

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

LUCAS CARDOZO FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACONDICIONAMENTO DE LIVROS
RAROS, AUTOMATIZADO E COM CARACTERÍSTICAS DE MOBILIDADE**

PORTO ALEGRE
2018

LUCAS CARDOZO FERREIRA

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACONDICIONAMENTO DE LIVROS
RAROS, AUTOMATIZADO E COM CARACTERÍSTICAS DE MOBILIDADE**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2018

LUCAS CARDOZO FERREIRA

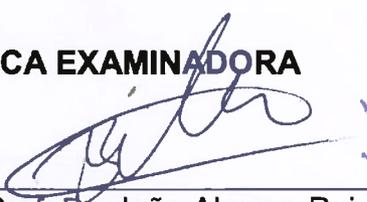
**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE ACONDICIONAMENTO DE LIVROS
RAROS, AUTOMATIZADO E COM CARACTERÍSTICAS DE MOBILIDADE**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

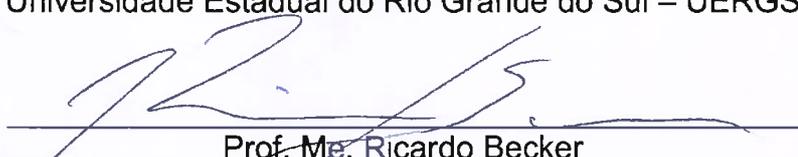
Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em:

BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Me. Ricardo Becker
Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul – PUCRS



Prof. Dr. Daniel Sander Hoffmann
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2018

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo esta vida valer cada vez mais a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que tanto me apoiou neste desejo de ser tecnólogo.

Agradeço à empresa Bleistahl S/A, que me incentivou e liberou horários para que eu pudesse comparecer as disciplinas e atingir esta conquista.

Agradeço aos colegas de curso, que tanto contribuíram para solução de dúvidas e que juntos possamos fazer um mundo melhor.

RESUMO

Na busca do estudo de hábitos, costumes ou tecnologias utilizadas em tempos passados, os livros são a forma de obter dados, que retratam a cultura de uma geração passada. Mas livros acabam por se deteriorarem com o tempo, pela ação de organismos vivos e fungos, levando consigo toda sua história. Neste trabalho é desenvolvido um gabinete para conservação de um pequeno acervo doado a UERGS, com a mobilidade do acervo sendo necessária devido a característica multi campi da Universidade. As variáveis ambientais que são consideradas importantes e que necessitam de controle para a conservação deste acervo são temperatura e umidade relativa do ar, com parâmetros descritos na bibliografia como adequados, $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ e $50\pm 10\%$ UR. A pesquisa foi baseada em fontes como a Biblioteca Nacional e standards como o descrito em *HVAC For Historic Buildings* em *ASHRAE Journal*, já a pesquisa para a implementação foi buscado para o controle de temperatura, pequenos refrigeradores utilizando pastilhas termoelétricas devido a sua simplicidade e para o desenvolvimento foi do controle de umidade foi utilizado abordagem semelhante a utilizada no sistema REAQUIS, desenvolvido por Saulo Güths, em que por meio de aquecimento do ar é reduzido a umidade relativa. A implementação deste gabinete foi realizada adaptando um pequeno armário com um isolamento de isopor e reforço estrutural com cantoneiras metálicas. A instalação do sistema de controle de temperatura e UR foram feitas com duas pastilhas termoelétricas TEC1-12706 e seis resistências de 10W. Foi utilizado controladores industriais doados pela empresa Full Gauge, nos modelos AutoPID plus e MT530, respectivamente, controlador de temperatura e outro de umidade relativa. Durante a implementação foi utilizado o aplicativo CAD para projetar as alterações, entretanto pela adição de um revestimento de MDF ao isopor foi necessário reduzir a espessura do isolamento e a precária isolação térmica da tubulação que circulava o ar pelos sistemas de controle possivelmente levou a um aumento na carga térmica, impossibilitando o controle adequado da temperatura utilizando apenas as duas pastilhas termoelétricas de 60 watts. Sendo, por fim, levantado possíveis abordagens para mitigar o problema, como a adição de isolamento com lã de vidro aos tubos e a junto ao isolamento de isopor das portas.

Palavras-chaves: Controle ambiental, conservação, gabinete.

ABSTRACT

In the search for the study of habits, customs or technologies used in past times, books are the way to get data, which depict the culture of a generation past. However, books eventually deteriorate over time, through the action of living organisms and fungi, taking with them their entire history. In this work, a cabinet is developed to conserve a small collection donated to UERGS, with the mobility of the collection being necessary due to the multi campus characteristics of the University. The environmental variables that are considered important and require control for the conservation of this collection are temperature and relative humidity of the air, with parameters described in the bibliography as adequate, is 20 ± 5 ° C and $50 \pm 10\%$ RH. The research was based on sources such as the National Library and standards such as that described in HVAC For Historic Buildings at ASHRAE Journal. Since the research for implementation was sought for temperature control, small refrigerators using thermoelectric pellets due to their simplicity and for the development of humidity control was used approach similar to that used in the REAQUIS system developed by Saulo Güths, in which by heating the air is reduced the relative humidity. The implementation of this case was carried out by adapting a small cabinet with a styrofoam insulation and structural reinforcement with metal angle bracket. The installation of the temperature control system and UR were made with two TEC1-12706 thermoelectric modules and six resistors of 10W. Was used industrial controllers donated by Full Gauge company, in the models AutoPID plus and MT530, respectively, temperature controller and relative humidity controller. During the implementation, CAD was used to design the adaptations, however by the addition of a MDF coating to the Styrofoam was necessary to reduce the thickness of the insulation and the poor thermal insulation of the pipe that circulate the air by the control systems possibly led to an increase in the thermal load. Which made it impossible to control the temperature with the two 60 watts thermoelectric coolers. Finally, possible approaches were taken to mitigate the problem, such as insulation with glass wool of the pipes and additional insulation to the Styrofoam of the doors.

Keywords: Ambient Control, conservation, cabinet.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Variação da UR em relação a temperatura.....	15
Figura 2 - Funcionamento de pastilhas termoelétricas.....	16
Figura 3 - Método para implementação do gabinete	22
Figura 4 – Móvel a ser adaptado.....	25
Figura 5 - Dimensões do gabinete em milímetros.....	26
Figura 6 - Gabinete com isolamento e adaptação para passagem dos tubos de ventilação	28
Figura 7 - Gabinete com o isolamento e tubos de circulação de ar.....	30
Figura 8 – Aletas de isolamento e travas.	31
Figura 9 - Sistemas de controle no gabinete	32
Figura 10 - Montagem do sistema de refrigeração.....	33
Figura 11 - Esquema elétrico do sistema de resfriamento	34
Figura 12 - Sistema para aquecimento do ar	35
Figura 13 - Esquema de elétrico do sistema de controle de UR.	36
Figura 14 – Ventilação da secção inferior do móvel.....	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Objetivos gerais e específicos do trabalho.....	13
Tabela 2 - Classes de controle para conservação de coleções	17

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul
UR	Umidade Relativa
W	Watt
C	Celsius
K	Kelvin
m	Metro
mm	Milímetro
Pa	Pascal
g	Grama
V	Volts
A	Ampere
ABNT/CB-02	Comitê Brasileiro de Construção Civil

LISTA DE SÍMBOLOS

λ Condutibilidade térmica

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMÁTICA	12
1.2 HIPÓTESE	12
1.3 OBJETIVOS	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	14
2.1.1 Umidade Relativa	14
2.1.2 Pastilhas Termoelétricas e Efeito Peltier	16
2.1.3 Parâmetros para conservação de acervos usado em museus e bibliotecas	17
2.2 PESQUISAS RELACIONADAS.....	19
2.2.1 A conservação de acervos bibliográficos e documentais.....	19
2.2.2 Monitoramento e controle térmico para preservação de acervos	19
2.2.3 Geladeira utilizando pastilhas termoelétricas	19
3 METODOLOGIA	21
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	21
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	21
3.3 MÉTODO APLICADO.....	21
4 RESULTADOS	24
4.1 MODELAGEM E ADAPTAÇÕES	24
4.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS ADAPTAÇÕES E ISOLAMENTO.....	29
4.3 SISTEMA DE CONTROLE	32
4.3.1 Controle de temperatura.....	32
4.3.2 Controle de umidade relativa	34
4.4 ENSAIOS NO SISTEMA IMPLEMENTADO.....	36
5 ANÁLISE	38
ANEXO A – TABELA ABNT/CB-02 DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS	44
ANEXO B – FOLHA DE DADOS DA PASTILHA TERMOELETRICA TEC1-12706	46
ANEXO C – FOLHA DE DADOS DO TRANSISTOR TIP120/TIP121/122	49

1 INTRODUÇÃO

A Universidade Estadual do Rio Grande do Sul está recebendo uma pequena coleção de livros e revistas antigos de outra instituição, os quais permitem diversas pesquisas nos cursos de Letras e de Pedagogia da Universidade. O acervo recebido até o momento são de livros e revistas com mais de 60 anos e apresentam sinais de deterioração, com páginas amareladas e manchadas.

O ambiente para armazenamento destes livros atualmente é um armário, sem o controle ambiental necessário para sua conservação adequada por longos períodos de tempo. Segundo Ashrae (1999), museus e bibliotecas que visam conservar seu acervo aplicam uma temperatura $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e com umidade relativa do ar em $50\% \pm 5\%$.

1.1 PROBLEMÁTICA

Foi oferecido a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul a doação de mais livros e revistas raras, desde que fosse disponibilizado um ambiente com temperatura e umidade controlada, o que atualmente não existe na instituição. Também é necessária certa mobilidade do acervo, pois da universidade é *multicampi*, com cursos em diversos locais do estado que poderiam estudar esta coleção.

1.2 HIPÓTESE

Adaptar um armário ou gabinete com um sistema de controle de temperatura e umidade relativa baseado em uma eletrônica embarca, permitindo a conservação de uma pequena coleção de livros, documentos e revistas. Também deve ter dimensões reduzidas para que possa ser transportado entre unidades da universidade em veículos com caçamba.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é adaptar um armário para que possa armazenar

livros nas condições adequadas para a conservação, permitindo também sua movimentação entre unidades da instituição. A Tabela 1 mostra os objetivos geral e objetivos específicos a serem alcançados no decorrer do trabalho.

Tabela 1 – Objetivos gerais e específicos do trabalho.

