

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Jefferson Wilney Lusa

DESUMIDIFICADOR COM SISTEMA DE
RECUPERAÇÃO TÉRMICA

Passo Fundo

2018

Jefferson Wilney Lusa

DESUMIDIFICADOR COM SISTEMA DE RECUPERAÇÃO TÉRMICA

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Passo Fundo

2018

Jefferson Wilney Lusa

Desumidificador com sistema de recuperação térmica

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Elétrica, da Faculdade de Engenharia e Arquitetura, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista, sob orientação do professor Dr. Adriano Luís Toazza.

Aprovado em ____ de _____ de ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Adriano Luís Toazza - UPF

Prof. Me. Amauri Fagundes Balotin - UPF

Prof. Dr. Paulo Sérgio Corrêa Molina - UPF

“Se você é neutro em situações de injustiça, você escolhe o lado do opressor”.

Desmond Tutu

RESUMO

Ambientes com elevada umidade relativa do ar, além de fatores como má ventilação e pouca luminosidade natural, facilitam a proliferação de microrganismos. Pólen, poeira domiciliar, fumaça, poluição, microrganismos e o frio ou a grande variação de temperatura são responsáveis ou agravantes de grande parte de problemas ou complicações respiratórias. O mofo causado pelo excesso de umidade pode provocar prejuízos financeiros degradando móveis, obras e estruturas em ambientes residenciais, públicos e hospitalares além dos gastos com os medicamentos utilizados em problemas respiratórios. Diante deste cenário, este trabalho desenvolveu um equipamento capaz de monitorar e diminuir a umidade relativa do ar do ambiente no qual ele for instalado, contribuindo assim para uma melhor qualidade de vida. Também foi confeccionado e testado um sistema de recuperação térmica para o sistema de desumidificação por resfriamento, mencionado acima, com o objetivo de aumentar a eficiência do equipamento. Para o desenvolvimento, foram utilizadas células de efeito peltier como elemento refrigerante e como diferencial tecnológico em relação aos desumidificadores comerciais foi implementada uma tela colorida sensível ao toque, onde são indicadas a temperatura e umidade do ambiente e demais opções de interação com o usuário. O equipamento desenvolvido conseguiu condensar o equivalente a 552ml/dia, nas condições de teste 30°C e 80% de umidade relativa, consumindo 228W de consumo instantâneo.

Palavras-Chave: Desumidificação, células de efeito peltier, tela sensível ao toque.

ABSTRACT

Air's High relative humidity, low ventilation and low natural light, facilitate the proliferation of microorganisms. Pollen, household dust, smoke, pollution, microorganisms and the cold or the great variation of temperature are responsible or aggravating of great part of breathing problems or respiratory diseases. Mold caused by excess moisture can cause financial damage by the degradation of furniture, works and residential structures, public structures and hospital structures, and can also increase costs with medicines used for respiratory diseases. Therefore, this work has developed an equipment that monitors and decreases the relative humidity of the environment where the equipment is installed, reducing the harmful effects of high humidity and contributing to a better quality of life. A thermal recovery system was also made and tested for the cooling dehumidification system in order to increase the efficiency of the equipment. For development, peltier effect cells were used as a cooling element and as a technological differential in relation to commercial dehumidifiers a color touch screen was implemented, where the temperature and humidity of the environment and other options of user interaction are indicated. The developed equipment was able to condense the equivalent of 552ml/day, under test conditions 30°C and 80% relative humidity, consuming 228W of instantaneous consumption.

Key words: Dehumidification, Peltier effect cells, touch screen.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Percentual de água no ar saturado a 1 atm.	17
Figura 2 - Modelo Desidrat cristal da marca Thermomatic.....	19
Figura 3 – Modelo Desidrat Compact Ion da marca Thermomatic	20
Figura 4 – Modelo Desidrat Exclusive 300 da marca Thermomatic	21
Figura 5 – Cappoia Bianco da marca Cappoia	22
Figura 6 – Modelo Pure Ion Pro da marca Relaxmedic	23
Figura 7 – Dissipadores de calor	24
Figura 8 – Processo de recuperação térmica em sistemas de ar comprimido.....	25
Figura 9 – Efeito Peltier	26
Figura 10 – Arquitetura Interna e Imagem real de célula peltier.....	27
Figura 11 – Sensor de umidade HIH-4000-003, Honeywell	28
Figura 12 – Sensor de temperatura HEL-705 series, Honeywell	29
Figura 13 – Sensor de umidade e temperatura da série HIH-6000, Honeywell	29
Figura 14 – Estrutura mecânica final do protótipo.	30
Figura 15 – Câmara fria do desumidificador.....	31
Figura 16 – Dissipadores utilizados.	32
Figura 17 – Chapas de Alumínio com detalhes do espaçador utilizado.....	33
Figura 18 – Espaçamento entre as chapas. (a) 1mm e (b) 3mm.....	33
Figura 19 – Tubo base do trocador economizador. (a) Entrada de ar, (b) saída de ar.....	34
Figura 20 – Aberturas de entrada (a) e saída (b) de ar da câmara fria.....	35
Figura 21 – Coolers sobrepostos do sistema 1.0 de ventilação	36
Figura 22 – peças do cone do sistema 1.0 de ventilação do trocador economizador	36
Figura 23 – ventilador 1.0	37
Figura 24 – cone do sistema 2.0 de ventilação do trocador economizador	38
Figura 25 – ventilador 2.0	38
Figura 26 – Diagrama de blocos do hardware	39
Figura 27 – Células utilizadas no protótipo.....	40
Figura 28 – Tela Sensível ao Toque Boostxl-k350qvg-s1	41
Figura 29 – EK-TM4C123GXL Launchpad	42
Figura 30 – Placa do microcontrolador	43
Figura 31 – Placa de potência.....	43
Figura 32 – Circuito Amplificador de Corrente e Isolador Ótico.	44

