parede da frente do forno” e a indicação inferior corresponde ao ponto denominado “ponto na boca do forno”, indicando a base da abertura onde a medição foi realizada.

Figura 11 – Ponto na parede da frente do forno e ponto na boca do forno



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

A Figura 12 mostra em mais detalhes a parte interior do forno, onde também foi realizada a medição sobre a fonte de calor, denominado “ponto do meio do forno”.

Figura 12 - Ponto no meio do forno



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

A Figura 13 mostra a chaminé for forno, com um “xis” vermelho indicando o ponto de medição denominado “ponto na chaminé”, que corresponde a um ponto na chaminé na extremidade mais afastada do forno, ou seja, próximo à abertura externa.

Figura 13 - Ponto na chaminé (saída da pizzaria)



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Na Figura 14, podemos observar outros dois pontos de medição. Um deles, indicado por um “xis” vermelho, corresponde ao “ponto na parede lateral”. Já o outro ponto de medição está indicado por uma seta vermelha, que corresponde ao “ponto na chaminé”, isto é, um ponto que, assim como o ponto mostrada na Figura 13, está localizado na chaminé do forno, mas na extremidade contrária, próxima ao forno e não à abertura externa.

Figura 14 - Ponto na chaminé (saída do forno) e ponto na parede lateral



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

A Figura 15 mostra a parte superior do forno. Vale ressaltar que há dois pontos de medição nesta região do forno. Conforme descrito na seção 2.1, a parte superior dos fornos a lenha tem diversas camadas de isolamento, entre elas uma denominada lã de rocha. Para efeitos de comparação e análise, realizamos medições em ambas as faces deste isolamento de lã de rocha. O ambiente de medição indicado na Figura 15 corresponde ao espaço acima do isolamento da lã rocha.

Figura 15 - Ponto no topo do forno (sobre a lã de rocha)



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Já Figura 16, temos indicado um ponto de difícil acesso, porém de grande importância para este estudo, que, assim como na Figura 15, é a parte superior do forno, porém abaixo do isolamento de lã de rocha.

Figura 16 - Ponto no topo do forno (entre a lã de rocha e outros isolamentos)



Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

A partir da coleta de dados será possível identificar o melhor ponto a instalação dos módulos de Peltier e, ao comparar a capacidade de geração de energia deste dispositivo com a demanda do estabelecimento comercial, será possível dimensionar o sistema, orçar o custo da sua implementação e realizar a análise financeira para avaliar a sua viabilidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Dados obtidos da medição de temperatura do forno a lenha

Na Tabela 3, temos os dados de temperatura obtidos em horário de funcionamento do forno a lenha em diferentes pontos buscando, encontrar os melhores pontos para a instalação do módulo de Peltier usando o sensor de temperatura a laser modelo Minipa MT-350A.

Tabela 3 - Obtenção da temperatura do forno a lenha em diferentes pontos

| HORA LOCAL | PAREDE FRENTE DO FORNO | BOCA DO FORNO | MEIO DO FORNO | CHAMINÉ (SAÍDA FORNO) | CHAMINÉ (SAÍDA PIZZARIA) | PAREDE LATERAL | TOPO DO FORNO (SOBRE A LÃ DE ROCHA) | TOPO DO FORNO (ENTRE LÃ DE ROCHA E OUTROS ISOLAMENTOS) | ÁGUA |
|------------|------------------------|---------------|---------------|-----------------------|--------------------------|----------------|-------------------------------------|--|------|
| 16:20 | 45,20 | 103,60 | 415,7 | 33,8 | 55,5 | 38,2 | 52,5 | 91,7 | 20,1 |
| 16:45 | 49,7 | 112,6 | 470,3 | 35,9 | 56,7 | 38,7 | 55,1 | 97,2 | 20,1 |
| 17:10 | 54,00 | 120 | 553,7 | 40 | 58 | 40,1 | 58,4 | 101,3 | 20,2 |
| 17:25 | 54,5 | 160 | 669,6 | 47 | 75 | 42,3 | 65,3 | 107,6 | 20,5 |
| 17:45 | 54,6 | 199,7 | 688,1 | 55 | 81 | 45,7 | 69,7 | 109,9 | 21,1 |
| 18:10 | 64,2 | 172,6 | 633,5 | 41,5 | 78 | 52,4 | 71,6 | 113,1 | 22,7 |
| 18:40 | 68,1 | 201,7 | 630,2 | 45,2 | 72,5 | 49,6 | 70,7 | 115,2 | 23,2 |
| 19:10 | 70,2 | 190,3 | 620,3 | 43,1 | 70,7 | 49,1 | 73,4 | 117,4 | 22,3 |
| 19:40 | 73,1 | 181,8 | 655,8 | 45,1 | 69,0 | 49,4 | 79,6 | 115,5 | 22 |
| 20:10 | 87 | 178,5 | 648,9 | 40,7 | 68,7 | 50,5 | 81,3 | 118,3 | 21,7 |
| 20:40 | 88,2 | 208,5 | 614,8 | 45,6 | 78,3 | 51 | 70,9 | 108,4 | 23,5 |
| 21:10 | 90,3 | 190,5 | 632,5 | 47,0 | 77,1 | 63 | 75,1 | 112,5 | 22,8 |
| 21:40 | 86,6 | 186,2 | 601,7 | 44,0 | 73,7 | 51,5 | 69,4 | 108,8 | 24,2 |
| 22:10 | 88,1 | 206,7 | 655,2 | 47,9 | 77,2 | 57,3 | 70,5 | 107,9 | 21 |
| 22:40 | 90,3 | 207,2 | 686 | 46,4 | 69,0 | 57,1 | 67,4 | 104,3 | 23,3 |
| 23:10 | 89,6 | 202,3 | 609,8 | 44,1 | 71,8 | 58,2 | 68,9 | 105,1 | 23,9 |
| 23:40 | 82,5 | 185,5 | 585,9 | 47,5 | 66,7 | 52,9 | 67,7 | 108,2 | 23,3 |
| 00:10 | 84,5 | 193,4 | 599,7 | 45,1 | 68,1 | 54,9 | 66 | 103,0 | 21,7 |
| 00:40 | 84,1 | 189,8 | 583,2 | 44,6 | 67,2 | 54,2 | 63,1 | 105,1 | 21,4 |
| 01:10 | 83,9 | 185,6 | 574,1 | 42,5 | 66,8 | 53 | 58,6 | 97,6 | 20 |
| 01:40 | 80,4 | 173,8 | 563,8 | 38,8 | 62,2 | 52,5 | 58,4 | 99,7 | 19,7 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Após os dados obtidos também calculamos as áreas disponíveis, em cada ponto em que as placas de módulo de Peltier poderiam ser instaladas, utilizando-se da fórmula da área de retângulo expressa pela equação 2, sendo que todos os pontos podem ser representados por um retângulo:

$$\text{Área} = \text{Base} \times \text{Largura} \quad (2)$$

Na Tabela 4 podemos ver a relação da temperatura média lida em cada ponto, o valor do delta de temperatura em relação a água, que atua como seu líquido refrigerante do módulo de Peltier, e a área disponível para instalação dos módulos.