Objetivos Específicos	Objetivos Gerais
Adaptar prateleiras para armazenar o acervo de forma que não danifique o material no transporte.	Adaptar armário para manter a temperatura e umidade controlados e nos parâmetros necessários para conservação dos livros.
Implementar sistema de controle de temperatura e umidade que mantenha estas variáveis nos parâmetros corretos.	
Adaptar a estrutura do móvel para que possa ser movimentado	

Fonte: Autor (2018).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Para desenvolvimento do trabalho foi buscado conceitos essenciais como o de umidade relativa, o funcionamento de pastilhas de termoelétricas e a base para conservação de acervos compostos principalmente por livros e revistas feito em papel.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o controle das variáveis ambientais do armário será necessário o entendimento da umidade relativa, conceito que não frequentemente utilizado no ramo da automação. Também será utilizado pastilhas termoelétricas baseadas no efeito Peltier.

2.1.1 Umidade Relativa

Umidade relativa é a pressão de vapor de água no ar comparado a pressão de vapor saturado de água no ar a uma certa temperatura, conforme a Equação 1.

$$UR = \frac{e}{e_s} \quad (1)$$

Onde e é pressão de vapor do ambiente e e_s é a pressão de vapor saturado. Variações de temperatura influenciam na pressão de vapor saturado conforme a Equação de Tetens aperfeiçoada por Murrey e apresentada por Monteith e Unsworth (2013), na Equação 2.

$$e_s(T) = e_s(T^*) * \exp^{A \frac{T-T^*}{T-T'}} \quad (2)$$

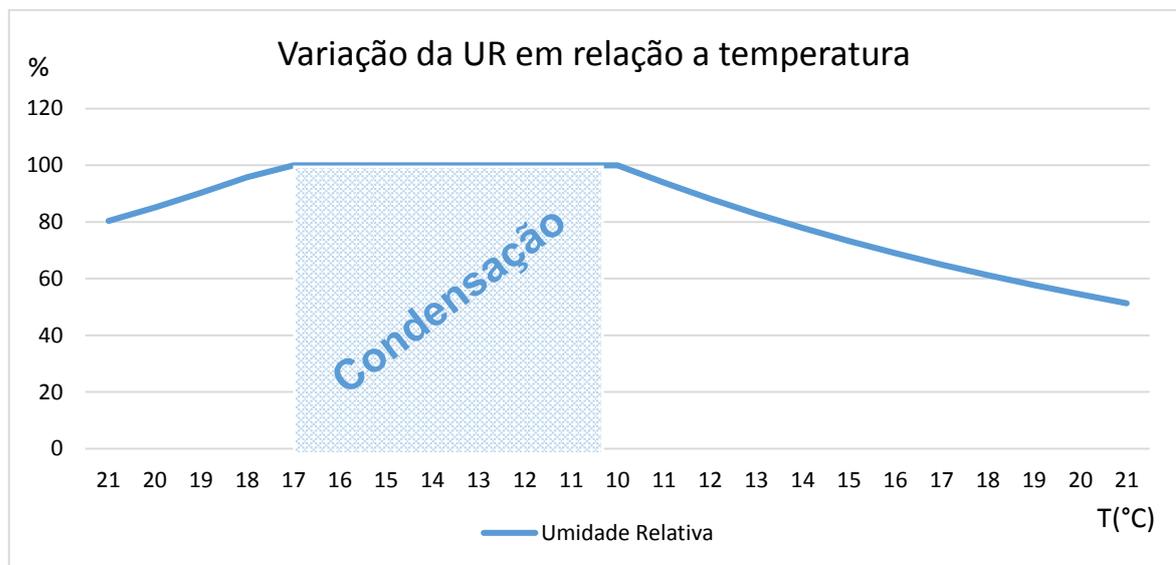
Sendo $e_s(T^*)$, A , T^* e T' parâmetros da equação, equivalendo respectivamente a 611 Pa, 17,27, 273 K e 36 K e T a temperatura do ar em Kelvin, este valores consideram a pressão a nível do mar (1 atmosfera). Para calcular a pressão de vapor para uma certa quantidade de água no ar a uma certa temperatura pode-se utilizar a Equação 3.

$$e = x * \left(\frac{R}{M_{\text{agua}}} \right) * T \quad (3)$$

Sendo x a umidade absoluta do ar ($\frac{g}{m^3}$), M_{agua} a massa molar da água ($18 \frac{g}{mol}$), R a constante universal dos gases ($8,314462 \frac{m^3 Pa}{K * mol}$), e T como temperatura em Kelvin.

Utilizando estas equações é possível simular a variação da umidade relativa conforme a variação da temperatura, como pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 - Variação da UR em relação a temperatura.



Fonte: Autor (2018).

A umidade relativa aumenta conforme a temperatura é reduzida até que é atingido 100%, neste momento o ar está saturado de vapor de água causando condensação. Quando a temperatura é elevada novamente a UR não volta a ser a mesma pois parte da água que antes estava no ar condensou no ambiente.

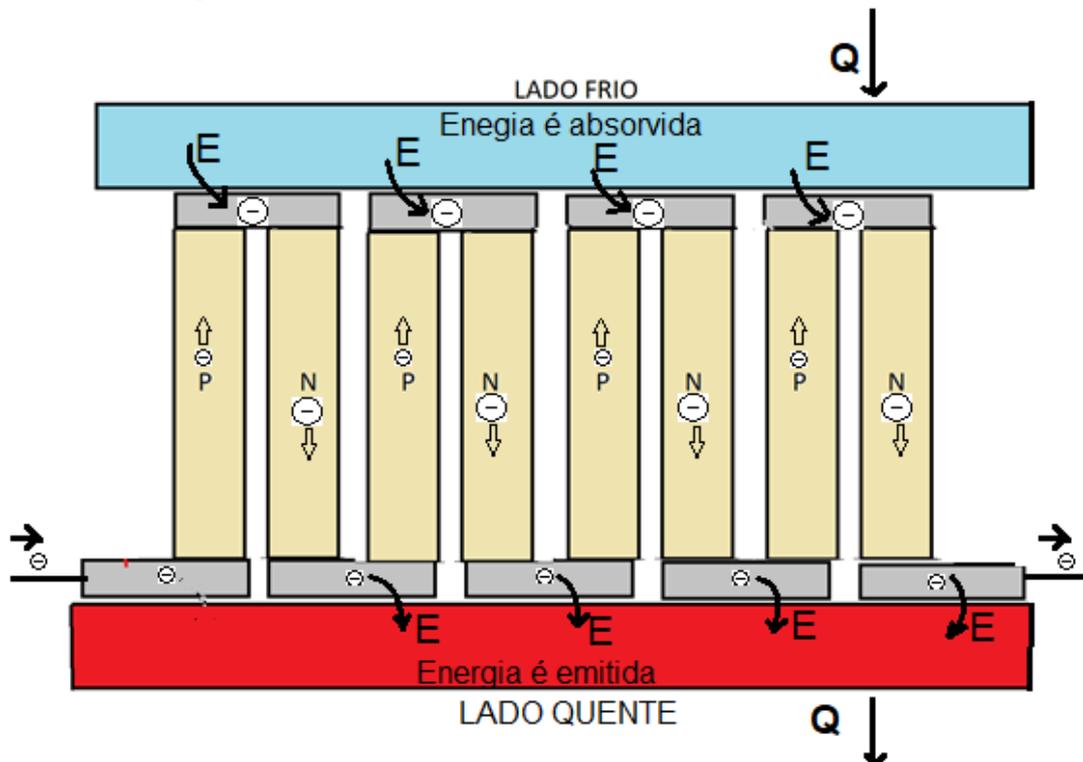
A redução da temperatura e posterior aumento ocasionou a redução da UR, inicialmente a UR estava em 81% e ao final alcançou apenas 51,3%. Esta simulação exemplifica o funcionamento de muitos desumidificadores, onde o ar húmido do ambiente é resfriado, condensando nas paredes do aparelho e em seguida aquecido e liberado com menor UR no ambiente.

2.1.2 Pastilhas Termoelétricas e Efeito Peltier

Dispositivos termoelétricos convertem energia elétrica (em forma de corrente contínua) em gradiente de temperatura, este fenômeno foi descoberto por Peltier em 1834. A aplicação destes efeitos de resfriamento e aquecimento permaneceu mínima até o desenvolvimento de materiais semicondutores (RIFFAT; MA, 2003).

Estes dispositivos são compostos por pares de semicondutores tipo N e P, quando uma corrente contínua é conduzida por estes pares, os elétrons saltam de níveis de energia baixos nos condutores tipo P para níveis mais altos no condutor tipo N, este salto é possível pela absorção de energia térmica do lado frio. Quando o elétron passa do condutor N para o P o processo é o inverso, o elétron volta para um nível inferior de energia, liberando o excesso no lado quente. Este efeito é denominado Peltier e está exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Funcionamento de pastilhas termoelétricas



Fonte: Autor(2018).

Os elétrons estão simbolizados pelos círculos com o sinal negativo em seu interior, o tamanho destes símbolos indica se estão em um nível de energia maior ou menor, quando um elétron passa do P para o N seu nível de energia cresce,

absorvendo a energia térmica do lado frio e quando passa do N para o P sua energia é liberada para o lado quente voltando ao nível inferior de energia.

Este processo pode ser revertido, originando o efeito Seeback quando a passagem do calor pelos pares dopados gera corrente elétrica. Atualmente existem pastilhas termoelétricas capazes de gerar gradientes de temperatura de mais 50 graus Celsius e são usados em para resfriamentos de aparelhos como bebedouros e pequenas geladeiras.

2.1.3 Parâmetros para conservação de acervos usado em museus e bibliotecas

A conservação de acervos é dependente da temperatura e umidade relativa do ar, pois estes fatores climáticos são responsáveis pelo desenvolvimento de fungos, bactérias e insetos (JUNIOR, 1997). Além da proliferação agentes biológicos, a variação de temperatura e umidade relativa causam danos mecânicos ao papel e outros materiais. Por isso será utilizado classe de controle B, conforme a Tabela 2 em HVCE Applications Handbook, adaptada por Güths (2004).