Figura 33 – Acionamento múltiplo.....	45
Figura 34 – Fonte utilizada (a) e suas especificações (b).	47
Figura 35 – Sensor de umidade e temperatura HTU21D	48
Figura 36 – Fluxograma do Firmware	49
Figura 37 – Tela Inicial do desumidificador	50
Figura 38 – Tela de Operação.....	51
Figura 39 – Chapas de MDF prontas para serem montadas	52
Figura 40 – Câmara de testes sendo construída (a) e já em uso (b).	52
Figura 41 – Conectores elétricos da câmara de testes. Internos (a) e externos (b).....	53
Figura 42 – Umidificador da câmara de testes. Em teste (a) e (b) e finalizado (c).	54
Figura 43 – Corrugado metálico (a) e detalhes de montagem (b).	55
Figura 44 – Fitas indicadoras de circulação de ar. Sem ventilação (a) e com ventilação (b)...	56
Figura 45 – Ventiladores internos da câmara de testes	56
Figura 46 – Vistas laterais de uma célula peltier utilizada	58
Figura 47 – Termômetro indicando diferença de temperatura interna e externa.....	58
Figura 48 – Formação de gelo nas células.....	59
Figura 49 – Detalhes da montagem para o teste 3.....	60
Figura 50 – Formação de flocos de gelo (a) e água condensada no teste 5 (b).	62
Figura 51 – Câmara fria com ventilação (a) e resultado (b).....	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados coletados no teste 3.....	61
Tabela 2– Dados coletados no teste 7.....	64
Tabela 3 – Dados coletados no teste 8.....	65
Tabela 4 – Dados coletados no teste 9.....	66

LISTA DE SIGLAS

A	Ampère.
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
atm	Atmosfera (unidade de pressão atmosférica)
CA	Corrente Alternada.
CC	Corrente Contínua.
DC	Do Inglês Direct Current, corresponde a Corrente Contínua.
EVA	Material emborrachado fabricado com Etil, Vinil e Acetato
I2C	Protocolo de Comunicação digital Serial (Inter-Integrated Circuit, tradução nossa)
LCD	Display de Cristal Líquido
LED	Diodo Emissor de Luz (Light Emitting Diode, tradução nossa)
MDF	Sigla internacional para um material oriundo da madeira (Medium Density Fiberboard)
PCI	Placa de Circuito Impresso
PVC	PolyVinyl Chloride, em português significa Policloreto de polivinila ou Policloreto de Vinil.
SUS	Sistema Único de Saúde
SPI	Protocolo de Comunicação digital Serial (Serial Peripheral Interface, tradução nossa)
TFT	Transistor de Película Fina (Thin Film Transistor, tradução nossa)
UR	Umidade Relativa do Ar
V	Volt
VBE	Tensão entre o pino Base e o pino Emissor de transistores (Voltage Base Emissor, tradução nossa)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTO.....	13
1.2 OBJETIVO GERAL.....	14
1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4 JUSTIFICATIVA	14
2 REVISÃO TEÓRICA	15
2.1 DOENÇAS RESPIRATÓRIAS	15
2.2 UMIDADE RELATIVA (UR)	15
2.3 AR SATURADO E PONTO DE ORVALHO	16
2.4 MÉTODOS DE DESUMIDIFICAÇÃO	17
2.4.1 Desumidificação por Absorção.....	17
2.4.2 Desumidificação por Adsorção.....	18
2.4.3 Desumidificação por Resfriamento	18
2.5 EQUIPAMENTOS COMERCIAIS DE DESUMIDIFICAÇÃO	19
2.5.1 Desidrat Cristal.....	19
2.5.2 Desidrat Compact Ion	20
2.5.3 Desidrat Exclusive 300	21
2.5.4 Cappaio Bianco	22
2.5.5 Pure Ion Pro	23
2.6 DISSIPADORES DE CALOR E TROCADORES TÉRMICOS.....	23
2.7 RECUPERAÇÃO TÉRMICA.....	24
2.8 CÉLULAS DE EFEITO PELTIER	26
2.9 SENSORES DE TEMPERATURA E UMIDADE	28
2.9.1 Sensor de Umidade hih-4000-003.....	28
2.9.2 Sensor de Temperatura hel-705 series.....	28

2.9.3 Sensor de Umidade e Temperatura da série hih-6000	29
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	30
3.1 ESTRUTURA MECÂNICA DO PROTÓTIPO	30
3.1.1 Câmara Fria do Desumidificador	31
3.1.2 Dissipadores	31
3.1.3 Trocador Economizador Térmico.....	32
3.1.3.1 Ventilador 1.0 do trocador economizador	35
3.1.3.2 Ventilador 2.0 do trocador economizador	37
3.2 HARDWARE	39
3.2.1 Células Peltier	39
3.2.2 Ventiladores do Tipo Cooler.....	40
3.2.3 Tela Sensível ao Toque.....	41
3.2.4 Microcontrolador.....	42
3.2.5 Placas dos Circuitos.....	42
3.2.5.1 Circuitos dos acionamentos.....	44
3.2.5.2 Cálculo dos Componentes dos Acionamentos.....	45
3.2.6 Fonte	46
3.2.7 Sensor de Umidade e Temperatura HTU21D	47
3.3 FIRMWARE.....	48
3.3.1 Predefinições do Firmware	49
3.3.2 Telas de Interação e Operação do Desumidificador	49
3.4 CÂMARA DE TESTES	51
3.4.1 Estrutura Mecânica da Câmara de Testes.....	51
3.4.2 Umidificador	53
3.4.3 Refrigeração da Câmara de Testes	54
3.4.4 Ventilação Interna	55
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO LADO FRIO DAS CÉLULAS (TESTE 1).....	57
4.2 DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE AS FACES DAS CÉLULAS (TESTE 2).....	58
4.3 TEMPERATURA MÍNIMA DA CÂMARA FRIA (TESTE 3).....	59
4.4 AUMENTO DA EFICIÊNCIA POR SOBRETENSÃO (TESTE 4).....	61
4.5 DESUMIDIFICAÇÃO SEM VENTILAÇÃO NA CÂMARA FRIA (TESTE 5).....	62
4.6 DESUMIDIFICAÇÃO COM VENTILAÇÃO NA CÂMARA FRIA (TESTE 6).....	63
4.7 PERFORMANCE 1 DA DESUMIDIFICAÇÃO COM TROCADOR ECONOMIZADOR (TESTE 7)	64
4.8 PERFORMANCE 2 DA DESUMIDIFICAÇÃO COM TROCADOR ECONOMIZADOR (TESTE 8)	65
4.9 DESUMIDIFICAÇÃO SEM TROCADOR ECONOMIZADOR (TESTE 9).....	66
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
REFERÊNCIAS	68
APÊNDICE A – CIRCUITO COMPLETO DO PROTÓTIPO.....	70

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados aspectos gerais de contextualização, sobre características ambientais, climáticas e suas relações com problemas relacionados à saúde, os objetivos e justificativa deste trabalho.

1.1 CONTEXTO

Regiões subtropicais, equatoriais e litorâneas, geralmente apresentam maior umidade relativa do ar (UR) que as outras. Além da localização geográfica, fatores como má ventilação e pouca luminosidade natural, criam o ambiente ideal para o estabelecimento e proliferação de ácaros, vírus, bactérias e fungos.