Tabela 4 - Temperaturas médias por área disponível

| TEMPERATURAS MEDIAS / ÁREA DISPONIVEL | | | |
|--|-------------------------------|---|---------------------------------|
| Local | Temperatura Média lida | Delta Temperatura em relação a água (Lado refrigerante do módulo de Peltier) | Área Disponível (b x l) |
| Parede Frente | 74,71 | 52,87 | 0,14m ² |
| Boca do Forno | 178,58 | 156,74 | 0,20m ² |
| Meio do forno | 604,42 | 582,58 | N/A (Delta maior que 300°C) |
| Chaminé Saída forno | 43,84 | 22 | 0,15m ² |
| Chaminé Saída Pizzaria | 69,67 | 47,83 | 0,20m ² |
| Parede Lateral | 50,55 | 28,71 | 1,56m ² |
| Teto Forno (sobre a lã de rocha) | 67,31 | 45,47 | 3,15m ² |
| Teto Forno (Entre lã de rocha / isolamento) | 107,03 | 85,19 | 3,15m ² |
| Temperatura Água | 21,84 | 0 | N/A |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Podemos notar que o local com mais área disponível e com o delta mais propício é o local “Teto Forno – Embaixo da Lã-de-rocha”, será este Delta de temperatura que usaremos para dimensionar o conjunto de placas de Peltier. Para o resfriamento do lado frio destas placas, vamos supor que a água corrente da pizzaria seja usada, se aproveitando da caixa d’água e um desvio fazendo toda água passar por esse caminho através de uma serpentina, resfriando e mantendo a temperatura do lado frio na mesma temperatura da água, também se aproveitando do alto consumo de água e do tamanho relativamente grande da caixa d’água.

4.2 Análise do consumo de energia elétrica

Utilizando as faturas de energia elétrica da pizzaria dos meses anteriores, é possível obter o valor do consumo médio diário e por hora e a partir dele, obtermos uma média do valor por hora utilizando a equação 3:

$$\text{Consumo (kWh)} = \text{Potência (kW)} * \text{Tempo(h)} \quad (3)$$

A partir dos cálculos a cada mês, e da equação 3, montamos a tabela 5 com o cálculo dos valores médios do histórico de consumo do ano de 2021 a 2022.

Com os valores da tabela, podemos ter uma média de kWh mensal gasto e o custo médio por kWh. Com esses valores em mente, e com o método definido, precisamos quantificar o consumo elétrico total. Aqui iremos considerar que alimentaremos aproximadamente 50% da potência total da pizzaria, buscando excluir equipamentos de grande porte como geladeiras/freezer no horário de funcionamento do estabelecimento.

Tabela 5 - Cálculo dos valores médios do histórico de consumo

| HISTÓRICO DE CONSUMO ELÉTRICO | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| MÊS/ANO | VALOR DA FATURA (R\$) | CONSUMO MENSAL (kWh) | VALOR POR kWh MÉDIO | CONSUMO MÉDIO DIÁRIO (KWh/dia) | CONSUMO MÉDIO POR HORA (kW) |
| fev/22 | 2392,83 | 1420,00 | R\$ 1,69 | 47 | 1,97 |
| jan/22 | 3073,92 | 1839,00 | R\$ 1,67 | 61 | 2,55 |
| dez/21 | 2355,63 | 1387,00 | R\$ 1,70 | 46 | 1,93 |
| nov/21 | 2550,99 | 1535,00 | R\$ 1,66 | 51 | 2,13 |
| out/21 | 2445,52 | 1506,00 | R\$ 1,62 | 50 | 2,09 |
| set/21 | 2048,68 | 1324,00 | R\$ 1,55 | 44 | 1,84 |
| ago/21 | 1977,32 | 1305,00 | R\$ 1,52 | 44 | 1,81 |
| jul/21 | 2024,35 | 1442,00 | R\$ 1,40 | 48 | 2,00 |
| jun/21 | 1802,93 | 1390,00 | R\$ 1,30 | 46 | 1,93 |
| mai/21 | 2074,22 | 1693,00 | R\$ 1,23 | 56 | 2,35 |
| abr/21 | 1775,24 | 1415,00 | R\$ 1,25 | 47 | 1,97 |
| mar/21 | 1656,50 | 1309,00 | R\$ 1,27 | 44 | 1,82 |
| TOTAL: | 2181,51 | 1463,75 | R\$ 1,49 | 49 | 2,03 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Então notamos que o kW médio é de 2,03 kW e 50% da potência demandada seria de aproximadamente 1,015 kW.

A Tabela 6 mostra os tipos de equipamento, seus valores de potência nominal, volume, nível de tensão, potência nominal trifásica e potência máxima. Todos os dados foram coletados a partir de visitas ao local e manuais técnicos. O fator de potência foi ajustado para 1 para todos os equipamentos listados.

Tabela 6 – Tabela com os valores estimados de carga da pizzaria

| CARGA | QUANTIDADE | POTÊNCIA (W) | POTÊNCIA TOTAL (W) | TENSÃO (V) | FATOR DE SIMULTANEIDADE | POTÊNCIA TOTAL (VA) |
|--------------------|------------|--------------|--------------------|------------|-------------------------|---------------------|
| FREEZER VERTICAL | 1,00 | 300,00 | 300,00 | 127 | 1,00 | 300 |
| FREEZER HORIZONTAL | 1,00 | 300,00 | 300,00 | 127 | 1,00 | 300 |
| GELADEIRA DUPLEX | 1,00 | 250,00 | 250,00 | 127 | 1,00 | 250 |
| ILUMINAÇÃO | 50,00 | 9,00 | 450,00 | 127 | 1,00 | 450 |
| VENTILADOR | 3,00 | 100,00 | 300,00 | 127 | 0,50 | 150 |
| TV | 1,00 | 90,00 | 90,00 | 127 | 1,00 | 90 |
| COMPUTADOR | 4,00 | 300,00 | 1200,00 | 127 | 0,75 | 900 |
| MICROONDAS | 1,00 | 820,00 | 820,00 | 127 | 0,85 | 697 |
| CÂMERAS | 10,00 | 15,00 | 150,00 | 127 | 1,00 | 150 |
| TOTAL | | | 3860 | | | 3287 |

Fonte: Confeccionadas pelos próprios discentes (2022)

4.3 Dimensionamento

Já tendo obtido os dados sobre as temperaturas que serão aplicadas em ambos os lados dos módulos de Peltier e a quantidade de energia elétrica a ser gerada para suprir a necessidade do problema do proposto, é possível, agora, valer-se destas informações para dimensionar os equipamentos necessários.

4.3.1 Definição de potência necessária das placas de Peltier

Para obtermos a potência fornecida pelo conjunto de Peltier, temos que determinar quantas placas de Peltier iremos utilizar para cada delta de temperatura.

Como iremos utilizar um inversor CC-CA, temos que considerar a eficiência do gerador no cálculo do número de placas, então iremos utilizar a potência de 1,015 kW dividido sobre a eficiência comum de um inversor desse tipo que seria de aproximadamente $n=90\%$ de acordo com as especificações do conversor tomado como exemplo e demonstradas na equação 4.

$$Potência = \frac{Potência}{n} = 1128W \quad (4)$$

De acordo com a Tabela 7, temos a potência útil gerada por cada placa do Módulo de Peltier correlacionada ao delta de temperatura:

Tabela 7 - Valores do módulo de Peltier à pressão constante

| Resultados para a caracterização do TEG à pressão constante | | |
|--|-----------------|----------------|
| ΔT [°C] | Vout [V] | Pout[W] |
| 30 | 0,259 | 0,08 |
| 60 | 0,488 | 0,36 |
| 90 | 0,767 | 0,82 |
| 110 | 1,002 | 1,78 |
| 140 | 1,043 | 2,77 |
| 170 | 1,543 | 4,21 |
| 200 | 1,748 | 5,41 |
| 230 | 2,34 | 7,07 |

Fonte: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16318/1/PG_DAMEC_2019_1_8.pdf
(2022)

E com os valores dessa Tabela 8, podemos correlacionar a potência útil necessária com o número de placas necessários para suprir uma potência demandada pelo inversor de 1,128 kW.