Tabela 2 - Classes de controle para conservação de coleções

TIPO	SET POINT ou MÉDIA ANNUAL	Máximas Flutuações e Gradientes			RISCOS E BENEFÍCIO S p/ COLEÇÕES
		CLASSES DE CONTROLE	flutuações curtas e gradiente espacial	ajustes sazonais do set point do sistema	
GERAL (Museus, Galerias de Arte Bibliotecas e Arquivos)	UR: 50% TEMP. entre 15 e 25 °C	AA Controle preciso, sem alterações sazonais de UR	UR: ± 5 %	UR: sem alterações	Nenhum risco de danos mecânicos para a maioria dos artefatos e pinturas.
			Temp: ± 2 °C	5 °C acima; 5 °C abaixo	
		A Controle preciso, com algum gradiente ou alterações sazonais, <i>não ambos</i>	UR: ± 5 %	UR: 10 % acima 10 % abaixo	Pequeno risco de dano mecânico para artefatos de alta vulnerabilidade, nenhum risco mecânico para a maioria dos artefatos, pinturas, fotografias e livros.
			Temp: ± 2 °C	5 °C acima; 10 °C abaixo	
			ou		
			UR: ± 10 %	UR: sem alterações	
Temp: ± 2 °C	5 °C acima; 10 °C abaixo				

		<p>B Controle preciso, c/algum gradiente e diminuição de temperatura sazonal no inverno</p>	<p>UR: $\pm 10\%$</p> <p>Temp: $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>	<p>UR: 10 % acima 10 % abaixo</p> <p>T: 10° C acima mas sempre abaixo de 30° C. Abaixar a Temp o necessário para controlar a UR</p>	<p>Risco moderado de danos mecânicos para artefatos de alta vulnerabilidade, risco minúsculo para a maioria de pinturas, fotografias, alguns artefatos, alguns livros e nenhum risco para muitos artefatos e a maioria dos livros</p>
		<p>C Previne riscos extremos</p>	<p>UR: entre 25 e 75% durante o ano</p> <p>Temp: raramente acima de 30°C, e normalmente abaixo de 25°C</p>		<p>Alto risco de dano mecânico para artefatos de alta vulnerabilidade. Risco moderado para a maioria das pinturas e fotografias, alguns livros e artefatos. Pouco risco para a maioria dos livros e artefatos.</p>
		<p>D Previne risco de umidade extrema</p>	<p>UR abaixo de 75%</p>		<p>Alto risco de dano mecânico para a maioria dos artefatos e pinturas com baixa resistência à umidade. É evitado o crescimento de mofo e rápida corrosão.</p>
<p>Arquivos e Bibliotecas <i>Estocagem de coleção quimicamente instável</i></p>	<p>Estoque a frio: UR: 40 % T: -20 °C</p>	<p>UR: $\pm 10\%$ Temp: $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$</p>		<p>Flutuações de umidade abaixo de um mês não afetam a maioria dos objetos empacotados Corretamente</p>	
	<p>Estocagem a quente: UR: 30 à 50% T: +10 °C</p>	<p>É vantagem para a coleção, até mesmo se só alcançar estes limites durante o período de inverno, contanto que não ocorra excesso de umidade.</p>		<p>Objetos quimicamente instáveis utilizáveis por um século ou mais.</p>	
<p>Coleções de Metais</p>	<p>Sala seca: UR: 0% a 30%</p>	<p>Umidade relativa não pode exceder ao valor crítico, tipicamente 30% UR</p>			

Fonte: Park (1999) apud Güths (2004).

O uso da Classe B permite a conservação de acervos comuns com risco minúsculo de dano mecânicos ao material, com *setpoint* de 21 graus Celsius e

Umidade relativa de 50% também não haverá proliferação de fungos e bactérias nos livros e revistas.

2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Para o desenvolvimento será levado em considerações trabalhos que visaram a preservação de acervos, trazendo parâmetros ambientais para conservação e sistemas de controle de temperatura ou umidade com este fim.

2.2.1 A conservação de acervos bibliográficos e documentais

O trabalho “conservação de acervos bibliográficos e documentais” por Junior (1997) traz informações sobre a conservação de acervos, como agentes que causam a deterioração de documentos, parâmetros considerados conveniente para o armazenamento e conservação do material. Além de instruções para limpeza do acervo e melhor conservação deste

2.2.2 Monitoramento e controle térmico para preservação de acervos

Neste trabalho Saulo Güths (2004) traz informações de dois sistemas utilizados para conservação acervos, o sistema de gerenciamento térmico CLIMUS que através de do sensoriamento de umidade, de temperatura, entre outras variáveis climáticas do ambiente estima o índice de degradação do acervo, utilizado na capela Padre José Hernes o sistema também orienta no fechamento e abertura de janelas. Outro sistema citado é o REAQUIS, que é acoplado a sistemas de ar condicionado para controlar a umidade relativa do ar, através de uma resistência o sistema eleva a temperatura do ar expelido pelo ar condicionado para controlar a umidade relativa de uma sala.

2.2.3 Geladeira utilizando pastilhas termoelétricas

No trabalho de Kronbauer (2013) é desenvolvido uma pequena geladeira, utilizando pastilhas termoelétricas. É utilizado uma caixa térmica com as dimensões de 14,5 x 19 x 11 centímetros com um isolamento de 1,5 centímetro de isopor. A

pastilha termoelétrica de cerca de 30W foi capaz de reduzir a temperatura para cerca de 4 °C, em 20 minutos com a temperatura ambiente de 31 °C.

3 METODOLOGIA

O método para armazenamento e conservação da coleção é o uso de um pequeno armário com controle de temperatura e umidade relativa, reforçando a estrutura do armário para que possa ser transportado.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa em questão é quantitativa, pois a avaliação é feita pelos parâmetros ambientais alcançados, também é explicativa e laboratorial, porque desenvolve e implementa o controle ambiental.

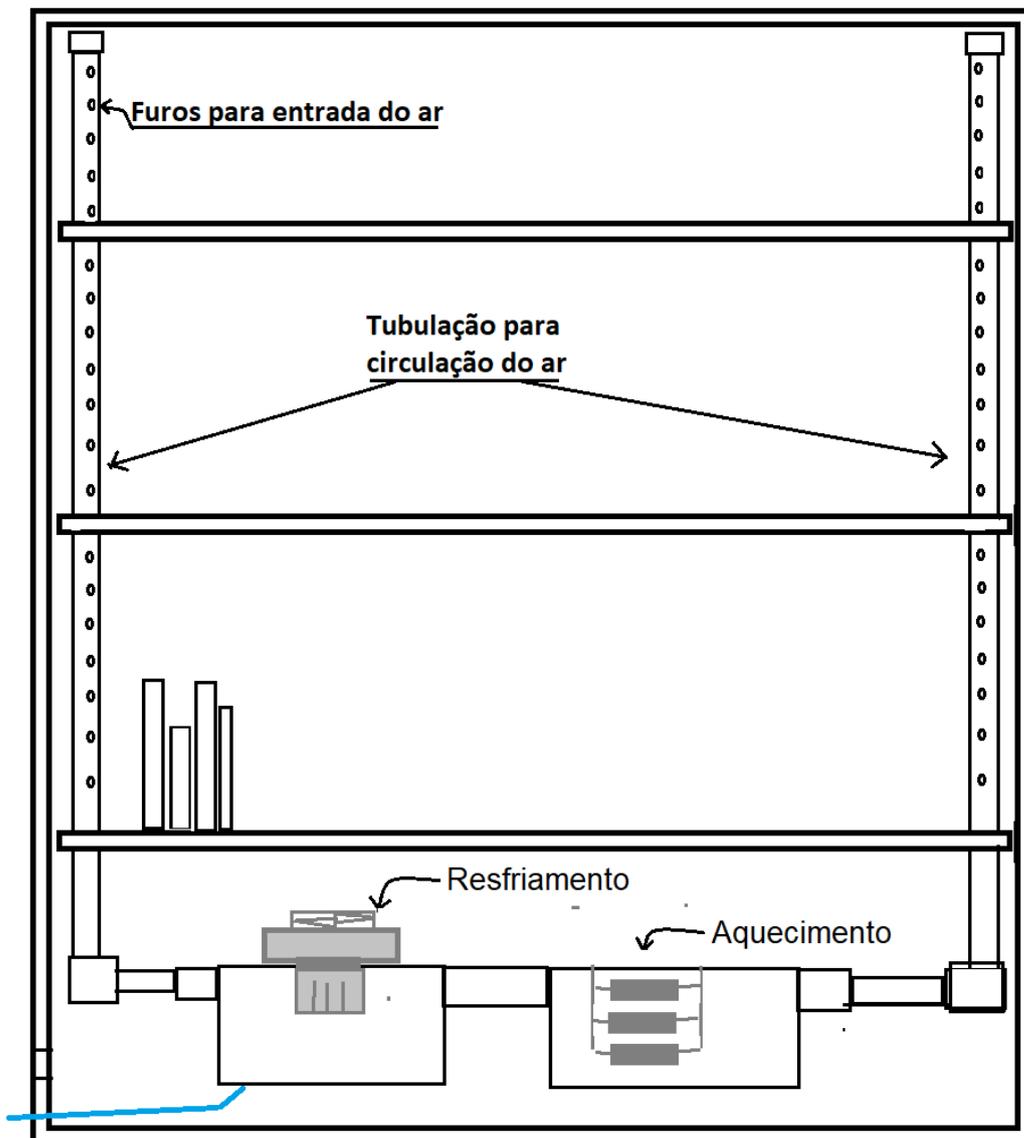
3.2 UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA

Este trabalho abrange a conservação de pequenas coleções, com menos de 500 livros ou revistas. Aplicando o sistema de controle ambiental eficaz em espaços reduzidos, podendo ser moveis ou não.

3.3 MÉTODO APLICADO

O controle de temperatura e umidade relativa é feita por meio de pastilhas termoelétricas, com dois sistemas separados cada um acionado por um controlador FullGauge, um para controle de temperatura e outro para controle de umidade. Na Figura 3 está a representação dos dois sistemas de controle.

Figura 3 - Método para implementação do gabinete



Fonte: Autor (2018).

O armazenamento da coleção será nas 3 prateleiras superiores, o sistema de controle e eletrônica estando na prateleira abaixo, o sistema de resfriamento transfere o calor do ar dos tubos, por meio das pastilhas termoelétricas, para a parte inferior do armário e expulsa por ventiladores para fora do móvel. Para o controle de umidade relativa é feito o aquecimento do ar é feito por meio de resistências, elevando a temperatura o necessário para que alcance 50% UR, semelhante ao disposto na fundamentação teórica da umidade relativa.

No tubo onde é feito o resfriamento é esperado uma condensação de água,

afim de reduzir a umidade, por tanto um canal na parte inferior do tubo leva o excedente de água para fora do móvel.