Microrganismos, pólen, poeira domiciliar, fumaça, poluição e o frio ou a grande variação de temperatura são responsáveis ou agravantes de grande parte dos problemas ou complicações respiratórias.

O Brasil é muito carente em dados estatísticos consistentes relativos a saúde pública, dificultando assim a pesquisa e o planejamento quanto à execução de medidas preventivas. Apesar disso, segundo dados do site do Ministério da Saúde, as internações do Sistema Único de Saúde (SUS) referentes a problemas respiratórios gira em torno de 19%. Com as dimensões continentais do país e tamanhas diferenças climáticas entre as regiões, é de se esperar que haja variações entre índices de internações entre certas localidades, visto que as estatísticas variam por região e época do ano.

Uma característica presente em muitas regiões do país e do mundo é a elevada UR, seja em estações definidas ou o ano todo, o certo é que ambientes úmidos favorecem o aparecimento de focos de mofo, que é um alerta, e significa que além da manutenção da limpeza, serão necessárias medidas extras no auxílio ao combate, estabelecimento e desenvolvimento dos fungos vírus e bactérias.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste projeto é desenvolver um equipamento capaz de diminuir a UR por meio da desumidificação por resfriamento, monitorar e indicar a temperatura e umidade interna do ambiente no qual ele for instalado.

1.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Projetar e construir um trocador economizador recuperador térmico para o sistema de desumidificação por resfriamento;
- b) Testar o equipamento, com e sem o uso do trocador economizador recuperador térmico para analisar e avaliar o aumento da eficiência.
- c) Implementar tela sensível ao toque ao projeto como diferencial tecnológico e de mercado.
- d) Implementar indicação de umidade relativa do ar e temperatura ambiente.
- e) Projetar, montar e testar as placas com os circuitos necessários para o funcionamento do equipamento.
- f) Verificar através de cálculos e posteriormente em testes práticos, a potência necessária, de modo a adquirir uma fonte adequada ao projeto;

1.4 JUSTIFICATIVA

A diminuição dos microrganismos, através do controle da umidade relativa do ar presente em ambientes residenciais, tem papel muito importante na redução de casos de problemas respiratórios como asma, rinite, sinusite e alergias. Em bibliotecas, acervos bibliográficos e museus contribui para prolongar a vida útil das obras. Também, em ambientes hospitalares, pode auxiliar na diminuição de casos de infecções, assim como a redução do período de recuperação e internação dos pacientes.

2 REVISÃO TEÓRICA

Neste capítulo, serão apresentadas as bases teóricas que, juntamente com os conhecimentos empíricos e/ou profissionais do autor, possibilitarão o desenvolvimento do projeto. Serão apresentados, conceitos, definições, materiais e equipamentos que serão utilizados no protótipo, métodos de desumidificação, ionização e outros.

2.1 DOENÇAS RESPIRATÓRIAS

Dentre as doenças respiratórias, a rinite pode ser considerada a de maior incidência e também um problema global de saúde pública, a qual acomete cerca de 25% da população em geral. Embora com sintomas de menor gravidade, está entre as dez razões mais frequentes de atendimento em atenção primária em saúde. “Ela afeta a qualidade de vida das pessoas, interferindo no período produtivo de suas vidas, podendo causar prejuízos pelo absenteísmo ao trabalho e à escola” (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010, p.8).

Segundo dados extraídos do Ministério da Saúde (2010), o Brasil ocupa a oitava posição mundial em prevalência de asma, com estimativas para crianças e adolescentes escolares com variáveis inferiores a 10 ou superiores a 20% em diversas cidades, considerando região e faixa etária. Em 2007 essa disfunção gerou um custo aproximado de R\$ 98,6 milhões para o SUS, resultado de aproximadamente 273 mil internações.

Considerando os fatores de risco, os principais alérgenos ambientais desencadeantes e/ou agravantes das doenças respiratórias são os ácaros da poeira domiciliar, baratas, os fungos, epitélio, urina e saliva de animais (cão e gato) (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2010).

Segundo Reis (1998), geralmente locais com tapetes, paredes com umidade, papel de parede, cortinas e livros velhos, são os mais propícios para o desenvolvimento e proliferação dos fungos e ácaros. Com o controle da umidade nos ambientes é possível reduzir as doenças respiratórias associadas a exposição aos ácaros domésticos, fungos e alérgenos derivados de animais.

2.2 UMIDADE RELATIVA (UR)

“O vapor de água presente na atmosfera recebe o nome de umidade” (CASTRO, 2011, p. 7).

A umidade relativa do ar, pode ser definida como a relação entre a quantidade de água presente no ar e a máxima quantidade que pode estar presente no ar na mesma temperatura e pressão.

A capacidade do ar em transportar água está diretamente relacionada com a temperatura sendo maior aquela com o aumento dessa e inversamente proporcional à pressão, portanto, ao aumentar a pressão diminui-se a capacidade do ar em transportar umidade.

O efeito da diminuição da capacidade do ar em carregar umidade com o respectivo aumento da pressão é facilmente observado em sistemas de ar comprimido, onde após a compressão do ar ambiente, por compressor, acontece a condensação da umidade existente no ar que foi comprimido e este condensado é devidamente purgado.

A faixa ideal para o ser humano e menos propícia para a proliferação de ácaros, fungos vírus e bactérias, é de 40 a 60%UR (CARMO, 1999), dentro, inclusive, do recomendado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) para ambientes internos públicos, que é de 35 a 65%UR dependendo da estação do ano e finalidade do ambiente (ANVISA, 2003).