Tabela 8 – Correlação de Delta e potência com o número de placas do módulo de Peltier necessárias para uma carga de 1128 W

| Potência Útil gerada por diferença de temperatura para uma carga de 1128W | | | |
|--|-----------------|----------------|---------------------|
| Delta Temperatura | Pout [W] | Vout[V] | Nº de Placas |
| 30 | 0,08 | 0,2590 | 14100 |
| 60 | 0,36 | 0,4880 | 3133 |

| Delta Temperatura | Pout [W] | Vout[V] | Nº de Placas |
|-------------------|----------|---------|--------------|
| 85 | 0,746 | 0,7223 | 1513 |
| 90 | 0,82 | 0,7670 | 1376 |
| 110 | 1,78 | 1,0020 | 634 |
| 140 | 2,77 | 1,0430 | 407 |
| 170 | 4,21 | 1,5430 | 268 |
| 200 | 5,41 | 1,7480 | 209 |
| 230 | 7,07 | 2,3400 | 160 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

4.3.2 Inversor conversor de potência CC-CA

Utilizaremos, para fins de estudo, o inversor conversor de potência veicular de potência de 1 kW (Figura 17) com tensões de entrada e saída de 12 V e 110 V, respectivamente, seguindo o modelo e instalação elétrica existente. Esse inversor possui eficiência de 90% e necessita de uma tensão mínima de entrada de 10,7 V para funcionar corretamente.

Figura 17 - Inversor de potência veicular Leboss 1kW



Fonte: <https://www.amazon.com.br/dp/B07H4YP1G4?> (2022)

4.4 Análise financeira

Uma vez realizada, na seção anterior, a análise técnica para dimensionar os requisitos do sistema, realizaremos a análise de viabilidade financeira do sistema, considerando os parâmetros obtidos anteriormente, isto é, um delta de temperatura de 85°C e necessidade de 1513 módulos de Peltier.

4.4.1 Custo de aquisição do sistema

Para a aquisição desse sistema o orçamento incluindo o custo de instalação segue, conforme Tabela 9.

Tabela 9 - Orçamento para o ponto de delta de temperatura igual a 85°C

| CUSTO DE GERADOR E INSTALAÇÃO | | | |
|-------------------------------|---|-------------|---------------|
| Qtd | Material | Preço Unit. | Total |
| 2 | INVERSOR DE POTÊNCIA CC-CA 1KW 12/110 | R\$250,00 | R\$500,00 |
| 1513 | MÓDULO DE PELTIER TEG1-12611-6.0 | R\$201,00 | R\$304.000,00 |
| 1 | SERPENTINA RESFRIAMENTO AR-CONDICIONADO | R\$800,00 | R\$800,00 |
| - | Cabos elétricos e conexões hidráulicas | R\$500,00 | R\$500,00 |
| - | MISCELANEAS | R\$450,00 | R\$450,00 |
| - | MÃO DE OBRA | R\$2.000,00 | R\$2.000,00 |
| | | TOTAL | R\$308.250,00 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

4.4.2 Prazo do retorno do investimento (*payback*)

Desprezando o aumento do custo da energia elétrica ao decorrer do tempo, podemos fazer o cálculo simples do tempo de retorno sobre o valor investido. Por ano, temos um valor médio economizado de R\$ 1.090,75 por mês, que corresponde a 50% do consumo. Logo calculando o custo do investimento e o valor economizado anualmente, temos uma simulação do nosso *payback* na tabela 10:

Tabela 10 - Gasto anual atual versus economia

| RESULTADOS | | | | |
|----------------------|---------------------|--|--|---------------------------|
| Período | Consumo Anual (kWh) | Gasto Elétrico sem reaproveitador Gasto Anual | Consumo Elétrico com reaproveitador Gasto Anual | Economia Anual Aproximada |
| maio/2021 a fev/2022 | 17565 | R\$ 26.178,12 | R\$ 13.089,06 | R\$ 13.089,06 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Com o valor da economia anual, podemos calcular o *payback* do custo do investimento do reaproveitador utilizando a equação 5 abaixo:

$$\text{Payback (anos)} = \frac{\text{Investimento Total}}{\text{Economia ou Lucro Líquido}} \quad (5)$$

Considerando a economia gerada anual, podemos estimar um *payback* de aproximadamente 23 anos e 6 meses no ponto escolhido onde o delta de temperatura é de 85°C.

4.4.3 Período de ROI

A Pizzaria tem aproximadamente 20 anos e na Tabela 11 temos vários valores do ROI em diferentes períodos para avaliarmos o possível retorno sobre o investimento.

Tabela 11 - ROI ao longo do tempo

| Anos | Custo do Investimento - Economia | ROI (%) |
|------|----------------------------------|---------|
| 1 | 295.160,94 | -95,75 |
| 2 | 282.071,88 | -91,51 |
| 5 | 242.804,70 | -78,77 |
| 8 | 203.537,52 | -66,03 |
| 10 | 177.359,40 | -57,54 |
| 15 | 111.914,10 | -36,31 |
| 20 | 46.468,80 | -15,08 |
| 25 | -18.976,50 | 6,16 |
| 30 | -84.421,80 | 27,39 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

4.5 Soluções alternativas

A fim de melhorar o resultado financeiro do sistema, é possível explorar outras soluções, como variar parâmetros do sistema, tais como a quantidade de placas e a diferença de temperatura, ou ainda utilizar a energia gerada para alimentar outras redes independentes.

4.5.1 Alimentação de estações de carregamento USB

Uma ótima opção de sistema a ser alimentado, além da iluminação, seria a instalação de estações de carregamento USB nas mesas do estabelecimento, oferecendo aos clientes a possibilidade de carregar *smartphones* e outros dispositivos. Nos dias de hoje, como aumento do uso de telefones celulares, esse recurso é cada vez mais necessário em todos os estabelecimentos comerciais e pode constituir um diferencial de mercado frente a pizzarias concorrentes.

Uma entrada USB comum, de modo geral, tem 5 W de potência. Considerando a mesma diferença de temperatura de 85°C, onde cada módulo de Peltier gera 0,7223 W, seriam necessários 7 módulos para alimentar uma entrada USB.

O estabelecimento avaliado possui capacidade para 32 pessoas. Considerando um uso simultâneo das estações de carregamento por 50% da capacidade total do estabelecimento, serão necessários 84 módulos em um investimento de aproximadamente 18 mil reais.

Isto é, com uma quantidade de módulos – e, conseqüentemente, um custo – consideravelmente menor é possível instalar um sistema que alimentará as estações de carregamento, constituindo um atrativo para os clientes e um adicional de mercado, sem aumento no valor da conta de energia elétrica permanentemente.

4.5.2 Simulação com outros valores para o delta de temperatura

Uma das possibilidades para diminuir o tempo de *payback* seria aumentar a eficiência do sistema, teríamos algumas formas de implementar as melhorias. Entre elas, poderíamos buscar um ponto para instalação dos módulos mais interno ao

sistema de isolamento onde a temperatura do lado quente seria mais alta próxima dos 200°C, e fazer o oposto para o lado mais frio, buscando um meio mais refrigerante do que a água corrente na pizzaria buscando temperaturas próximas de 0°C.

Na tabela 12 temos diferentes cálculos de *payback* e custo do investimento para diferentes deltas de temperatura, em que podemos avaliar o mesmo sistema em diferentes cenários.

Tabela 12 - Resultado para outros deltas de temperatura

| RESULTADOS | | | | | |
|-------------------------|------------|-------------------------------------|-------------------------------|----------------------|----------------|
| Nº de Placas de Peltier | Delta (°C) | Consumo Elétrico sem reaproveitador | Custo do reaproveitador (R\$) | Economia Anual (R\$) | Payback (anos) |
| 14100 | 30 | 26178,12 | 2.838.100,00 | 13.089,06 | 216,83 |
| 3133 | 60 | 26178,12 | 633.733,00 | 13.089,06 | 48,42 |
| 1513 | 85 | 26178,12 | 308.113,00 | 13.089,06 | 23,54 |
| 1376 | 90 | 26178,12 | 280.576,00 | 13.089,06 | 21,44 |
| 634 | 110 | 26178,12 | 131.434,00 | 13.089,06 | 10,04 |
| 407 | 140 | 26178,12 | 85.807,00 | 13.089,06 | 6,56 |
| 268 | 170 | 26178,12 | 57.868,00 | 13.089,06 | 4,42 |
| 209 | 200 | 26178,12 | 46.009,00 | 13.089,06 | 3,52 |
| 160 | 230 | 26178,12 | 36.160,00 | 13.089,06 | 2,76 |

Fonte: Confeccionada pelos próprios discentes (2022)

Podemos notar que conforme o delta aumenta, temos um *payback* exponencialmente menor, no caso específico da pizzaria notamos que o período para obter o *payback* no ponto escolhido é muito alto, porém se conseguirmos adaptar um ponto em que o delta fosse maior, conseguiríamos reduzir drasticamente esse tempo de retorno.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em meio à situação econômica crítica do país e a um mercado cada vez mais competitivo, quaisquer artifícios que resultem em economia de energia tornam-se relevantes para a maior parte das pessoas e das empresas. Portanto, buscar a reutilização da energia do forno a lenha deve ser estudada e avaliada em sua essência. A pesquisa atual se concentrou em uma pizzaria de médio porte na região central de Curitiba, que poderia se beneficiar do uso dos módulos Peltier, como cliente comercial de baixa potência.