Apenas a madeira do próprio gabinete não proporcionará isolamento suficiente para que as pastilhas consigam reduzir a temperatura, portanto deve-se isolar as paredes das 3 prateleiras superiores com algum material que impeça a transferência do calor.

O reforço na estrutura do armário pode ser feito adicionado de cantoneira nos 4 cantos do móvel, mais parafusos as prateleiras já existentes e caso necessário rodas para facilitar as movimentações.

4 RESULTADOS

Os dados do controle ambiental serão analisados se mantiveram nos valores parametrizados e a variação destes, como por exemplo 20° a 22° Celsius e 50% a 60% de umidade relativa, como indicado no trabalho de Junior (1997). As flutuações de temperatura e umidade também serão analisadas e comparadas a Tabela 2, se for classificado como Classe B ou superior será considerado sucesso pois haverá chance muito baixa de dano ao papel. Será alterado o valor de temperatura da sala onde o armário estará para que assim seja possa determinar o limite de trabalho para que não seja mais possível manter as variáveis ambientais dentro dos parâmetros descritos.

Caso não seja alcançado o objetivo os testes serão focados em encontrar o problema e levantar hipóteses de resolução do mesmo. Também será analisado se o consumo de energia do sistema de controle do armário é compatível ao fornecido pela tomada 12 volts com potência de 180 Watts de um Fiat Fiorino utilizado pela universidade e outras instituições para transporte de material, para que assim possa ser transportado por longas distâncias com o controle ambiental funcionando.

A implementação do móvel seguiu 3 etapas, sendo a primeira a medição e modelagem do gabinete em um software CAD, afim de facilitar o planejamento das adaptações. A segunda etapa foi realizar as adaptações na estrutura do móvel, com adição de cantoneira, pontos de passagem dos tubos e placas de isopor para o isolamento térmico.

Então foi implementado o sistema de controle de refrigeração e controle de umidade relativa. Quando o sistema estava montado, foi realizado testes para saber sua eficácia.

4.1 MODELAGEM E ADAPTAÇÕES

As medidas do móvel foram feitas por meio de uma trena, sendo modelado cada placa de madeira individualmente, assim adaptações podem ser feitas e transferidas para desenhos. O Móvel que será adaptado está na Figura 4.

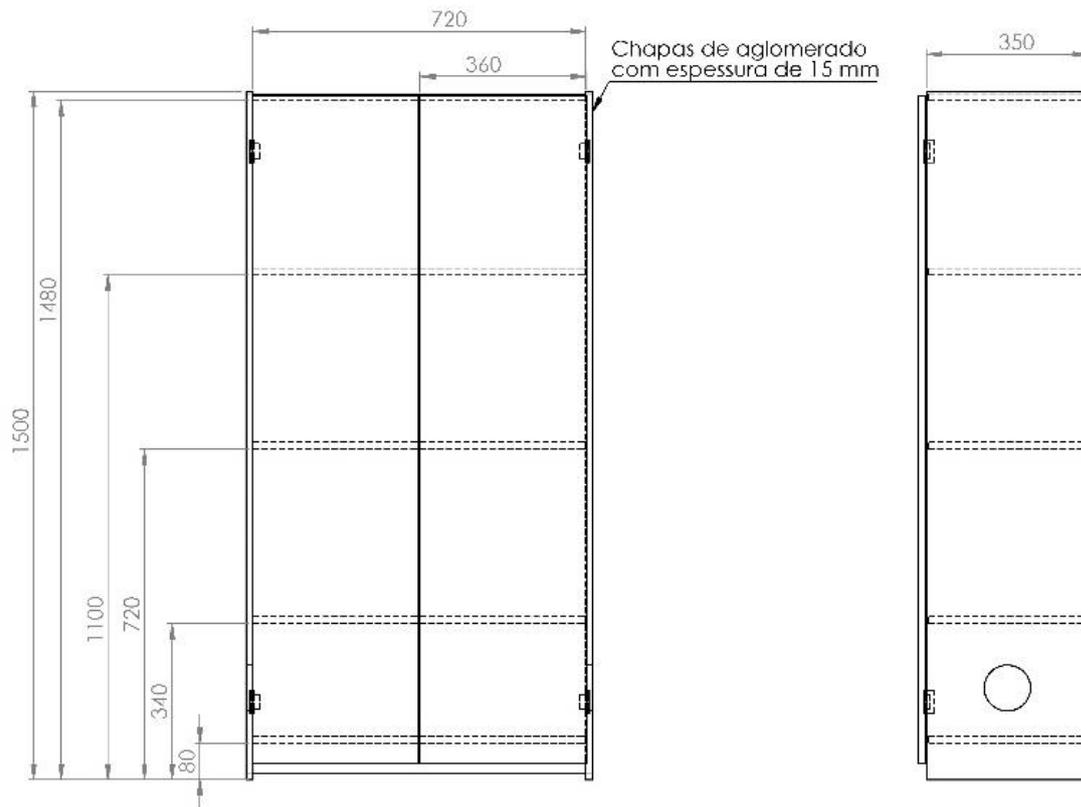
Figura 4 – Móvel a ser adaptado.



Fonte: Autor (2018).

As medidas do móvel são 700 milímetros de largura, 1.500 milímetros de altura e 400 milímetros de profundidade, demais medidas podem estão informadas na Figura 5.

Figura 5 - Dimensões do gabinete em milímetros.



Fonte: Autor (2018).

O armário é construído em chapas com 15 milímetros de espessura de aglomerado de partículas de madeira, não compondo um bom isolamento para o móvel. Pois segundo tabela de propriedades térmicas do Comitê Brasileiro de Construção Cível da Associação Brasileira de Normas Técnicas no anexo A, a condutividade térmica do aglomerado é de 0,17 W/(m.K).

O cálculo da transferência térmica entre o ambiente e o interior do armário pode ser definida pela equação 4.

$$Q = U * A * \Delta T \quad (4)$$

Onde U é taxa de transferência térmica dada em W/K, A é a área das paredes do móvel calculada na equação 5 e ΔT a diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno.

$$A = \text{Largura} * \text{Altura} \quad (5)$$

$$A_{posterior} = 1,140 * 0,720 = 0,8208 \text{ m}^2$$

$$A_{2 \text{ laterais}} = 2 * 1,140 * 0,350 = 0,798 \text{ m}^2$$

$$A_{frontal} = 1,140 * 0,720 = 0,8208 \text{ m}^2$$

$$A_{superior} = 0,350 * 0,720 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$A_{inferior} = 0,350 * 0,720 = 0,252 \text{ m}^2$$

$$A_{total} = 0,8208 + 0,798 + 0,8208 + 0,252 + 0,252 = 2,9436$$

O Coeficiente U é o inverso da resistência térmica R_T , calculada por meio da Equação 6.

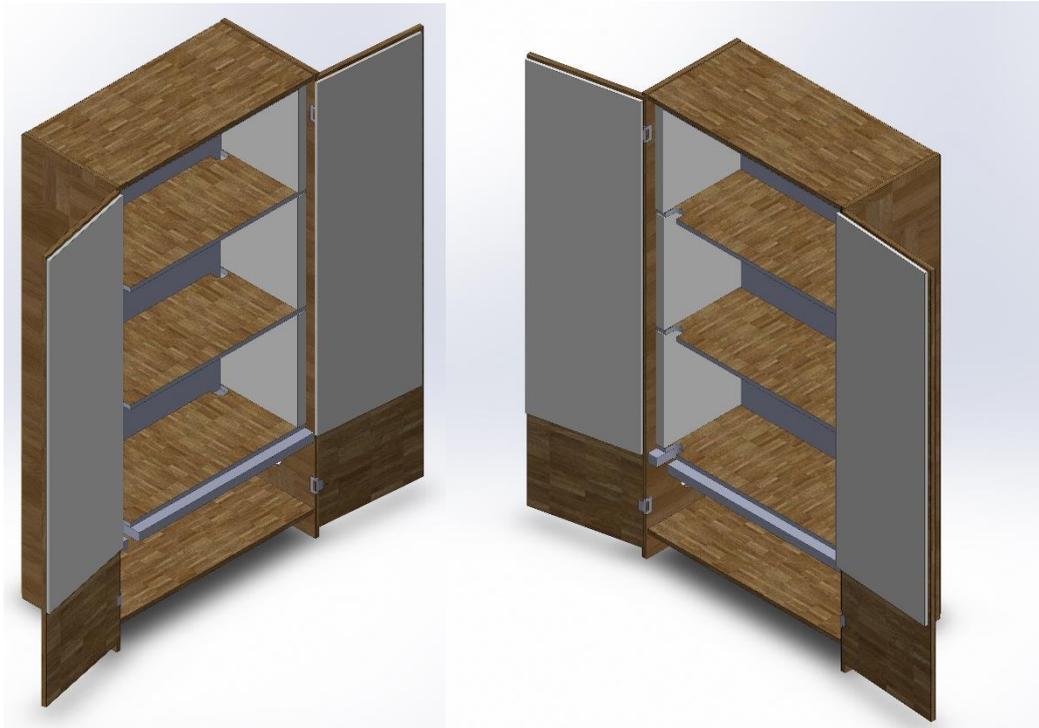
$$R_T = \frac{L_{parede}}{\lambda_{parede}} = \frac{0,015}{0,17} = 0,08823 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (6)$$

Em que L é a espessura da parede e K é condutividade térmica do material. Sendo assim, o móvel apenas com as paredes em aglomerado apresentam uma transferência térmica Q calculada a seguir, considerando uma diferença de temperatura de 10 °C.

$$Q = U * A * \Delta T = \frac{1}{0,08823} * 2,9436 * 10 = 333,62 \text{ W}$$

Utilizando apenas as paredes do gabinete como isolamento a transferência térmica é superior aos 180 watts da citados anteriormente para alimentação do gabinete durante o transporte, além de ser necessário mais de 4 pastilhas termoelétricas de 60 watts para manter uma diferença de temperatura de 10 °C no interior do móvel. Sendo assim um isolamento em isopor foi planejado com espessura 30 milímetros, conforme a Figura 6.

Figura 6 - Gabinete com isolamento e adaptação para passagem dos tubos de ventilação



Fonte: Autor (2018).