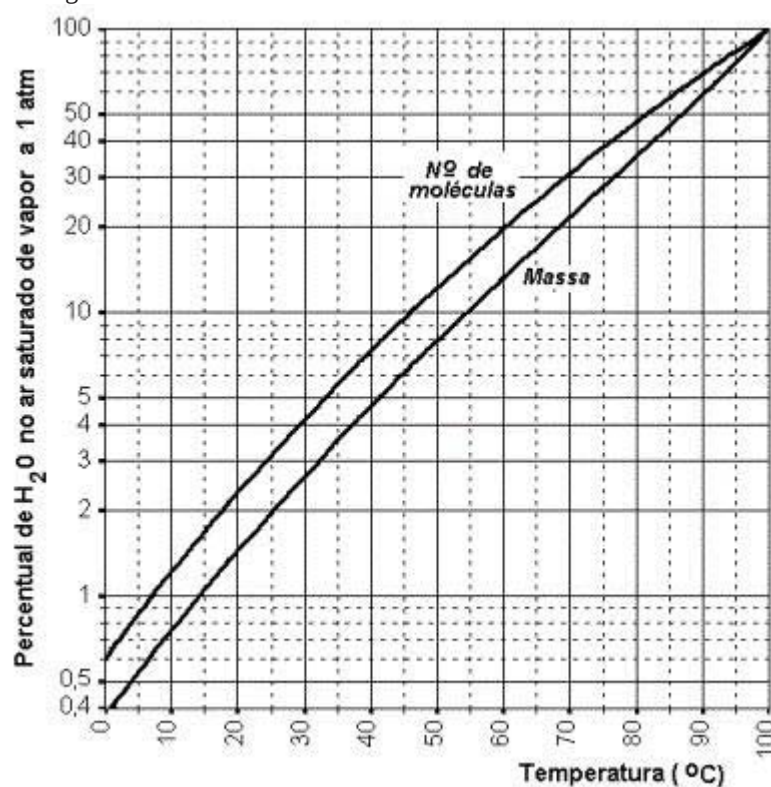
2.3 AR SATURADO E PONTO DE ORVALHO

Quando a UR chega a 100% diz-se que o ar está saturado de umidade. Acima da quantidade de saturação, toda e qualquer quantidade de água presente no ar ambiente em forma de vapor irá condensar, da mesma forma se aumentar a pressão ou também se diminuir a temperatura desse ar. A temperatura na qual a umidade contida no ar satura e começa a condensar chama-se ponto de orvalho. Pode-se também definir o ponto de orvalho, como a temperatura em que a UR chega a 100%, de modo que se a umidade aumentar ou a temperatura baixar desse ponto, haverá a condensação de parte da umidade contida no ar, uma vez que 100% é o máximo que pode haver de umidade relativa no ar.

Para que aconteça o ponto de orvalho, é preciso que haja de forma separada ou conjunta, o aumento da concentração de umidade no ar, a redução da temperatura e/ou o aumento da pressão.

Neste projeto, a técnica que será utilizada para a redução da umidade relativa do ar ambiente será a diminuição da temperatura do ar. Na figura 1, pode-se visualizar a curva da capacidade do ar em transportar umidade.

Figura 1– Percentual de água no ar saturado a 1 atm.



Fonte: <<http://www.if.ufrgs.br/cref/?area=questions&id=1392>>

2.4 MÉTODOS DE DESUMIDIFICAÇÃO

A seguir serão apresentados os três métodos mais utilizados na desumidificação de ar.

2.4.1 Desumidificação por Absorção

Na desumidificação por absorção são usadas, geralmente, substâncias solúveis em água, tal como o cloreto de cálcio. A partir da reação química entre a umidade do ar e o material utilizado, este se dissolve, escorre ou pinga para a parte inferior do recipiente e é então drenado. Neste processo de desumidificação, devido ao consumo constante do material absorvente, faz-se necessária a reposição periódica deste para garantir a eficiência do sistema.

2.4.2 Desumidificação por Adsorção

A técnica de desumidificação por adsorção consiste em passar o ar úmido por um material adsorvente, tal como o dióxido de silício na forma de sílica gel, sendo esta substância a responsável pela adsorção da umidade contida no ar.

Os materiais adsorventes não reagem quimicamente com a umidade e, portanto, não se liquefazem. Todavia, eles vão saturando à medida que prendem a umidade em sua superfície. Quando isso ocorre, é necessária a regeneração deste material, ou seja, a retirada da umidade que ficou presa na superfície do material adsorvente, o que normalmente é realizado, passando-se um fluxo de ar seco e aquecido pela sílica. O ar seco e aquecido, ao passar pela sílica, carrega a umidade, sendo necessário liberar este ar, que se tornou úmido, para a atmosfera.

Com a necessidade da realização da regeneração da resina adsorvente e como os processos industriais geralmente são contínuos, utilizam-se, portanto, dois recipientes, também chamadas “colunas”, de tal maneira que uma delas está secando o ar, que por ela passa e a outra está em processo de regeneração.

2.4.3 Desumidificação por Resfriamento

Esta técnica consiste em resfriar o ar de modo a diminuir a sua capacidade de carregar umidade.

Como visto anteriormente, no item 2.3, ao baixar a temperatura do ar é possível alcançar o ponto de orvalho, em que o ar está saturado de umidade. Abaixo dessa temperatura o excesso de umidade começa a condensar e pode ser drenado do sistema. Quanto menor for a temperatura a que o ar for submetido, maior será a eficiência da desumidificação, pois maior será a quantidade de água retirada.

Este método de desumidificação apresenta algumas vantagens em relação aos demais, como a não necessidade de reposição de material absorvente e nem mesmo a regeneração do material adsorvente, e além disso é o sistema que pode facilmente ser controlado de forma a manter a umidade do ar na faixa ideal para o ser humano e ao mesmo tempo, insatisfatória para os ácaros vírus e bactérias.

2.5 EQUIPAMENTOS COMERCIAIS DE DESUMIDIFICAÇÃO

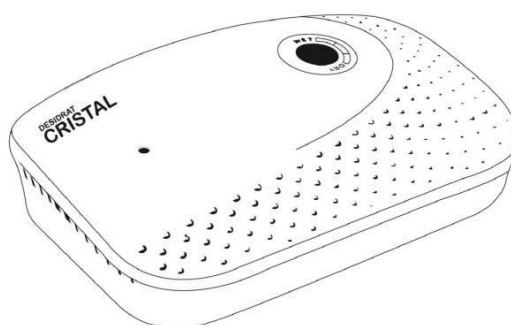
Ao cogitar este projeto, além de se pensar em diminuir um problema frequente em muitas residências e espaços comerciais e hospitalares, a umidade excessiva, também foi pensado em como melhorar a eficácia dos equipamentos oferecidos no comércio e como agregar mais tecnologia. Para isso, foi realizada uma pesquisa dos equipamentos comercializados atualmente, de modo a coletar informações para uma base de dados em relação à capacidade, eficiência, potência, funcionalidades, praticidade e tipos de construção.

Foram encontrados vários modelos, de diferentes marcas, tamanhos e capacidades, alguns utilizam sílica, outros células de efeito peltier ou compressor para o sistema de desumidificação.