Foi realizado um estudo completo sobre os módulos Peltier, suas aplicações, modos de operação, métodos de dimensionamento e generalidades. A capacidade do grupo para gerar eletricidade e o que está disponível no mercado foram verificados nestes estudos.

Com base nesse estudo e em um levantamento específico para suprir 50% da potência demandada, de 1128 kW pelo inversor, e 1015 kW para as cargas da pizzaria, assim como seus horários de funcionamento e as especificações técnicas dos equipamentos instalados, realizou-se o dimensionamento para o delta de 85°C no ponto escolhido, o qual requer aproximadamente 1513 unidades dos Módulos de Peltier e o Inversor de Potência adequado para a aplicação, que atende às necessidades do cliente.

Um inversor de potência veicular da marca Leboss de 1 kW CC-CA com entrada de até 12V e saída de 127V foi escolhido como exemplo para o estudo financeiro e, então, foram feitas cotações com possíveis fornecedores.

Para determinar a viabilidade financeira do projeto, a análise econômica dos dados históricos sobre o consumo de energia da pizzaria foi realizada utilizando contas de energia, bem como entrevistas com o gerente sobre o horário de funcionamento do equipamento. O forno a lenha gerou energia, que foi então reutilizada para determinar o potencial de economia. Foi necessária uma análise cuidadosa para garantir que todos os custos do projeto fossem considerados do ponto de vista econômico, a fim de gerar resultados financeiros confiáveis.

Comparando os custos vinculados à porção de maior custo do sistema será o número de placas de Peltier. Para o local escolhido onde o delta de temperatura é de aproximadamente 85°C foi possível notar que existe uma economia anual no valor de

R\$13.089,06, entretanto o custo da instalação do sistema completo exige um empenho financeiro de R\$ 308.250,00, enquanto o retorno do investimento é de aproximadamente 23 anos e meio, o que torna o sistema inviável em comparação com outros, como, por exemplo, os fotovoltaicos que levam em torno de 4 a 5 anos para obter o retorno do investimento.

É importante ressaltar que, caso conseguíssemos adotar um ponto diferente, em que o delta de temperatura fosse acima de 140°C, conseguimos um *payback* igual ou melhor que outros sistemas sustentáveis ou de reaproveitamento para pequenos comércios. Ainda não existem muitos estudos a respeito de manutenção ou depreciação dessas placas, o que dificulta o cálculo de depreciação e manutenção.

O uso das placas Peltier foi considerado impraticável em determinado cenário, principalmente devido ao alto preço dos insumos, que representou a maior parte das despesas, e ao alto custo do investimento inicial, que não proporcionaria um retorno em tempo razoável. No entanto, postulamos que outros casos ou aplicações poderiam ser viáveis após o devido estudo.

Como exemplo para próximos estudos, temos:

- A possibilidade de considerar um ponto com dimensão apropriada e onde possa obter um delta de temperatura maior, proporcionando uma redução do ROI, assim como do seu custo inicial;
- Outros modos de geração de energia distribuída reaproveitável, como energia solar ou eólica ou até mesmo usando os módulos de Peltier em um cenário em que exista uma maior refrigeração no lado frio buscando menores temperaturas e um ponto onde conseguiríamos uma temperatura maior para atribuir ao lado quente, buscando então o maior delta de temperatura possível para o sistema, podendo vir a ser mais sustentáveis ou mais econômicas.

Conclui-se, então, que o reaproveitamento energético utilizando os módulos de Peltier geram economia, entretanto, a aplicação desses insumos com a aquisição de alto custo pode não ser viável para muitos estabelecimentos comerciais de pequeno porte, devido ao ponto escolhido demandar um tempo de retorno sobre o investimento muito longo. Ainda assim, é possível reaproveitar o calor gerado de outras maneiras, seja para alimentar cargas menores ou para aquecer a água que será utilizada no estabelecimento.

A melhor solução para este problema, no entanto, seria aumentar a diferença de temperatura entre o lado frio e o lado quente do módulo de Peltier, o que é possível, pois o forno gera temperatura bem maiores do que as utilizadas. No entanto, o principal empecilho para isso é a necessidade de perfurar a estrutura do forno para posicionar as placas mais próximas à fonte de calor. Considerando um cenário diferente como, por exemplo, de uma nova pizzeria ou de um novo forno sendo construído, realizar a instalação destes módulos em ponto que proporcione uma diferença maior de temperatura torna-se muito mais aplicável.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Pedro. THOMAZINI, Daniel. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações**. Editora Saraiva, 2011. 9788536520261. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520261/>. Acesso em: 2021 ago. 17.

BALBINOT, A. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas** - Vol. 1. Grupo GEN, 2019. 9788521635864. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635864/>. Acesso em: 2021 ago. 17.

BALFOUR, John. **Introdução ao Projeto de Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016. 9788521635314. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635314/>. Acesso em: 03 de maio de 2022.

BERGMAN, L. T. **Incropera - Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Disponível em: Minha Biblioteca, (8th edição). Grupo GEN, 2019.

CANAL SOLAR, 2019. **Em quanto tempo o sistema solar retorna o investimento?**. Disponível em: <https://canalsolar.com.br/em-quanto-tempo-o-sistema-solar-retorna-o-investimento/>. Acesso em 18 de maio de 2022.

CESP, Jorge. SANTOS, Ederson. **Deteção de fuga a terra em sistemas de corrente contínua**. Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Detecc%CC%A7a%CC%83o-de-fuga-a-terra-em-sistemas-de-corren-te-continua.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2022.

COELHO, João Carlos M. **Energia e Fluidos: Transferência de calor**. Disponível em: Minha Biblioteca, (3rd edição). Editora Blucher, 2018.

COELHO, João Carlos M. **Energia e Fluidos: Transferência de calor**. Disponível em: https://issuu.com/editorablucher/docs/issuu_53f6aa01232c9f . Grupo Blucher, 2016.

ÇENGEL, Yunus A. **Transferência de Calor e Massa: Uma Abordagem Prática**. Disponível em: Minha Biblioteca, (4th edição). Grupo A, 2020.

ECOMANDA. **Forno a Lenha - Manual**. 2020. Disponível em: <http://ecomanda.com.br/blog/forno-a-lenha-manual>. Acesso em: 2021 ago. 17.

FAZ FÁCIL. **Forno a Lenha Caipira: Como Construir um Bom Forno**. 2018. Disponível em: <https://www.fazfacil.com.br/reforma-construcao/como-construir-forno-lenha/>. Acesso em: 2021 ago. 17.

FERNANDO, Jason 2022. **Return on Investment (ROI)**. Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp#toc-what-is-return-on-investment-roi/>. Acesso em 01 de junho de 2022.

FRAGOSO, Cássio. STELLA, Letícia. **Estudo de viabilidade da implementação de um grupo motor gerador a diesel em horário de pico em um consumidor comercial de baixa potência aliado a tarifa branca.** Orientador: Profº Me. Marcelo Barcik. 2018. 62 f. TCC (Graduação) – Engenharia de Controle e Automação, Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/8242/>. Acesso em 2 de maio de 2022.