Este isolamento proporcionará uma resistência térmica maior que será somado ao do aglomerado, a condutividade térmica k do isopor é de $0,040 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, conforme anexo A. Com as resistências térmicas para as duas espessuras do isopor estão na equação 8.

$$R_{T30mm} = \frac{L_{30mm}}{\lambda_{isopor}} = \frac{0,030}{0,04} = 0,75 \frac{m^2K}{W} \quad (8)$$

A condução térmica é calculada na equação 9, com distinção entre cada espessura do isolamento com a soma das resistências.

$$Q = (U_{30mm \text{ Isopor} + \text{aglomerado}} * (A_{\text{frontal}} + A_{\text{posterior}} + A_{2\text{laterais}} + A_{\text{superior}} + A_{\text{inferior}})) * \Delta T \quad (9)$$

$$Q = \left(\left(\frac{1}{0,75 + 0,08832} \right) * (0,8208 + 0,8208 + 0,798 + 0,252 + 0,252) \right) * 10$$

$$Q = (1,1928 * (2,9436)) * 10 = 35,11 \text{ Watts}$$

Sendo assim, o sistema de resfriamento contará com 2 pastilhas de termoelétricas TEC1 – 12706 de 50 watts cada supriria o sistema. Os tubos que circulam o ar foram projetados para ficarem nas extremidades opostas, um próximo a porta a esquerda e o outro no fundo a direita, afim de garantir uma boa circulação do ar.

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DAS ADAPTAÇÕES E ISOLAMENTO

A implementação das adaptações começou com o desmonte do móvel para corte das prateleiras afim de comportar o isolamento de isopor, sendo reduzido de 350 milímetros de largura para 290 milímetros, além de furos de 40 milímetros de diâmetro para passagem dos tubos. Em paralelo foi encomendado de uma marcenaria chapas 3 milímetros de MDF para dar acabamento ao isopor já nas dimensões para o encaixe no móvel.

Os painéis de isolamento foram cortados com um estilete a partir de chapas com 2.700 milímetros por 1.200 milímetros e colados com cola branca nas chapas de MDF. Após a fixação de 8 cantoneiras de aço nos 4 cantos internos do móvel, foram montados os painéis no móvel novamente com cola branca e parafusos.

Após a montagem foi percebido que devido a espessura do MDF não ter sido considerada no modelo em CAD as portas do armário não fechavam corretamente. Por isso foi substituído o isolamento das portas (frontal) por uma chapa de 10 milímetros de isopor que haviam à disposição. A Figura 7 mostra o gabinete após a montagem do isolamento e tubos para a circulação de ar.

Figura 7 - Gabinete com o isolamento e tubos de circulação de ar



Fonte: Autor (2018).

Com isso, um vão de cerca de 9 milímetros entre as prateleiras e as portas permitia a passagem de ar para fora das prateleiras refrigeradas, então foi desenvolvido uma série de aletas em EVA para dar certa vedação ao entre as portas e os cantos das prateleiras. Também foi adicionado 2 tranças que prendem uma porta a outra e uma por dentro para forçar a porta a ficar bem fechada, estando disponível na Figura 8 o detalhe desta trança.

Figura 8 – Aletas de isolamento e trancas.



Fonte: Autor (2018)

Com esta tranca as aletas ficam pressionadas contra as prateleiras impedindo a circulação de ar.

Os tubos utilizados para a circulação do ar são de PVC com 40 milímetros de diâmetro com 10 furos de 6 milímetros de diâmetro em cada prateleira para que haja uma circulação de ar semelhante entre todas elas. Com pintura preta estes tubos foram encaixados nos furos feitos nas prateleiras, não sendo necessária fixação extra devido ao encaixe justo e deformação dos tubos.

Na parte inferior da Figura 7 ainda pode-se ver as duas câmaras feitas de tubos de 100 milímetros de diâmetro onde foram colocados os sistemas de controle de temperatura e UR.

4.3 SISTEMA DE CONTROLE

O sistema de controle é composto por dois atuadores: as pastilhas termoelétricas para controle de temperatura e resistências para o controle de UR. Na Figura 9 estão os dois sistemas montados, a esquerda está o dissipador das pastilhas e a direita as resistências. Ambos alimentados por uma fonte chaveada com tensão de 12 Volts e corrente de 20 amperes.

Figura 9 - Sistemas de controle no gabinete



Fonte: Autor (2018).

4.3.1 Controle de temperatura

As duas pastilhas termoelétricas TEC1-12706 de aproximadamente 60 watts, segundo as especificações do fabricante no anexo B, foram colocadas entre os dissipadores de alumínio, no lado frio há um para cada pastilha com dimensões de 40 x 40 x 50 milímetros. No lado quente, fora do tubo, há um maior de 150 x 200 x 20 milímetros, com um ventilador de 12 V (semelhante ao de computadores) para auxiliar na dissipação do calor. Esta montagem pode ser observada na Figura 10.

Figura 10 - Montagem do sistema de refrigeração.

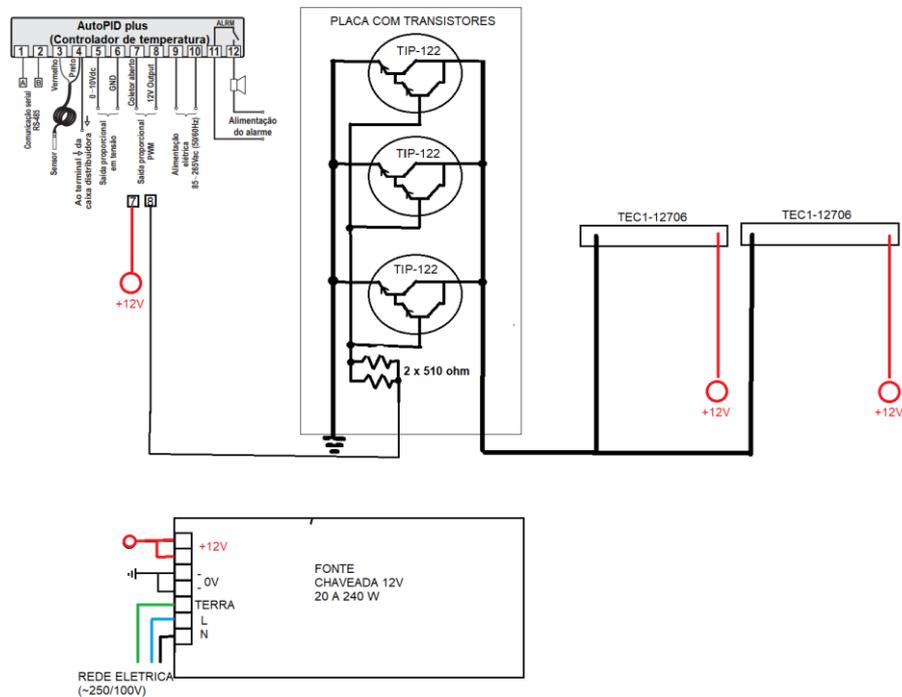


Fonte: Autor (2018).

O acionamento deste conjunto se dará por 3 transistores na configuração *Darlington* Tip-122 com capacidade de até 5 amperes, segundo especificações do fabricante presentes no Anexo C. Os 3 transistores foram montados em uma placa estando em paralelo para suportar a corrente de até 5 amperes, a 12 volts, de cada duas pastilhas.

Foi testado o acionamento com apenas com 2 transistores, mas a queda de tensão e aquecimento eram excessivos, então foi adicionado mais um para sanar este problema, o que funcionou, pois a queda de tensão foi de 3 volts para apenas dois Tip-122, para menos 1 volt quando foi usado 3. O controlador utilizado para atuar as pastilhas foi o AutoPID plus, doado pela fabricante Full Gauge, o esquema de ligação entre os componentes está na Figura 11.

Figura 11 - Esquema elétrico do sistema de resfriamento



Fonte: Autor (2018).

A alimentação deste controlador é por corrente alternada, com tensão de 220 volts ou 110 volts, entretanto esta tensão que estaria disponível durante o transporte em um carro seria de apenas 12 Volts e contínua. Sendo assim, foi aberto e analisado os componentes internos deste controlador, por ser extremamente modular foi simples encontrar o circuito que convertia a tensão 220 volts para contínua a 12 Volts, com este circuito removido e os terminais de saída de tensão alimentados diretamente pela fonte de 12 volts, assim é possível alimentar o controlador mesmo com uma tomada veicular comum com esta tensão.

4.3.2 Controle de umidade relativa

O sistema de controle de umidade relativa é realizado por meio do aquecimento do ar húmido e frio vindo do sistema de controle de temperatura. Foi utilizado 6 resistências de 22 ohms de 10 watts em paralelo, capazes de produzir aproximadamente 40 watts no total quando aplicado 12 volts, conforme cálculo de corrente pela Lei de Ohm, na equação 10 e a potência dissipada em forma de calor

na Lei de Joule na equação 11.

$$V = R * I \quad (10)$$

$$12 = 22 * I$$

$$I = \frac{12}{22} = 0,5454 \text{ A}$$

$$P_{resistor} = V * I \quad (11)$$

$$P_{resistor} = 12 * 0,5454 = 6,54 \text{ W}$$

$$P_{total} = P_{resistor} * n_{resistores}$$

$$P_{total} = 6,54 * 6 = 39,2727 \text{ W}$$

Esta potência foi escolhida após teste medindo a temperatura de entrada e saída, foi possível atingir uma diferença de temperatura de cerca de 8 °C. Também foi montado junto as resistências um ventilador para forçar a circulação de ar pelos tubos, como visto na Figura 12.