2.5.1 Desidrat Cristal

Da marca Thermomatic, o modelo Desidrat cristal é projetado para ambientes de até 1m³, tais como gavetas, armários, cofres e pequenas caixas. Tem a capacidade de 0,05 l/dia, utilizando Sílica gel como elemento de desumidificação do ar, e não possui a função ionizador. A utilização de energia elétrica ocorre apenas na regeneração da sílica, quando esta sofre o processo de aquecimento e, portanto, o equipamento deve ser retirado do local de instalação e levado para uma área aberta e ventilada de modo que a umidade liberada pelo material não seja reintegrada no ambiente interno. Entre as desvantagens do item, pode-se listar o fato de que o mesmo não possui ajuste de umidade desejada e também não possui display para visualização de informações, apenas um visor transparente, por onde é possível visualizar a sílica (que muda a coloração de acordo com a umidade por ela adsorvida), e 1 Diodo Emissor de Luz (LED), para indicação de equipamento conectado a energia elétrica, quando este está em processo de regenerando a sílica. (THERMOMATIC, 2017). Na figura 2 pode-se visualizar o esboço do equipamento.

Figura 2 - Modelo Desidrat cristal da marca Thermomatic

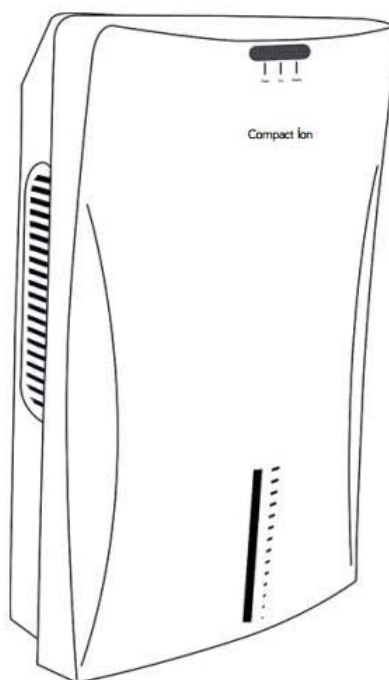


Fonte: Manual on-line do equipamento (THERMOMATIC,2017)

2.5.2 Desidrat Compact Ion

Da mesma fabricante do modelo anterior, o modelo Desidrat Compact Ion é projetado para ambientes de até 10m³ com capacidade de 0,75 l/dia, utilizando células de efeito Peltier para a desumidificação do ar, e possui a função de ionizador. O modelo não possui ajuste de umidade desejada, portanto só desligado nos casos de enchimento do reservatório ou manualmente. Assim como no Desidrat cristal, não há display para visualização de informações, porém há presença de 3 LED's de indicação, para equipamento em funcionamento, ionização ligada e reservatório cheio, além de um visor de nível da água do reservatório e um botão de três posições, AC/Off/DC. Na posição AC, o equipamento pode ser utilizado em instalações de 127 e 220V AC, 50~60Hz, na posição DC, pode ser conectado em 12VCC, como por exemplo a tomada de veículos e embarcações e por fim, a posição Off, desliga o equipamento. (THERMOMATIC, 2017). Na figura 3, pode-se visualizar o esboço do equipamento.

Figura 3 – Modelo Desidrat Compact Ion da marca Thermomatic

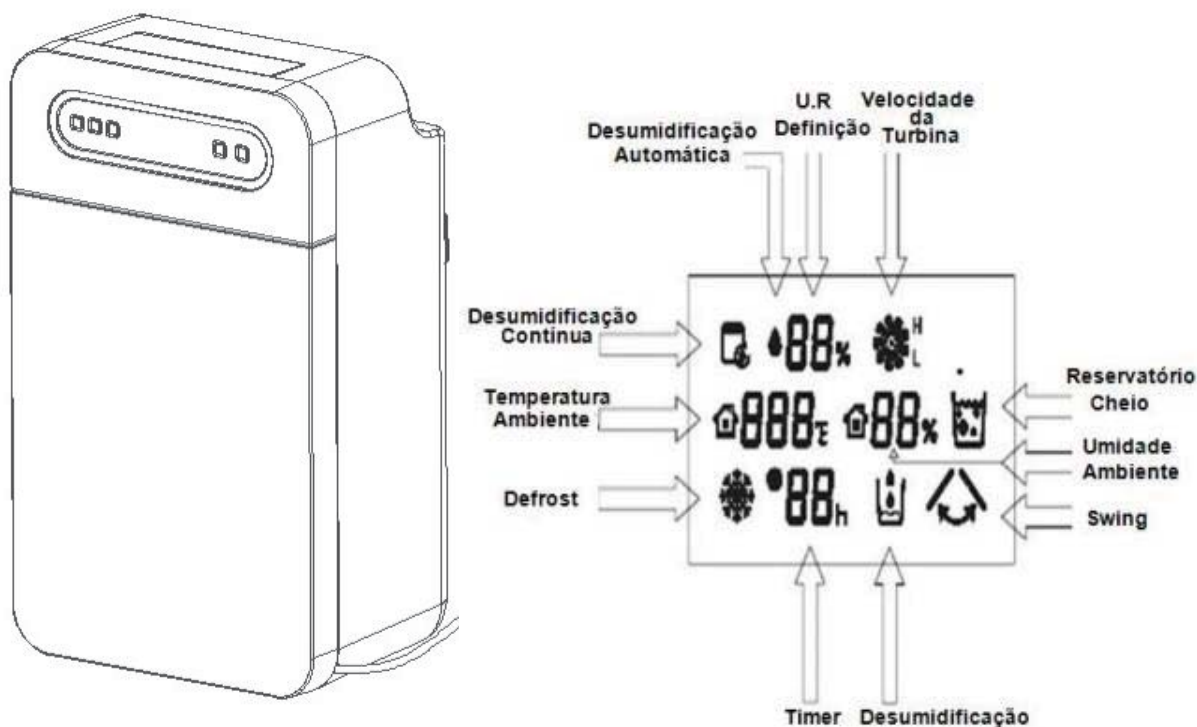


Fonte: Manual on-line do equipamento (THERMOMATIC,2017)

2.5.3 Desidrat Exclusive 300

Ainda da Thermomatic, o modelo Desidrat Exclusive 300 é projetado para ambientes de até 300m³ com capacidade de 16 l/dia, utilizando compressor para a desumidificação do ar, e não possui ionizador. O diferencial do modelo são as opções de ajuste do nível de umidade, timer e conexão para drenagem contínua. Além disso, possui display LCD com luz de fundo azul, e indicações de temperatura e umidade ambiente, umidade desejada, timer, defrost (função de descongelamento), indicação de funcionamento da desumidificação, velocidade de ventilação, desumidificação contínua e automática e função SWING (movimentação das aletas direcionadoras do fluxo de ar desumidificado) e também aviso sonoro de reservatório cheio. O equipamento possui ainda um filtro de PVC, atribuindo a capacidade de filtração de impurezas em suspensão. Para ligar e ajustar os parâmetros, o equipamento possui cinco botões, sendo eles, “ON/OFF”, “MODOS”, “DEFINIÇÃO”, “TIMER” E “SWING”. O equipamento é bivolt, (THERMOMATIC, 2017). Na figura 4 pode-se visualizar o esboço do equipamento e detalhes do Display LCD.