HAMBERGER, Paula. **Comportamento Inovativo das pequenas e médias empresas industriais brasileiras: Uma análise em nível de firma.** Disponível em: <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/Detecc%CC%A7a%CC%83o-de-fuga-a-terra-em-sistemas-de-corren-te-continua.pdf>. Acesso em: 13 de maio de 2022.

KREITH, Frank, et al. **Princípios de transferência de calor** - Tradução da 7ª edição norte-americana. Disponível em: Minha Biblioteca, (2nd edição). Cengage Learning Brasil, 2015.

MACHADO, Pedro. **Investigação experimental do uso de gerador termoelétrico para conversão de energia térmica em energia elétrica por meio efeito Seebeck.** Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16318/1/PG_DAMEC_2019_1_8.pdf. Acesso em 14 de maio de 2022.

MALISKA, Raimundo C. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**, 2ª edição. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2004.

NETO, Jocildo C. **Elaboração E Avaliação De Projetos De Investimento.** Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2009. 9788595155251. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595155251/>. Acesso em: 03 de maio de 2022.

SOLAR PRIME, 2019. **Aprenda a calcular o ROI de energia solar.** Disponível em: <https://solarprime.com.br/aprenda-calcular-o-roi-de-energia-solar/>. Acesso em 18 de maio de 2022.

THOMAZINI, D.; Albuquerque, P.U.B. D. **Sensores Industriais - Fundamentos e Aplicações.** Editora Saraiva, 2011. 9788536520261. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536520261/>. Acesso em: 2021 ago. 17.

WELTY. R. J. et al. **Fundamentos de Transferência de Momento, de Calor e de Massa**, 6ª edição. Disponível em: Minha Biblioteca, Grupo GEN, 2017.
MACHADO, Pedro Leineker Ochoski. **Investigação experimental do uso de gerador termoelétrico para conversão de energia térmica em energia elétrica por meio efeito Seebeck.** Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16318/1/PG_DAMEC_2019_1_8.pdf

ANEXO A - ESPECIFICAÇÕES DA PLACA DO MÓDULO DE PELTIER

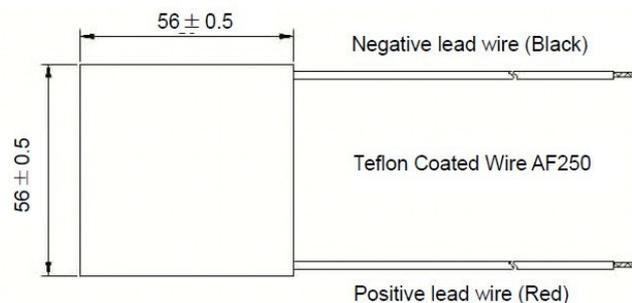
Specifications TEG Module TEG1-12611-6.0



| | |
|---|---------|
| Hot Side Temperature (°C) | 300 |
| Cold Side Temperature (°C) | 30 |
| Open Circuit Voltage (V) | 8.4 |
| Matched Load Resistance (ohms) | 1.2 |
| Matched load output voltage (V) | 4.2 |
| Matched load output current (A) | 3.4 |
| Matched load output power (W) | 14.6 |
| Heat flow across the module(W) | ≈ 365 |
| Heat flow density(Wcm ⁻²) | ≈ 11.6 |
| AC Resistance(ohms) Measured under 27 °C at 1000Hz | 0.5~0.7 |

SNAPSHOT SPECIFICATION OF TEG1-12611-6.0

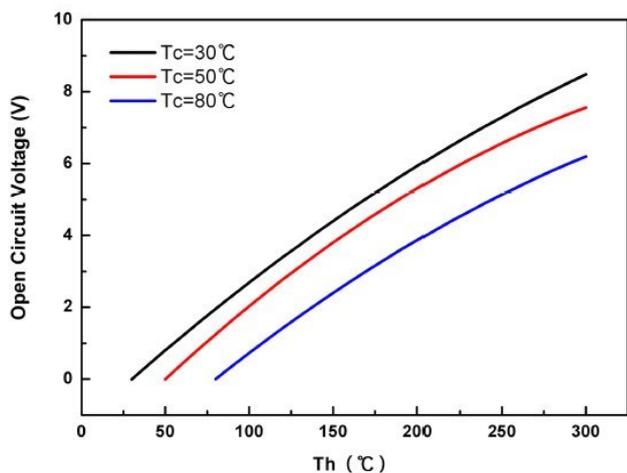
Geometric Characteristics Dimensions in millimeter



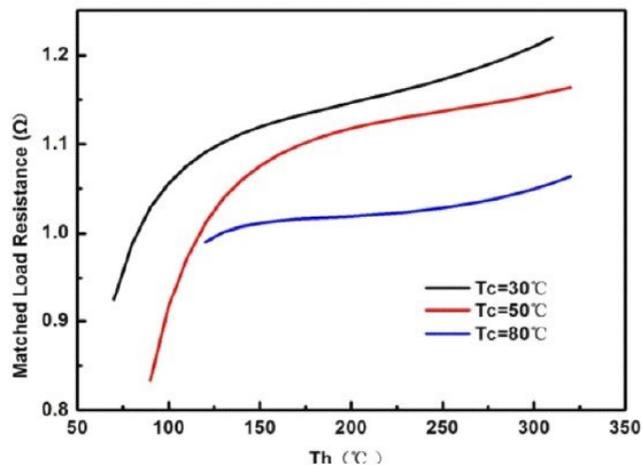
Hot Side Attached to Heat source



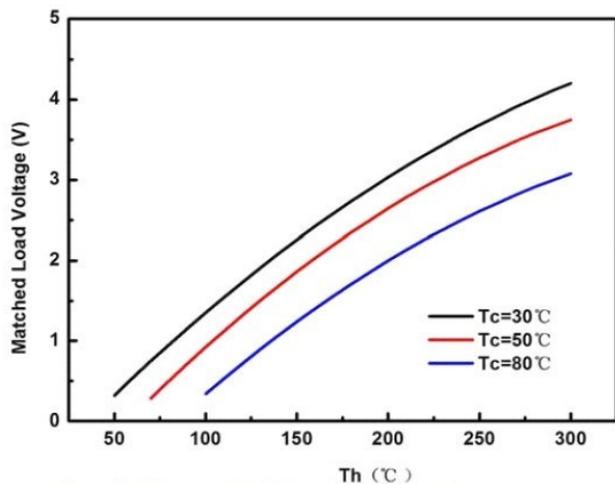
Cold Side Attached to Heat Sink for Heat Dissipation



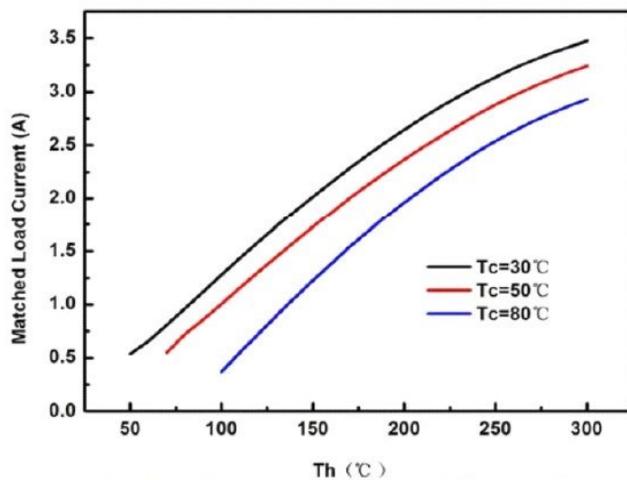
The chart for open circuit voltage Vs T_h under various T_c