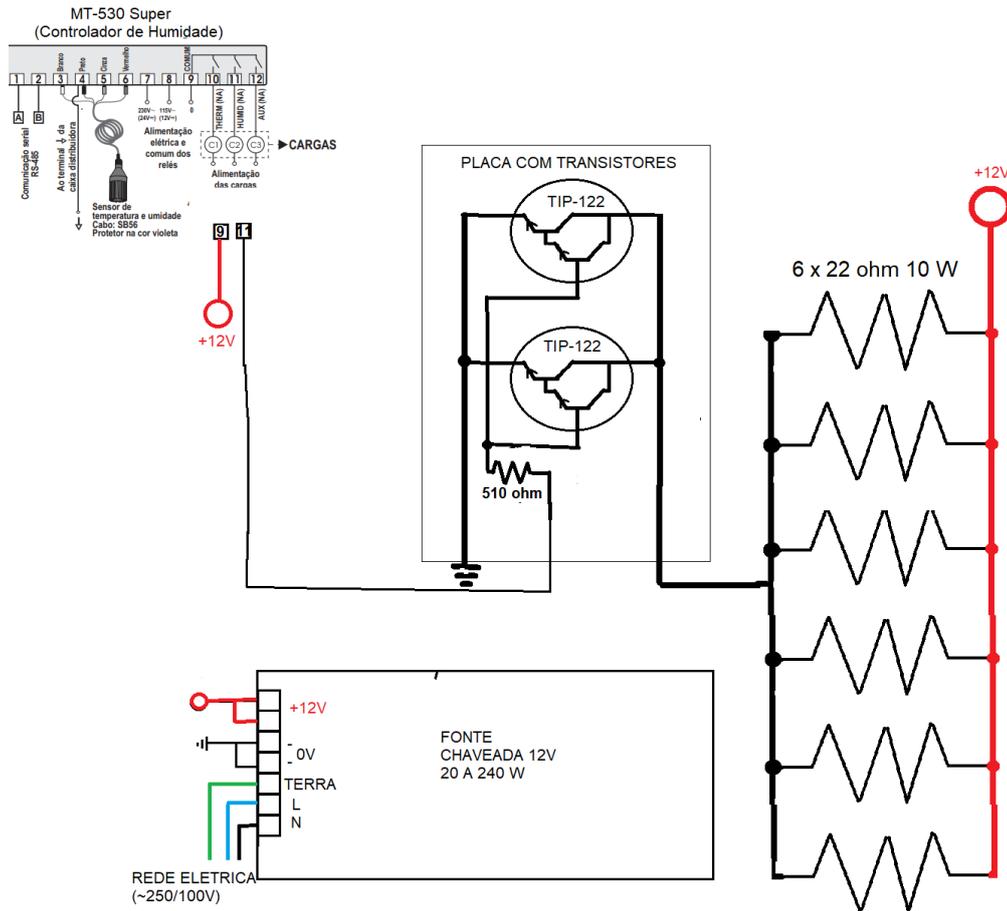
Figura 12 - Sistema para aquecimento do ar



Fonte: Autor (2018).

O acionamento destas resistências é semelhante ao das pastilhas, entretanto pela potência ser menor foi utilizado apenas 2 transistores TIP-122 e uma resistência de 510 ohm na base, conforme Figura 13. O controlador de umidade relativa e temperatura utilizado foi um MT-530 Super, também da Full Gauge.

Figura 13 - Esquema de elétrico do sistema de controle de UR.



Fonte: Autor (2018).

Assim como foi feito com o controlador de temperatura, foi removido o circuito de alimentação e ligado diretamente à fonte chaveada. O ventilador também foi alimentado pela fonte diretamente.

4.4 ENSAIOS NO SISTEMA IMPLEMENTADO

Os ensaios foram realizados com temperatura de 22 °C e umidade relativa de 54%, sendo ligado o ambos os sistemas com *setpoint* de 18 °C e umidade de 40%, para analisar sua eficácia pois os parâmetros de 20 °C ± 5 °C e 50% ±10% de UR, não permitiria atuação significativa dos sistemas. Com valores inferior o resfriamento e controle de umidade começaram a atuar.

A umidade relativa atingiu 40% em cerca de 10 minutos após ligar o sistema. Entretanto a temperatura não foi controlada, atingindo 28 °C no mesmo tempo, o que

obviamente causou a baixa na UR até o ponto desejado. O sistema de controle de temperatura não foi capaz de resfriar o ambiente do armário dentro de 20 minutos de experimento, mesmo quando foi desligado o controle de UR (que aquece o ar).

O acionamento das pastilhas, então, foi realizado diretamente e medindo a tensão sobre as pastilhas termoelétricas, o que confirmou 11,58 volts. Então, foi dispendido mais 10 minutos e a temperatura continuou próximas aos 25 °C, não sendo possível alcançar valores inferiores até este momento.

5 ANÁLISE

O sistema de controle de umidade funcionou corretamente, entretanto demais testes foram parados afim de solucionar os problemas com o controle de temperatura. Apesar do dimensionamento superior de 120 watts de transferência térmica das pastilhas em face a potência térmica estimada de 35 watts o sistema foi incapaz de resfriar o gabinete.

Foi levantado a hipótese de haver ligado erroneamente as pastilhas, entretanto foi aberto o sistema e os dissipadores tocados afim de verificar se ambos estavam resfriando e portanto corretamente conectados, o que foi confirmado, a ligação estava correta. O resfriamento dos dissipadores acontecia, mas não era suficiente para resfriar o gabinete inteiro.

O que pode ter causado no aumento da carga térmica foi a troca do isolamento de 30 mm nas portas por uma espessura de 10 mm, o que reduziu a resistência térmica do móvel, além de não ter sido considerado a transferência térmica dos tubos onde os sistemas de controle que ficaram na parte inferior do móvel e que é mais quente que o ambiente devido ao aquecimento dos transistores e do dissipador do lado quente das pastilhas. Mesmo com um ventilador realizando a circulação do ar na secção inferior do móvel com o ambiente, como pode ser visto na Figura 14, a temperatura ultrapassou os 28 °C.

Figura 14 – Ventilação da secção inferior do móvel.



Fonte: Autor (2018).

Afim de ter certeza do impacto desta troca do isolamento, os cálculos da transferência térmica foram refeitos e estão a seguir.

$$R_{T10mm} = \frac{L_{10mm}}{\lambda_{isopor}} = \frac{0,010}{0,04} = 0,25 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{T30mm} = \frac{L_{30mm}}{\lambda_{isopor}} = \frac{0,030}{0,04} = 0,75 \frac{m^2 K}{W}$$

$$Q = ((U_{10mm Isopor+Aglomerado}) * A_{frontal} + (U_{30mm Isopor+aglomerado}) * (A_{posterior} + A_{2laterais} + A_{superior} + A_{inferior})) * \Delta t$$

$$Q = \left(\left(\frac{1}{0,25+0,08832} \right) * 0,8208 + \left(\frac{1}{0,75+0,08832} \right) * (0,8208 + 0,798 + 0,252 + 0,252) \right) * 10$$

$$Q = (2,424 + 1,192 * (2,12)) * 10 = 76 \text{ Watts}$$

De fato, a transferência térmica foi duas vezes superior ao estimado inicialmente, mas ainda não superior ao das pastilhas. Contudo, a transferência térmica dos tubos na secção inferior do gabinete também é impacta conforme calculo a baixo, considerando a condutibilidade térmica das paredes dos tubos de PVC de 0,20 W/(m*K) conforme anexo A, espessura do tubo de 1,5 milímetro, comprimento somado dos 2 tubos de 100 milímetros igual a 0,5 metro e 0,25 metro o comprimento dos tubos de 40 milímetros.

$$R_{pvc} = \frac{L_{PVC}}{\lambda_{PVC}}$$

$$R_{pvc} = \frac{0,0015}{0,2} = 0,0075 \frac{m^2 K}{W}$$

$$A_{tubo} = 2 * \pi * r * Comprimento + \pi * r^2$$

$$A_{tubo 100mm} = 2 * 3,14 * 0,05 * 0,5 + 3,14 * 0,05^2$$

$$A_{tubo 100mm} = 0,165 \text{ m}^2$$

$$A_{tubo 40mm} = 2 * 3,14 * 0,02 * 0,25$$

$$A_{tubo 40mm} = 0,0314 \text{ m}^2$$

$$Q = (A_{tubo 100mm} + A_{tubo 40mm}) * U_{pvc} * \Delta T$$

$$Q = (0,165 + 0,0314) * \frac{1}{0,0075} * 10 = 261,8 \text{ W}$$

A falta de isolamento dos tubos gera uma transferência térmica que supera muito a

capacidade de resfriamento das pastilhas. Este é o motivo mais provável da falha no controle de temperatura.

Uma possível abordagem seria o isolamento destes tubos com material maleável e com baixa condutividade térmica, como lã de vidro com espessura de 10 milímetros o reduziria a transferência térmica consideravelmente como calculado a seguir.

$$R_{lã} = \frac{L_{lã}}{\lambda_{lã}}$$

$$R_{lã} = \frac{0,01}{0,045} = 0,222 \frac{m^2 K}{W}$$

$$Q_{tubo} = (A_{tubo\ 100mm} + A_{tubo\ 40mm}) * U_{pvc+lã} * \Delta T$$

$$Q_{tubo} = (0,165 + 0,0314) * \frac{1}{0,0075 + 0,222} * 10 = 8,55 W$$

Com uma transferência térmica de 8,55 mais os 76 watts das perdas pelas paredes a transferência total seria de 84,55 watts, ou seja, seria possível controlar a temperatura com esta abordagem. Entretanto, como o sistema de controle de umidade relativa afeta aumenta a carga térmica é necessário reduzir um pouco mais esta taxa, uma possibilidade é adicionar lã de vidro a porta, o que melhoraria tanto o isolamento térmico como a vedação das portas. Abaixo foi recalculado a transferência térmica total do gabinete com a lã de vidro.

$$Q = ((U_{10mm\ Isopor+Aglomerado+lã}) * A_{frontal} + (U_{30mm\ Isopor+aglomerado}) * (A_{posterior} + A_{laterais} + A_{superior} + A_{inferior})) * \Delta t$$

$$Q = \left(\left(\frac{1}{0,25 + 0,08832 + 0,22} \right) * 0,8208 + \left(\frac{1}{0,75 + 0,08832} \right) * (0,8208 + 0,798 + 0,252 + 0,252) \right) * 10$$

$$Q = (1,47 + 1,192 * (2,12)) * 10 = 39,97 Watts$$

$$Q_{total} = Q + Q_{tubo} + P_{total\ das\ Resistências}$$

$$Q_{total} = 39,97 + 8,55 + 39,27 = 48,52 Watts$$

Portanto o uso de lã de vidro para melhorar o isolamento possivelmente resolveria esta problemática. Outra abordagem como o aumento da potência das

pastilhas também poderia sanar este problema também, mas a limitação dos 180 watts impossibilitaria a movimentação do gabinete.

No caso da movimentação do armário, ainda não foi implementado a tomada de 12 volts para manter seu funcionamento durante o transporte, pois a prioridade é solucionar o controle de temperatura.

6 CONCLUSÃO

O uso de um gabinete com controle ambiental para conservação de livros ainda não foi testado satisfatoriamente, problemas com o isolamento não permitiram uma análise concreta de sua aplicabilidade. Sendo a instalação de uma nova camada de isolamento nos tubos na secção inferior e nas portas a abordagem mais válida tendo em vista a análise anterior.