Figura 4 – Modelo Desidrat Exclusive 300 da marca Thermomatic



Fonte: Adaptado do manual on-line do equipamento (THERMOMATIC, 2017)

2.5.4 Cappoia Bianco

Da marca Cappoia, o modelo Cappoia Bianco (PDS60DU) foi projetado para ambientes de até 30m², tem a capacidade de 600ml/dia, utiliza células de efeito Peltier para a desumidificação do ar e não possui função ionizador. O equipamento dispõe de um botão na parte traseira, para ligar e desligar o mesmo, e na parte frontal conta com dois LEDs, um verde para indicação de equipamento ligado e um vermelho para indicação de reservatório cheio. O equipamento é bivolt (CAPPOIA, 2011). Na figura 5 pode-se visualizar o equipamento descrito.

Figura 5 – Cappoia Bianco da marca Cappoia



Fonte: <http://www.cappoia.com>

2.5.5 Pure Ion Pro

Da marca Relaxmedic, o modelo Pure Ion Pro (RM-DA8891) foi projetado para ambientes residenciais e comerciais, tem a capacidade de 1 l/dia, utiliza células de efeito Peltier para a desumidificação do ar e possui a função ionizador. Exibe, em seu display de sete segmentos, o nível de umidade e a temperatura com precisão de três dígitos. Para ajuste de parâmetros, o equipamento possui botões na parte frontal, onde também se localiza o display, e para ligar e desligar há um botão na parte traseira. O equipamento é bivolt automático, (RELAXMEDIC, 2017). Na figura 6 pode-se visualizar o equipamento.

Figura 6 – Modelo Pure Ion Pro da marca Relaxmedic



Fonte: <http://www.relaxmedic.com.br/produto/desumidificador-pure-ion-pro/>

2.6 DISSIPADORES DE CALOR E TROCADORES TÉRMICOS

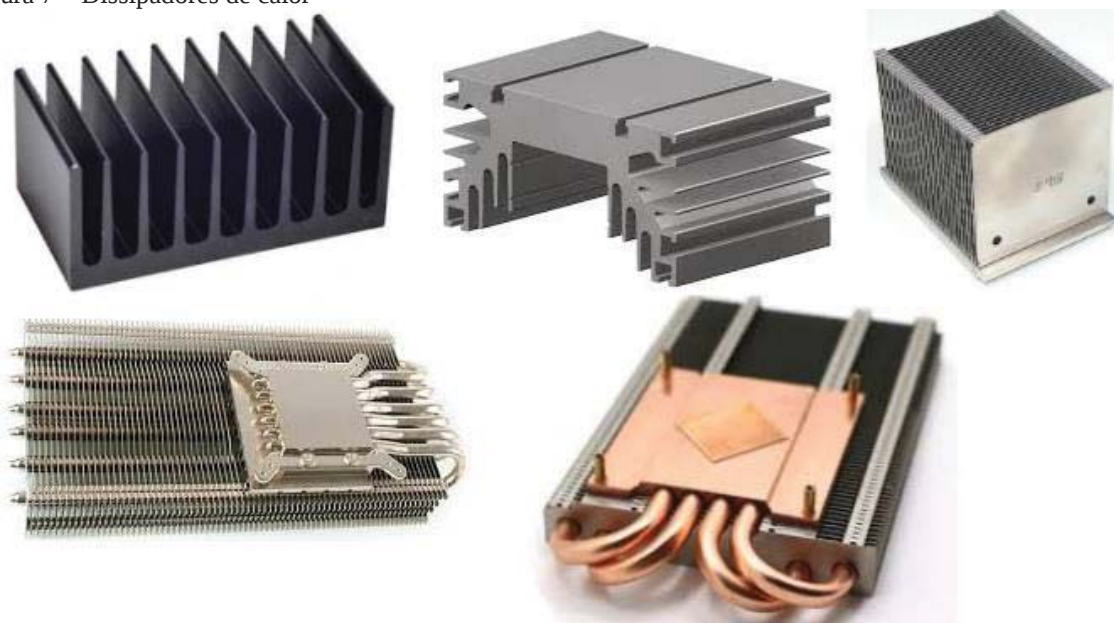
Dissipadores de calor tem fundamental importância na área de eletrônica, pois são eles que permitem o aproveitamento máximo dos componentes, sem que estes sejam danificados pelo calor produzido. Normalmente são utilizados somente para dissipar o calor dos

componentes eletrônicos para a atmosfera. Apresentam-se nas mais variadas formas, tamanhos e materiais, geralmente metálicos devido a necessidade de boa condução térmica.

Os dissipadores também são chamados de “Trocadores de calor” na indústria, quando utilizados para permutar energia térmica entre dois produtos distintos, e de “Economizador”, quando aplicados nos processos de modo a aproveitar a energia térmica obtida no fim de uma determinada etapa, para a etapa seguinte.

Neste projeto, a proposta é construir um sistema que transforme um dissipador em um trocador economizador térmico, ou seja, que esse elemento aproveite a energia térmica da massa de ar que está saindo do sistema de desumidificação, resfriando o ar que está entrando, e dessa forma economizando a energia que seria necessária para tal. Na figura 7, pode-se visualizar alguns modelos de dissipadores.

Figura 7 – Dissipadores de calor



Fonte: Adaptado de <http://overbr.com.br/reviews/review-dissipador-mk-13-a-arma-para-placas-de-video-da-prolimatech> e outros