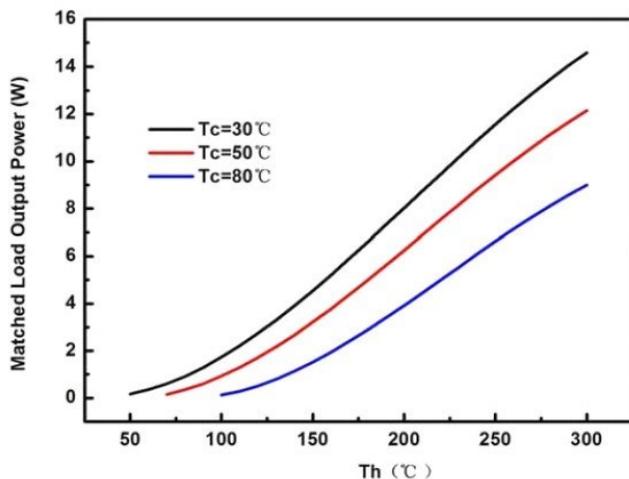
The chart for matched load resistance Vs T_h under various T_c



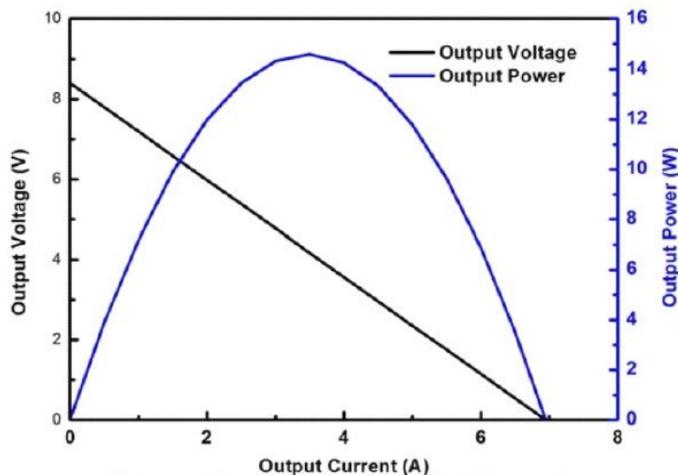
The chart for matched load voltage Vs T_h under various T_c



The chart for matched load current Vs T_h under various T_c



The chart for matched load output power Vs T_h under various T_c



The chart for output voltage and output power Vs output current under $T_h=300^\circ\text{C}$ and $T_c=30^\circ\text{C}$

ANEXO B - MANUAL DO SENSOR DE TEMPERATURA MINIPA 350A

MT-350A



Imagem meramente ilustrativa. / Only illustrative image. / Imagem meramente ilustrativa.

MANUAL DE INSTRUÇÕES

1. INTRODUÇÃO

O termômetro infravermelho MT-350A (daqui em diante referido como "termômetro") é capaz de averiguar a temperatura de uma superfície pela energia infravermelha irradiada da superfície emissora.

2. ACESSÓRIOS

Abra a caixa e retire o termômetro. Verifique se falta algum componente ou se tem algum item danificado, em caso afirmativo, entre em contato imediatamente com o revendedor.

- | | |
|-------------------------|-----------|
| 1. Manual de Instruções | 1 unidade |
| 2. Termopar tipo K | 1 unidade |

3. SEGURANÇA

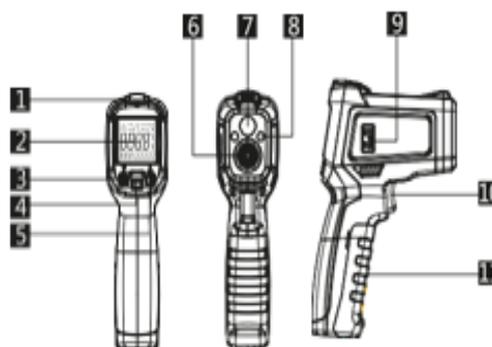
Para evitar ferimentos nos olhos ou lesões pessoais, leia as seguintes instruções de segurança antes de usar este produto.

- Não aponte o laser em pessoas ou animais direta ou indiretamente.
- Não olhe diretamente para o laser ou através de outras ferramentas ópticas (telescópio, microscópio etc.)
- Substitua a bateria assim que o indicador de bateria fraca aparecer.
- Antes de usar o termômetro, verifique se ele está em perfeito estado, não use-o caso note alguma irregularidade. Atente-se a qualquer metal ou fio aparente devido à falta de plástico.
- Consulte o coeficiente de radiação (ver tabela de emissividade) para obter a temperatura real. Objetos reflexivos farão com que o valor medido seja menor do que o valor real da temperatura. Ao medir esses objetos, esteja atento para não tocar nas superfícies de alta temperatura.
- Não use o termômetro perto de gás explosivo, vapor ou poeira.
- Para assegurar a precisão da medição, deixe o termômetro no ambiente de teste por mais de 30 minutos antes de usá-lo.
- No caso de qualquer dúvida, entre em contato com a Assistência Técnica.
- Choque térmico (causado por grande diferença de temperatura ou mudança abrupta). Espere 30 minutos para que o termômetro se estabilize no ambiente.
- A proteção do termômetro pode ser danificada se não for usado como especifica o manual de instruções.
- Evite o aquecimento da bateria para evitar risco de explosão e vazamento eletrolítico. Em caso de contato com a pele, lave-a

imediatamente com sabão e água corrente. Em caso de contato com olhos, lave com água limpa durante 10 minutos e consulte um médico.

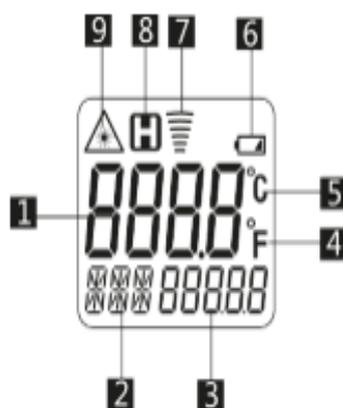
- Para evitar qualquer dano ao termômetro ou ao dispositivo a ser medido, proteja-os de campos eletromagnéticos provenientes de soldadores, aquecedores por indução etc.; de eletricidade estática; de choque térmico (causado por grande diferença de temperatura ou mudança abrupta); e não coloque o termômetro perto ou sobre objetos quentes por um longo tempo.

4. DESCRIÇÃO DO PRODUTO



1. Indicador de alarme;
2. Tela LCD;
3. Tecla Laser / Tecla ajuste numérico ▼;
4. Tecla MODE;
5. Tecla controle luz UV / Tecla de ajuste numérico ▲;
6. Área de sensor IR;
7. Indicador de Laser;
8. Luz UV;
9. Conector termopar tipo K;
10. Gatilho para medição;
11. Capa do compartimento de bateria.

5. DISPLAY



1. Display Principal: Exibe a temperatura medida;
2. Display de Indicação de Funções: PRb (Termopar tipo K), HAL (Alarme de nível alto), LAL (Alarme de nível baixo), E (Ajuste da emissividade);
3. Sub-display;
4. Graus Fahrenheit;
5. Graus Celsius;
6. Indicação da Bateria Fraca;
7. Indicação de Medida de Temperatura;
8. Data Hold;
9. Indicação do Laser.

6. OPERAÇÃO

A. Ajustando o alarme de limite máximo

Pressione o gatilho e a tecla MODE para ajustar o valor, aperte MODE até que apareça a indicação HAL no display e o sub-display exiba o valor para o limite máximo. Tecla ▲/▼ para aumentar ou diminuir o valor. Pressionando a tecla ▲/▼ continuamente, aumentará ou diminuirá o valor rapidamente. Ao ligar, o valor para alarme é de 5°C.

B. Ajustando o alarme de limite mínimo

Pressione o gatilho e a tecla MODE para ajustar o valor, aperte MODE até que apareça a indicação LAL no display e o sub-display exiba o valor para o limite mínimo. Tecla ▲/▼ para aumentar ou diminuir o valor. Pressionando a tecla ▲/▼ continuamente, aumentará ou diminuirá o valor rapidamente. Ao ligar, o valor para alarme é de -5°C.