Entretanto, com todo o desenvolvimento foi possível aplicar os diversos conhecimentos apreendidos no decorrer do curso. O acionamento das pastilhas e das resistências foi desenvolvido com as informações obtidas nos componentes curriculares de circuitos elétricos, acionamentos e eletrônica de potência. Já o dimensionamento do isolamento foi aprendido nos componentes curriculares de Física, com o conteúdo de termodinâmica, o conhecimento para configuração dos controladores foi obtido nas disciplinas de sistemas de controle.

Foi, sem dúvidas, uma experiência de aprendizagem que melhorou os conhecimentos de gestão de projetos, eletrônica e termodinâmica.

REFERÊNCIAS

GÜTHS, Saulo. MONITORAMENTO E CONTROLE TÉRMICO PARA PRESERVAÇÃO DE ACERVOS. **REGISTRO: Revista do Arquivo Público Municipal de Indaiatuba**, [s. l.], p. 1–72, 2004. Disponível em: http://www.promemoria.indaiatuba.sp.gov.br/arquivos/galerias/registro_3.pdf

HENDERSON, Jane. Managing the library and archive environment. **Preservation Advisory Centre**, [s. l.], p. 151–156, 2002.

JUNIOR, Jayme Spinelli. **A Conservação de Acervos Bibliográficos & Documentais**. RIO DE JANEIRO. Disponível em: <http://www.bn.br/portal/arquivos/pdf/manualjame.pdf>

KRONBAUER, Ana Claudia. Universidade Tecnológica Federal Do Paraná Projeto E Construção De Um Mini Refrigerador Com. [s. l.], 2013. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1381/1/MD_COMIN_2012_2_03.pdf

MONTEITH, John; UNSWORTH, Mike. **Principles of Environmental Physics: Plants, Animals, and the Atmosphere: Fourth Edition**. [s.l: s.n.].

PARK, S. C. HVAC For Historic Buildings. In: **ASHRAE Journal**. [s.l: s.n.]. p. 91–98.

RIFFAT, S. B.; MA, Xiaoli. Thermoelectrics: A review of present and potential applications. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 23, n. 8, p. 913–935, 2003.

ANEXO A – TABELA ABNT/CB-02 DE PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATERIAIS

Projeto 02:135.07-002:2003

9

B.2 Propriedades térmicas de materiais

A tabela B.3, de caráter não restritivo, apresenta a condutividade térmica (λ) e o calor específico (c) para diversos materiais de construção em função de sua densidade de massa aparente (ρ). Estes valores são apenas indicativos, devendo-se utilizar, sempre que possível, valores medidos em laboratório.

Tabela B.3 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))	
Argamassas				
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00	
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84	
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00	
Cerâmica				
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92	
	1300-1600	0,90	0,92	
	1600-1800	1,00	0,92	
	1800-2000	1,05	0,92	
Fibro-cimento				
placas de fibro-cimento	1800-2200	0,95	0,84	
	1400-1800	0,65	0,84	
Concreto (com agregados de pedra)				
concreto normal	2200-2400	1,75	1,00	
concreto cavernoso	1700-2100	1,40	1,00	
Concreto com pozolana ou escória expandida com estrutura cavernosa (ρ dos inertes ~750 kg/m³)				
com finos	1400-1600	0,52	1,00	
	1200-1400	0,44	1,00	
sem finos	1000-1200	0,35	1,00	
Concreto com argila expandida				
dosagem de cimento > 300 kg/m ³ , ρ dos inertes > 350 kg/m ³	1600-1800	1,05	1,00	
	1400-1600	0,85	1,00	
	1200-1400	0,70	1,00	
	1000-1200	0,46	1,00	
dosagem de cimento < 250 kg/m ³ , ρ dos inertes < 350 kg/m ³	800-1000	0,33	1,00	
	600-800	0,25	1,00	
	< 600	0,20	1,00	
concreto de vermiculite (3 a 6 mm) ou perlite expandida fabricado em obra	600-800	0,31	1,00	
	400-600	0,24	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:3	700-800	0,29	1,00	
dosagem (cimento/areia) 1:6	600-700	0,24	1,00	
	500-600	0,20	1,00	
concreto celular autoclavado	400-500	0,17	1,00	
Gesso				
projetado ou de densidade massa aparente elevada	1100-1300	0,50	0,84	
placa de gesso; gesso cartonado	750-1000	0,35	0,84	
com agregado leve (vermiculita ou perlita expandida)	700-900	0,30	0,84	
				dosagem gesso:agregado = 1:1
				dosagem gesso:agregado = 1:2
dosagem gesso:agregado = 1:2	500-700	0,25	0,84	
Granulados				
brita ou seixo	1000-1500	0,70	0,80	
argila expandida	< 400	0,16		
areia seca	1500	0,30	2,09	
areia (10% de umidade)	1500	0,93		
areia (20% de umidade)	1500	1,33		
areia saturada	2500	1,88		
terra argilosa seca	1700	0,52	0,84	

Tabela B.3 (continuação) - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/(m.K))	c (kJ/(kg.K))
Impermeabilizantes			
membranas betuminosas	1000-1100	0,23	1,46
asfalto	1600	0,43	0,92
asfalto	2300	1,15	0,92
betume asfáltico	1000	0,17	1,46
Isolantes térmicos			
lã de rocha	20-200	0,045	0,75
lã de vidro	10-100	0,045	0,70
poliestireno expandido moldado	15-35	0,040	1,42
poliestireno estrudado	25-40	0,035	1,42
espuma rígida de poliuretano	30-40	0,030	1,67
Madeiras e derivados			
madeiras com densidade de massa aparente elevada	800-1000	0,29	1,34
carvalho, freijó, pinho, cedro, pinus	600-750	0,23	1,34
	450-600	0,15	1,34
	300-450	0,12	1,34
aglomerado de fibras de madeira (denso)	850-1000	0,20	2,30
aglomerado de fibras de madeira (leve)	200-250	0,058	2,30
aglomerado de partículas de madeira	650-750	0,17	2,30
	550-650	0,14	
placas prensadas	450-550	0,12	2,30
	350-450	0,10	2,30
placas extrudadas	550-650	0,16	2,30
compensado	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
aparas de madeira aglomerada com cimento em fábrica	450-550	0,15	2,30
	350-450	0,12	2,30
	250-350	0,10	2,30
palha (capim Santa Fé)	200	0,12	
Metais			
aço, ferro fundido	7800	55	0,46
alumínio	2700	230	0,88
cobre	8900	380	0,38
zinco	7100	112	0,38
Pedras (incluindo junta de assentamento)			
granito, gneisse	2300-2900	3,00	0,84
ardósia, xisto	2000-2800	2,20	0,84
basalto	2700-3000	1,60	0,84
calcários/mármore	> 2600	2,90	0,84
outras	2300-2600	2,40	0,84
	1900-2300	1,40	0,84
	1500-1900	1,00	0,84
	< 1500	0,85	0,84
Plásticos			
borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres, polietilenos	900-1700	0,40	
polimetacrílicos de metila (acrílicos) policloreto de vinila (PVC)	1200-1400	0,20	
Vidro			
vidro comum	2500	1,00	0,84

ANEXO B – FOLHA DE DADOS DA PASTILHA TERMOELETRICA TEC1-12706



Specification of Thermoelectric Module TEC1-12706

Description

The 127 couples, 40mm × 40mm size single stage module is made of selected high performance ingots to achieve superior cooling performance and greater delta T up to 70°C Designed for superior cooling and heating. If higher operational temperature is required, please specify. We can design and manufacture custom made modules according to your requirements. Please contact us for further information. Minimums do apply.

Features

- High effective cooling and efficiency.
- No moving parts, no noise, and solid-state
- Compact structure, small in size, light in weight
- Environmental friendly, RoHS compliant
- Precise temperature control
- Exceptionally reliable in quality, high performance

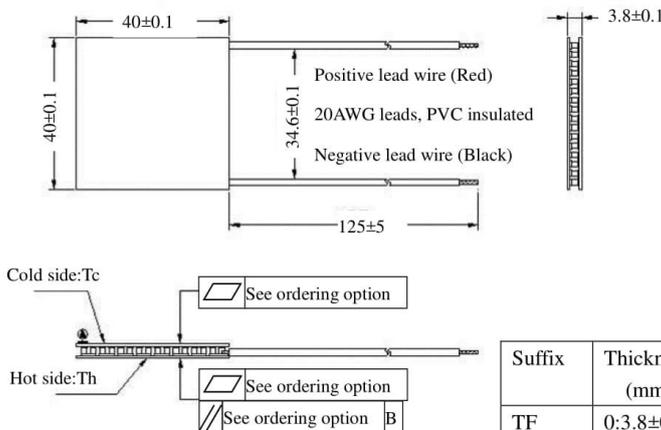
Application

- Food and beverage service refrigerator
- Portable cooler box for cars
- Liquid cooling
- Temperature stabilizer
- Photonic and medical systems

Performance Specification Sheet

Th(°C)	27	50	Hot side temperature at environment: dry air, N ₂
DT _{max} (°C)	70	79	Temperature Difference between cold and hot side of the module when cooling capacity is zero at cold side
U _{max} (Voltage)	16.0	17.2	Voltage applied to the module at DT _{max}
I _{max} (amps)	6.1	6.1	DC current through the modules at DT _{max}
Q _{Cmax} (Watts)	61.4	66.7	Cooling capacity at cold side of the module under DT=0 °C
AC resistance(ohms)	1.8 ~ 2.2	2.0~2.4	The module resistance is tested under AC

Geometric Characteristics Dimensions in millimeters



Sealing Option

Suffix	Sealant
NS	No sealing
SS	Silicone sealant
EPS	Epoxy
OS	Customer specify sealing other than above

Ordering Option

Suffix	Thickness (mm)	Flatness/Parallelism (mm)	Lead wire length(mm) Standard/Optional length
TF	0:3.8±0.1	0:0.035/0.035	125±1/Specify
TF	1:3.8±0.05	1:0.025/0.025	125±1/Specify
TF	2:3.8±0.03	2:0.015/0.015	125±1/Specify

Eg. TF01: Thickness 3.8 ± 0.1 (mm) and Flatness 0.025 / 0.025 (mm)

Additional

Ceramic material: Alumina (Al₂O₃, white 96%)
Solder tinning: Bismuth Tin (BiSn) M.P. 138 °C