2.7 RECUPERAÇÃO TÉRMICA

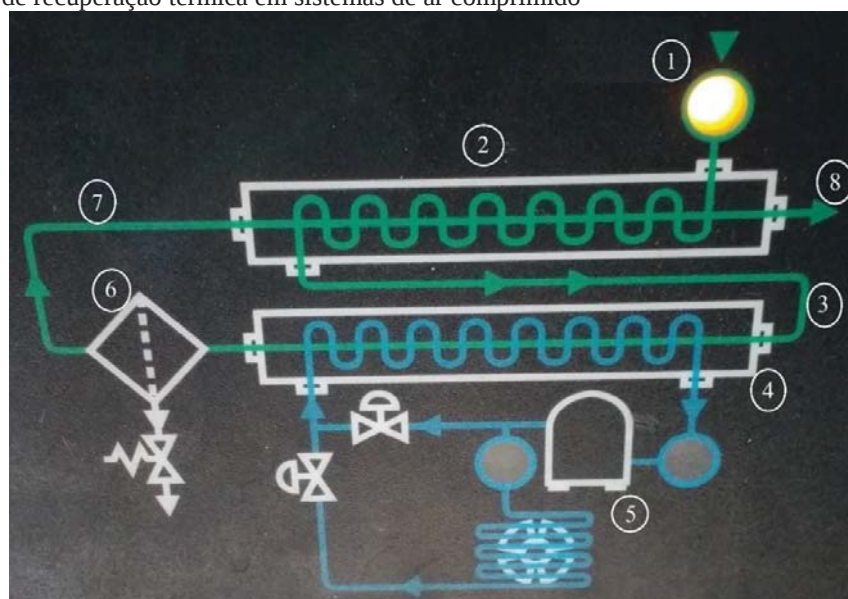
Nas atividades profissionais do autor, dentro das indústrias onde trabalhou, foi observado a frequente existência de equipamentos utilizados na troca de energia térmica. Os trocadores de calor são utilizados no aquecimento ou resfriamento do produto de interesse. Os economizadores são utilizados na recuperação térmica, ou seja, reutiliza-se a energia que o produto recebeu durante o processo de aquecimento, para elevar a temperatura do produto que

está entrando no sistema, com isso, não somente economiza-se água gelada que seria utilizada para esfriar o produto, mas também o vapor utilizado para o aquecimento daquele que estaria entrando no processo.

Este foi um exemplo simbólico de como a recuperação térmica funciona, pois existem muitos processos diferentes e meios de aquecimento e resfriamento, não somente com água gelada e vapor. Importante salientar que a recuperação térmica pode e deve ser utilizada em produtos que foram aquecidos, mas também naqueles que foram resfriados, como o exemplo a seguir.

Assim como o exemplo acima citado, o método de recuperação térmica é também utilizado em sistemas de ar comprimido. Nos equipamentos utilizados para retirar a umidade excessiva do ar, visto que a UR do ar que foi comprimido deve ser retirada a fim de não prejudicar os equipamentos pneumáticos onde o ar é utilizado, geralmente é utilizado o método de desumidificação por resfriamento, onde o ar úmido e quente que sai do sistema de compressão é resfriado, de modo a diminuir sua capacidade de carregar umidade como foi visto em 2.3. Para otimizar a eficácia do equipamento, visto que seria necessária muita energia para somente resfriar o ar, então, utiliza-se da técnica de recuperação térmica, na qual o ar que está entrando no sistema passa por um pré-resfriamento, utilizando o ar já resfriado e desumidificado que está saindo dele. Na figura 8 é possível identificar a representação de um sistema que utiliza o processo de recuperação térmica em um equipamento secador de ar utilizado em indústrias. Ele conta com um compressor de gás para a retirada de energia térmica do ar comprimido e de modo a ser mais eficiente na desumidificação, utiliza o método de recuperação térmica.

Figura 8 – Processo de recuperação térmica em sistemas de ar comprimido



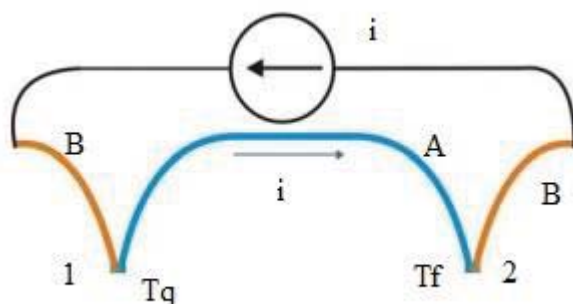
Para o melhor entendimento do processo, segue a descrição do funcionamento do método de recuperação térmica utilizada no equipamento.

O ar quente e úmido entra em (1), passa pelo trocador economizador recuperador térmico (2), já pré-refrigerado (3), passa por (4) onde é refrigerado ao máximo possível pelo gás refrigerante do sistema de refrigeração (5). Ao sair de (4) o ar está muito frio e, portanto, sem grande capacidade de transportar água e por esse motivo, estrategicamente foi colocado neste ponto um separador de condensado (6) que deixará passar o ar, mas drenará o condensado, portanto, o ar (7) está seco e frio e ao retornar ao (2) onde resfriará o ar quente e úmido que está entrando no sistema. Por fim, o (8) identifica a saída de ar “seco” do sistema de secagem de ar.

2.8 CÉLULAS DE EFEITO PELTIER

O efeito Peltier é conhecido desde 1834, foi quando o francês Jean Charles Athanase Peltier descobriu, que ao passar uma corrente elétrica CC através de duas junções de condutores de diferentes materiais, uma delas esfria e a outra aquece criando um diferencial de temperatura entre ambas as junções. Se o sentido da corrente for invertido, a junção que estava aquecendo, esfria e aquela fria, aquece (MOURA, 2010). Na figura 9, verifica-se de forma visual o efeito peltier, onde, i representa a corrente elétrica CC circulando, 1 e 2 são as junções entre os condutores de diferentes metais A e B e ainda T_q é a temperatura do lado quente e T_f a temperatura do lado frio.

Figura 9 – Efeito Peltier



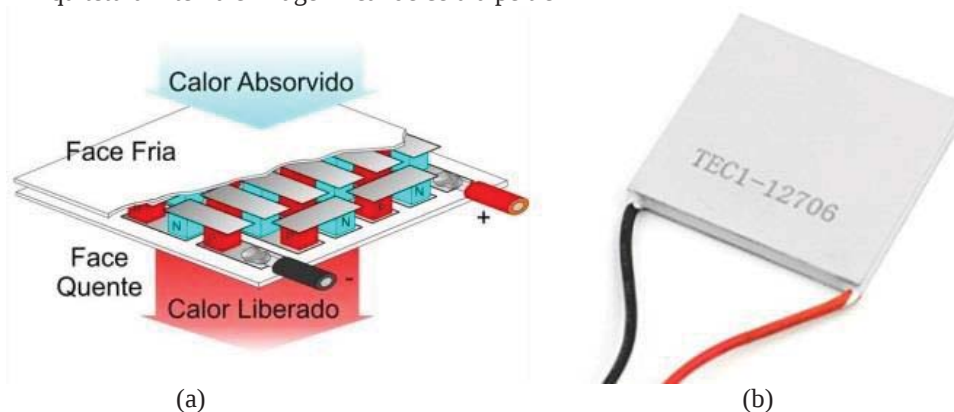
Fonte: Adaptado de (MOURA, 2010)

Essa propriedade é oposta, ou complementar, ao efeito Seebeck, descoberto em 1821, o qual gera um diferencial de tensão quando duas junções entre diferentes tipos de metal são submetidas a diferentes temperaturas (SOUZA, 2007).