C. Ajustando a Emissividade

Pressione o gatilho e a tecla MODE para ajustar a emissividade, tecla MODE até que apareça o alarme de valor mínimo. Neste momento no Display de Indicação de Funções aparece °E e no sub-display aparece a emissividade ajustada. Tecla ▲/▼ para aumentar e diminuir o valor de emissividade. Pressionando a tecla ▲/▼ continuamente, aumentará ou diminuirá o valor rapidamente.

D. Ajustando a unidade de temperatura

Pressione a tecla MODE por 2 segundos para alterar entre °C e °F.

E. Habilitando/desabilitando Laser

Tecla △ para habilitar e desabilitar o laser. Será exibido o símbolo.

F. Ligar e desligar luz UV

Tecla □ para ligar e desligar a luz UV.

Deteção de vazamento:

O vazamento de ar condicionado em veículos e outros sistemas de pressão podem ser detectados rapidamente por UV quando injetado um produto fluorescente (contraste) no sistema de ar condicionado e se misturar com o gás refrigerante em circulação. Se existir vazamento, o produto fluorescente irá vazar juntamente com o gás e a visualização será possível com a luz UV.

G. Medida de temperatura sem contato

Aponte o termômetro em direção ao objeto alvo e pressione o gatilho por alguns segundos até que o valor no display se estabilize. Quando o gatilho é pressionado, o sub-display irá mostrar o valor ajustado de emissividade e em seguida exibirá o valor máximo medido. Quando o valor medido é maior que a temperatura no ambiente, valor + HAL, ou menor que a temperatura ambiente, valor + LAL o indicador de LED vermelho vai estar aceso. Caso contrário, o LED verde ficará aceso.

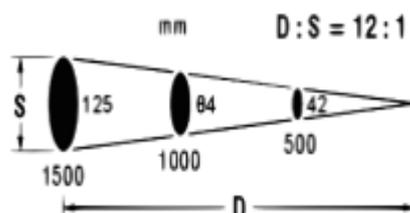
*OBS: Há um sensor incorporado para a temperatura ambiente, embora não seja indicado na tela do LCD.

H. Medida de temperatura com o termopar tipo K

Após conectar o termopar no conector do termômetro o Display de Indicação de Funções exibirá PRb e o sub-display a medida de temperatura do termopar.

7. PROPORÇÃO DA DISTÂNCIA DO TERMÔMETRO DO OBJETO E O DIÂMETRO DO OBJETO A SER MEDIDO (D:S)

O termômetro possui um certo ângulo e campo de visão. É preciso se certificar de que o objeto a ser medido está completamente dentro do campo de visão, isto é, o termômetro somente vai ver o objeto a ser medido. Quanto maior o objeto, maior a distância detectada pelo termômetro. Quanto menor o objeto, menor a distância de medida. A proporção entre a distância de medida e o tamanho do objeto (D:S) é 12:1, vide diagrama abaixo:



8. LASER E BACKLIGHT

O laser tem um alcance de 50 pol. e o alvo deverá ter diâmetro de 1 pol. Para ativar pressione o gatilho (SCAN no display). Se aparecer LOG piscando, pressione ▲ ou ▼ até que apareça MAX MIN DIF ou AVG, pressionando o gatilho aperte a tecla arredondada (vermelha). 1ª vez (△ no display) o laser será ativado; 2ª vez (△ no display) o backlight se acenderá; 3ª vez o laser é desativado; 4ª vez o backlight é desativado.

9. CONSIDERAÇÕES DA MEDIDA

A. Teoria de Medição

Todo objeto emite energia infravermelha de acordo com a sua temperatura. Medindo-se a quantidade dessa energia emitida, é possível determinar a temperatura do objeto emissor.

O termômetro infravermelho pode medir a temperatura de superfície de objeto opacos. Seu dispositivo óptico pode sentir a energia infravermelha concentrada no detector e o circuito eletrônico do termômetro converte esta informação na leitura de temperatura que é exibida no display. O laser é usado apenas para apontar no objeto-alvo.

B. Radiação Infravermelha

Radiação infravermelha é uma fonte de luz (radiação eletromagnética), e tem propriedade de passar facilmente através do ar enquanto é facilmente absorvida por matérias sólidas. Com um termômetro de emissão que opera detectando radiação infravermelha é possível uma medição precisa, independente da temperatura do ar.

C. Estrutura do Termômetro de Emissão

A radiação que foi emitida pelo objeto é focalizada em um sensor de radiação infravermelha, via um sistema óptico. Isto inclui uma lente que é transparente para a radiação infravermelha, e um filtro de corte 5,3 µm. A saída do sensor infravermelho é injetada em um circuito eletrônico juntamente com o sinal de saída de um sensor de temperatura padrão (termopilha).

D. Cuidados Especiais

Se a superfície a ser medida estiver coberta por gelo ou outro material, limpe-a para expor a superfície.

Se a superfície a ser medida é altamente reflexiva, aplique uma fita ou tinta preta na superfície.

Se o medidor parecer obter leituras incorretas, verifique o cone frontal. Pode ter ocorrido condensação ou fragmentos estão obstruindo o sensor, limpe seguindo as instruções na seção de manutenção.

E. Emissividade

Emissividade refere-se à habilidade de um corpo de emitir raios infravermelhos. Quanto maior a emissividade, maior a habilidade da superfície do objeto de emitir IR. A emissividade da maioria das substâncias orgânicas ou superfícies oxidadas de metais estão na faixa dos 0,85-0,98. A emissividade padrão, que é mostrada quando se liga o termômetro é 0,95. O ajuste da emissividade é importante para uma medida mais precisa (consultar a tabela de emissividade abaixo).

F. Tabela de Emissividade

| Emissividade | Descrição |
|--------------|--|
| 0,70 a 0,80 | Aço Inoxidável |
| 0,70 a 0,90 | Aço laminado a frio |
| 0,93 | Água |
| 0,10 a 0,30 | Alumínio liga A3003 áspera |
| 0,30 | Alumínio liga A3003 oxidada |
| 0,20 a 0,40 | Alumínio oxidado |
| 0,95 | Amianto |
| 0,95 | Argila |
| 0,95 | Asfalto |
| 0,70 | Basalto |
| 0,98 | Calcário |
| 0,95 | Carboneto de silício |
| 0,80 a 0,90 | Carvão |
| 0,95 | Cascalho de areia |
| 0,40 | Chumbo áspero |
| 0,20 a 0,60 | Chumbo oxidado |
| 0,40 a 0,80 | Cobre oxidado |
| 0,95 | Concreto |
| 0,50 a 0,70 | Ferro enferrujado |
| 0,90 | Ferro forjado passivado |
| 0,20 a 0,30 | Ferro fundido derretido |
| 0,20 | Ferro fundido não oxidado |
| 0,60 a 0,95 | Ferro fundido oxidado |
| 0,50 a 0,90 | Ferro oxidado |
| 0,98 | Gelo |
| 0,80 a 0,95 | Gesso |
| 0,90 | Grafite |
| 0,30 a 0,80 | Hastelloy |
| 0,50 | Latão oxidado |
| 0,30 | Latão polido |
| 0,30 a 0,60 | Liga de cromo-níquel-ferro com jato de areia |
| 0,15 | Liga de cromo-níquel-ferro eletropolida |
| 0,70 a 0,95 | Liga de cromo-níquel-ferro oxidada |
| 0,90 a 0,95 | Madeira natural |
| 0,20 a 0,60 | Molibdênio oxidado |
| 0,20 a 0,50 | Níquel oxidado |
| 0,95 | Papel |
| 0,10 | Placa de aço polido |
| 0,40 a 0,60 | Placa de lixa de aço |
| 0,95 | Plástico |
| 0,90 | Platina Preta |
| 0,90 a 0,98 | Solo |
| 0,95 | Tecido |
| 0,60 | Terminal de cobre de placa eletrônica |
| 0,85 | Vidro |
| 0,10 | Zinco oxidado |

10. INTERVALO ESPECTRAL

Selecione corretamente o intervalo espectral do termômetro de acordo com a aplicação.