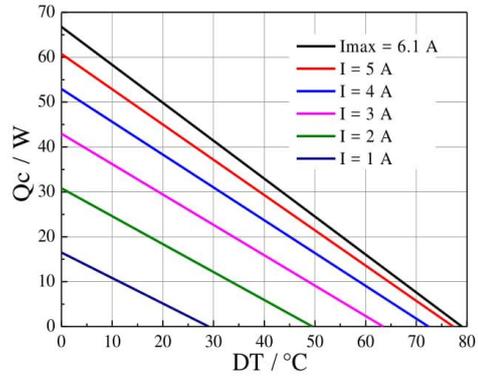
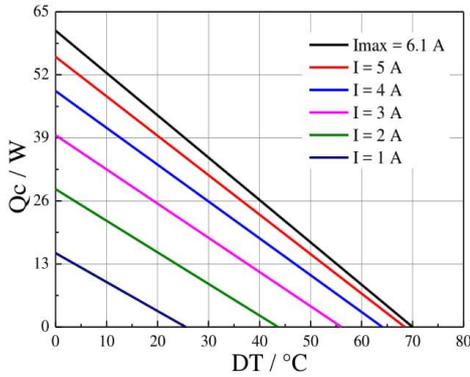


Specification of Thermoelectric Module

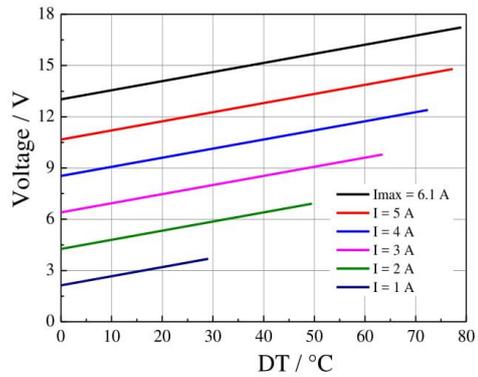
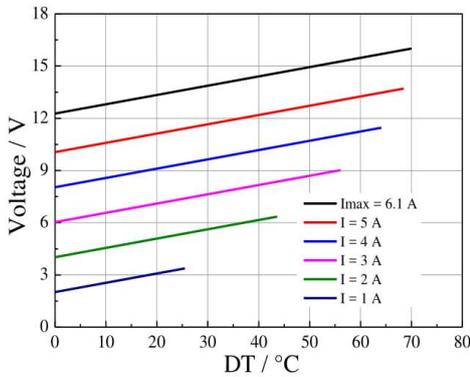
TEC1-12706

Performance Curves at Th=27 °C

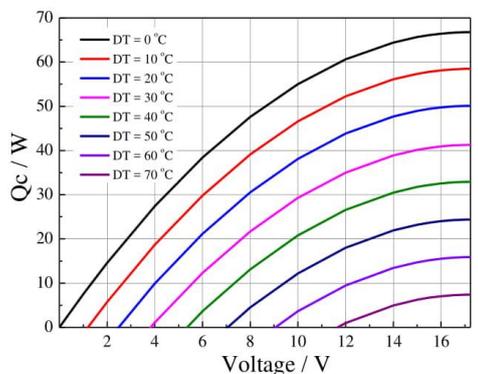
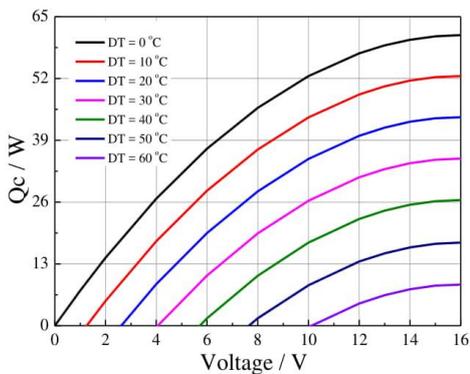
Performance Curves at Th=50 °C



Standard Performance Graph $Q_c = f(DT)$



Standard Performance Graph $V = f(\Delta T)$



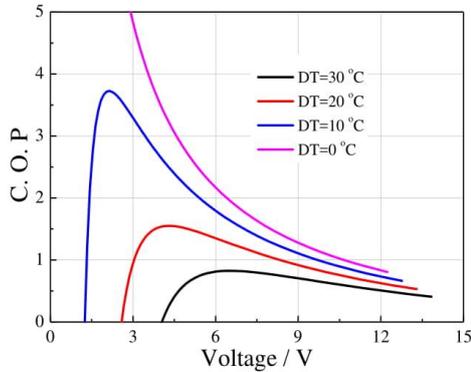
Standard Performance Graph $Q_c = f(V)$



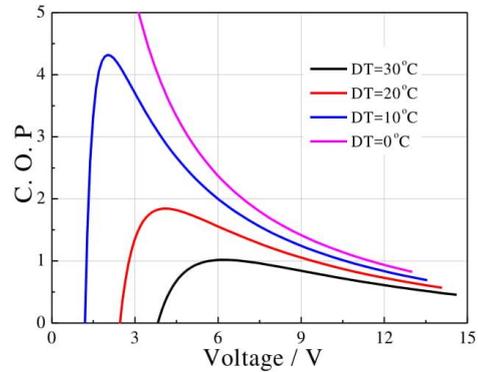
Specification of Thermoelectric Module

TEC1-12706

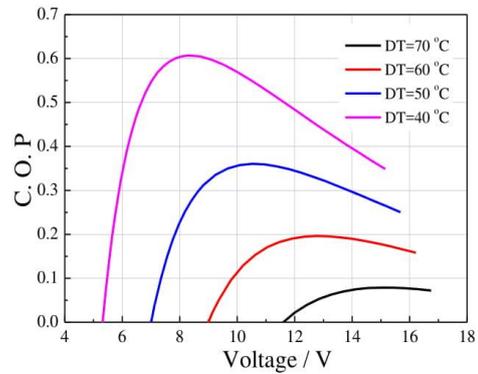
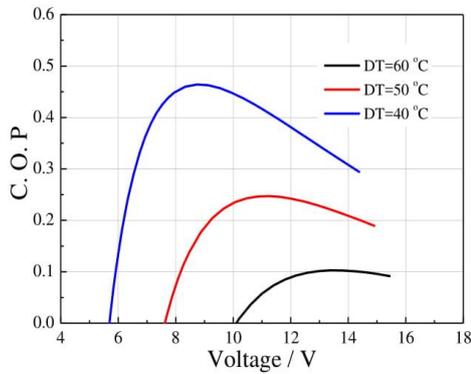
Performance Curves at Th=27 °C



Performance Curves at Th=50 °C



Standard Performance Graph COP = f(V) of ΔT ranged from 0 to 30 °C



Standard Performance Graph COP = f(V) of ΔT ranged from 40 to 60/70 °C

Remark: The coefficient of performance (COP) is the cooling power Q_c /Input power ($V \times I$).

Operation Cautions

- Cold side of the module applied on the object being cooled
- Hot side of the module mounted on a heat sink
- Operation below I_{max} or V_{max}
- Apply DC Voltage only

ANEXO C – FOLHA DE DADOS DO TRANSISTOR TIP120/TIP121/122



November 2014

TIP120 / TIP121 / TIP122 NPN Epitaxial Darlington Transistor

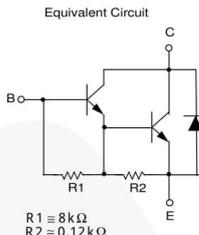
Features

- Medium Power Linear Switching Applications
- Complementary to TIP125 / TIP126 / TIP127



TO-220
1.Base 2.Collector 3.Emitter

Equivalent Circuit



$R1 \cong 8\text{ k}\Omega$
 $R2 \cong 0.12\text{ k}\Omega$

Ordering Information

Part Number	Top Mark	Package	Packing Method
TIP120	TIP120	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP120TU	TIP120	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP121	TIP121	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP121TU	TIP121	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail
TIP122	TIP122	TO-220 3L (Single Gauge)	Bulk
TIP122TU	TIP122	TO-220 3L (Single Gauge)	Rail

Absolute Maximum Ratings

Stresses exceeding the absolute maximum ratings may damage the device. The device may not function or be operable above the recommended operating conditions and stressing the parts to these levels is not recommended. In addition, extended exposure to stresses above the recommended operating conditions may affect device reliability. The absolute maximum ratings are stress ratings only. Values are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_{CBO}	Collector-Base Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
V_{CEO}	Collector-Emitter Voltage	TIP120	60
		TIP121	80
		TIP122	100
V_{EBO}	Emitter-Base Voltage	5	V
I_C	Collector Current (DC)	5	A
I_{CP}	Collector Current (Pulse)	8	A
I_B	Base Current (DC)	120	mA
T_J	Junction Temperature	150	$^\circ\text{C}$
T_{STG}	Storage Temperature Range	-65 to 150	$^\circ\text{C}$

Thermal CharacteristicsValues are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Value	Unit
P_C	Collector Dissipation ($T_A = 25^\circ\text{C}$)	2	W
	Collector Dissipation ($T_C = 25^\circ\text{C}$)	65	

Electrical CharacteristicsValues are at $T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted.

Symbol	Parameter	Conditions	Min.	Max.	Unit
$V_{CEQ(sus)}$	Collector-Emitter Sustaining Voltage	TIP120	$I_C = 100\text{ mA}, I_B = 0$	60	V
		TIP121		80	
		TIP122		100	
I_{CEO}	Collector Cut-Off Current	TIP120	$V_{CE} = 30\text{ V}, I_B = 0$	0.5	mA
		TIP121	$V_{CE} = 40\text{ V}, I_B = 0$	0.5	
		TIP122	$V_{CE} = 50\text{ V}, I_B = 0$	0.5	
I_{CBO}	Collector Cut-Off Current	TIP120	$V_{CB} = 60\text{ V}, I_E = 0$	0.2	mA
		TIP121	$V_{CB} = 80\text{ V}, I_E = 0$	0.2	
		TIP122	$V_{CB} = 100\text{ V}, I_E = 0$	0.2	
I_{EBO}	Emitter Cut-Off Current	$V_{EB} = 5\text{ V}, I_C = 0$		2	mA
h_{FE}	DC Current Gain ⁽¹⁾	$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 0.5\text{ A}$	1000		
		$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$	1000		
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage ⁽¹⁾	$I_C = 3\text{ A}, I_B = 12\text{ mA}$		2.0	V
		$I_C = 5\text{ A}, I_B = 20\text{ mA}$		4.0	
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage ⁽¹⁾	$V_{CE} = 3\text{ V}, I_C = 3\text{ A}$		2.5	V
C_{ob}	Output Capacitance	$V_{CB} = 10\text{ V}, I_E = 0,$ $f = 0.1\text{ MHz}$		200	pF

Note:1. Pulse test: $p_w \leq 300\ \mu\text{s}$, duty cycle $\leq 2\%$.