Os intervalos mais comuns são:

- 0,676 μm : Medição de metais fundidos (mín. 1100°C);
- 0,8 ~ 1,1 μm : Medição de vidros, metais e cerâmicas fundidos (mín. 600°C);
- 1,45 ~ 1,8 μm : Medição de metais e cerâmicas (mín. 250°C);
- 2,0 ~ 2,8 μm : Medição de metais (mín. 75°C);
- 3 ~ 5 μm : Medição de metais e cerâmicas (mín. 5°C);
- 3,43 μm : Medição de lâminas em PE e PP (mín. 50°C);
- 3,9 μm : Medição em fornos (mín. 75°C);
- 5,14 μm : Medição superficial em vidros (mín. 100°C);
- 8 ~ 14 μm : Medição em superfícies não metálicas e metais revestidos (mín. -40°C).

11. ESPECIFICAÇÕES

A. Especificações Gerais

- Display: LCD colorido
- Indicação de Bateria Fraca: O símbolo  é mostrado quando a tensão da bateria cair abaixo do nível de operação.
- Auto Power Off (APO): Desligamento automático 15 segundos.
- Função Hold.
- Alarme configurável para limite de temperatura mínima/máxima.
- Medida em °C/°F.
- Alimentação: 1 x 9V.
- Resposta espectral do Infravermelho 8 ~ 14 μm (comprimento de onda).
- Temperatura de Operação: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F).
- Temperatura de Armazenamento: -10 ~ 60°C.
- Dimensões: 169(A) x 138(L) x 270(P)mm.
- Peso: Aprox. 250g (incluindo bateria).

B. Especificações do Laser

- Classificação de Segurança do Laser: Laser duplo classe II.
- Comprimento de Onda: Vermelho (630 ~ 670nm).
- Potência de Saída: < 1mW potência.

C. Especificações para faixa do Termopar tipo K

- Faixa: -40°C ~ 1000°C (-40 ~ 1832°F).
- Resolução: 0,1°C < 1000°C, 1°C > 1000°C.
- Precisão: -40°C ~ 1832°C : $\pm (1,5\% \text{ leit.} + 2^\circ\text{C} / 4^\circ\text{F})$.

D. Especificações do Termopar Tipo K (Acessório Incluso)

- Faixa: -40°C ~ 204°C (-40 ~ 400°F).
- Precisão: $\pm 0,75\% \text{ leit. ou } \pm 2,2^\circ\text{C}$.

E. Especificações de Medidas

- Faixa de Temperatura: Infravermelho: -50°C ~ 800°C (-58°F ~ 1472°F).
- Resolução: 0,1°C (0,1°F) < 1000°C, 1°F > 1000°F.
- Precisão:
 - 50°C a 0°C $\pm 3^\circ\text{C}$.
 - 0°C a 800°C $\pm (1,5\% \text{ leit.} + 2^\circ\text{C} / 4^\circ\text{F})$.
- Tempo de Resposta: < 0.5s.
- Campo de Visão: 12:1 (D / S \rightarrow D= distância; S= alvo).
- Faixa de emissividade: ajustável de 0,10 a 1,00.
- Luz UV (AZUL).
- Laser < 1mW / 630-670nm Classe 2.

12. MANUTENÇÃO

A. Limpeza da Lente

Remova a poeira da lente com ar comprimido. Limpe a superfície cuidadosamente com haste com ponta de algodão umedecida em água limpa.

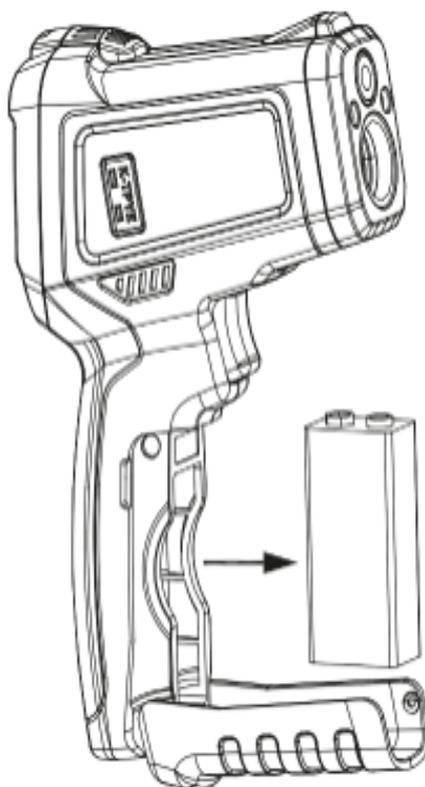
B. Limpeza do Gabinete

Limpe o gabinete com esponja ou pano macio com sabão e água limpa (não utilizar produtos abrasivos). Para evitar danos ao termômetro, não mergulhe o instrumento em água.

13. TROCA DE BATERIA

Quando a indicação de bateria fraca aparecer no display, Troque a bateria por uma nova.

O compartimento de bateria está localizado abaixo do gatilho. Abra o encaixe, troque a bateria e encaixe a tampa novamente.



14. GARANTIA

O termômetro foi cuidadosamente ajustado e inspecionado. Se apresentar problemas durante o uso normal, será gratuitamente reparado de acordo com os termos da garantia.

CERTIFICADO DE GARANTIA

SÉRIE N°

MODELO MT-350A

- 1- Este certificado é válido pelo prazo de 90 (noventa) dias de garantia legal, mais 9 (nove) meses de garantia adicional, totalizando 12 meses de garantia, contados a partir da emissão da nota fiscal.
- 2- Será reparado gratuitamente nos seguintes casos:
 - A) Defeitos de fabricação ou danos que se verificar, por uso correto do aparelho no prazo acima estipulado.
 - B) Os serviços de reparação serão efetuados somente no departamento de assistência técnica por nós autorizado.
 - C) Aquisição for feita em um posto de venda credenciado da Minipa.
- 3- A garantia perde a validade nos seguintes casos:
 - A) Mau uso, com o produto alterado ou danificado por acidente causado por negligência das normas deste manual, condições anormais de operação ou manuseio.
 - B) O aparelho foi violado por técnico não autorizado.
- 4- Esta garantia não abrange fusíveis, pilhas, baterias e acessórios tais como pontas de prova, bolsa para transporte, termopar, etc.
- 5- Caso o instrumento contenha software, a Minipa garante que o software funcionará realmente de acordo com suas especificações funcionais por 90 dias. A Minipa não garante que o software não contenha algum erro, ou de que venha a funcionar sem interrupção.
- 6- A Minipa não assume despesas de frete e riscos de transporte.
- 7- O cadastramento do termo de garantia deve ser feito pelo e-mail: garantias@minipa.com.br.



IMPORTANTE

Os termos da garantia só serão válidos para produtos acompanhados com a nota fiscal de compra original. Para consultar as Assistências Técnicas Autorizadas acesse: <http://www.minipa.com.br/servicos/assistencia-tecnica/rede-de-autorizadas>

Manual sujeito a alterações sem aviso prévio. Para consulta da última versão do manual consulte nosso site.

Revisão: 05

Data Emissão: 05/02/2021



sac@minipa.com.br
tel.: (11) 5078-0850
www.minipa.com.br

MINIPA DO BRASIL LTDA.

Av. Carlos Líviero, 59 - Vila Liviero
04186-100 - São Paulo - SP - Brasil

MINIPA DO BRASIL LTDA.

Rua Morro da Graça, 371 - Jardim
Montanhas, 30730-670 -
Belo Horizonte - MG - Brasil

MINIPA DO BRASIL LTDA.

Av. Santos Dumont, 4401 - Zona Industrial
89219-730 - Joinville - SC - Brasil



MINIPA DO BRASIL LTDA. TODAS AS EMPRESAS MANTENHAM 111 5078-0850 111 5078-0850 111 5078-0850