As células de efeito peltier, também conhecidos como módulos de efeito peltier, modulo de refrigeração termoelétrica e células peltier, são aglomerados de junções de diferentes materiais semicondutores distintos (tipo P e tipo N), ligados eletricamente em série e dispostos de tal maneira que ao passar uma corrente CC por elas, um dos lados da estrutura esquenta e o outro esfria.

Na figura 10, pode-se visualizar, (a), a arquitetura interna e (b), uma imagem real de uma célula peltier disponível comercialmente.

Figura 10 – Arquitetura Interna e Imagem real de célula peltier



Fonte: Adaptado da internet

Apesar dos avanços tecnológicos de construção e materiais utilizados nas células peltier, a eficiência delas na condução de calor ainda é considerada baixa se comparada com sistemas que utilizam compressão e expansão de gás para transporte de calor, como por exemplo, os sistemas contemporâneos de ar condicionado. Geralmente são utilizados em aplicações onde não há espaço suficiente para um sistema com compressor.

Os diferenciais da pastilha peltier são o fato de serem componentes compactos, sem partes móveis, sem necessidade de manutenção, facilmente controláveis, podem trabalhar em qualquer posição, esquentam ou esfriam dependendo somente do sentido de corrente imposta, não utiliza nenhum tipo de gás e não geram ruídos. No entanto, são necessários cuidados específicos quando da utilização delas, pois todo o calor que passou do lado frio para a face quente e adicionalmente o calor gerado pela passagem da corrente pela célula deve ser obrigatoriamente dissipado (no lado quente) de modo a não danificar a pastilha e para isso são comumente utilizados dissipadores com dimensões bastante expressivas. A Observância da tensão e corrente que por ela circular também é objeto de preocupação e obrigatoriamente devem estar dentro dos limites estipulados pelo fabricante.

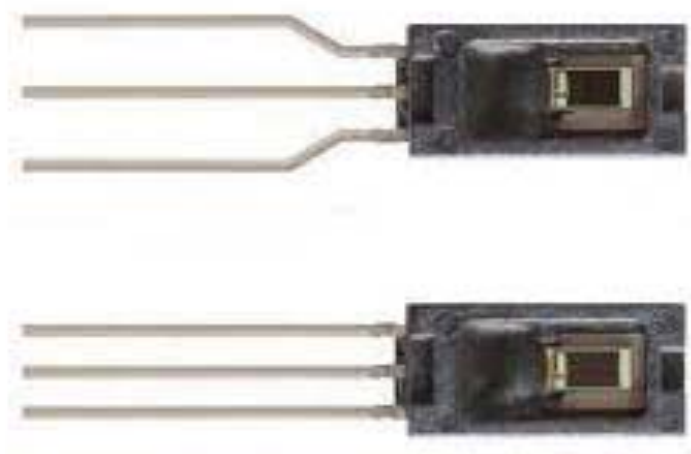
2.9 SENSORES DE TEMPERATURA E UMIDADE

Nesta seção serão apresentados alguns modelos de sensores de temperatura e umidade.

2.9.1 Sensor de Umidade hih-4000-003

O sensor de umidade HIH-4000-003, da marca Honeywell, apresenta saída de sinal analógica proporcionar a umidade relativa do ar, estabilidade garantida de 1,2%UR em 5 anos, pode operar de -40°C a $+85^{\circ}\text{C}$, de 0 a 100%UR, e a alimentação na faixa entre 4 e 5,8V (HONEYWELL, 2015). Segue na figura 11, uma imagem do sensor.

Figura 11 – Sensor de umidade HIH-4000-003, Honeywell



Fonte: (HONEYWELL, 2015)

2.9.2 Sensor de Temperatura hel-705 series

O sensor da série HEL-705, da marca Honeywell, é um sensor de temperatura do tipo RTD, com resistência de 100 Ohm a 0°C , varia e resistência conforme a temperatura num coeficiente de 0,0038/Ohm/ohm/ $^{\circ}\text{C}$. Pode operar de -70°C a $+260^{\circ}\text{C}$, (HONEYWELL, 2016). Segue na figura 12, uma imagem ampliada do sensor.

Figura 12 – Sensor de temperatura HEL-705 series, Honeywell



Fonte: (HONEYWELL, 2016)

2.9.3 Sensor de Umidade e Temperatura da série hih-6000

O sensor de umidade da série HIH-6000, da marca Honeywell, é um sensor combinado de temperatura e umidade, apresenta saída de sinal digital (I²C ou SPI), estabilidade garantida de 1,2%UR em 5 anos, precisão de 0,5°C, pode operar de -40°C a +100°C e de 0 a 100%UR, e a alimentação de 3,3V (HONEYWELL, 2015). Segue na figura 13, uma imagem ampliada do sensor.

Figura 13 – Sensor de umidade e temperatura da série HIH-6000, Honeywell



Fonte: (HONEYWELL, 2015)

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Este capítulo tem por objetivo descrever de forma detalhada os componentes e o método utilizado para a elaboração do protótipo.

3.1 ESTRUTURA MECÂNICA DO PROTÓTIPO

Para alojar os componentes do protótipo, tais como a câmara fria do desumidificador, o dissipador das faces quentes, a fonte, as placas dos circuitos e a tela sensível ao toque foi confeccionado um suporte em MDF e acrílico com medidas aproximadas de 510mm x 290mm x 235mm (LxAxP), na qual foram fixados os componentes acima descritos resultando no protótipo com dimensões aproximadas de 515mm x 325mm x 340mm (LxAxP). A figura 14 apresenta duas vistas da estrutura mecânica final do protótipo onde é possível visualizar detalhes construtivos.

Cada componente do protótipo está apresentado no item 3.2.

Figura 14 – Estrutura mecânica final do protótipo.



Fonte: O autor

3.1.1 Câmara Fria do Desumidificador

Para a câmara fria do desumidificador foi utilizada uma caixa de isopor com medidas aproximadas de 340mm x 310mm x 230mm (LxAxP).

Numa das laterais da caixa foi realizado um recorte retangular de modo a permitir o encaixe da chapa de alumínio instalada nas faces frias das células peltier utilizadas. Na figura 15 é possível visualizar detalhes da caixa utilizada e da abertura realizada na caixa, onde a chapa do lado frio das células foi acoplada.

Figura 15 – Câmara fria do desumidificador



Fonte: O autor

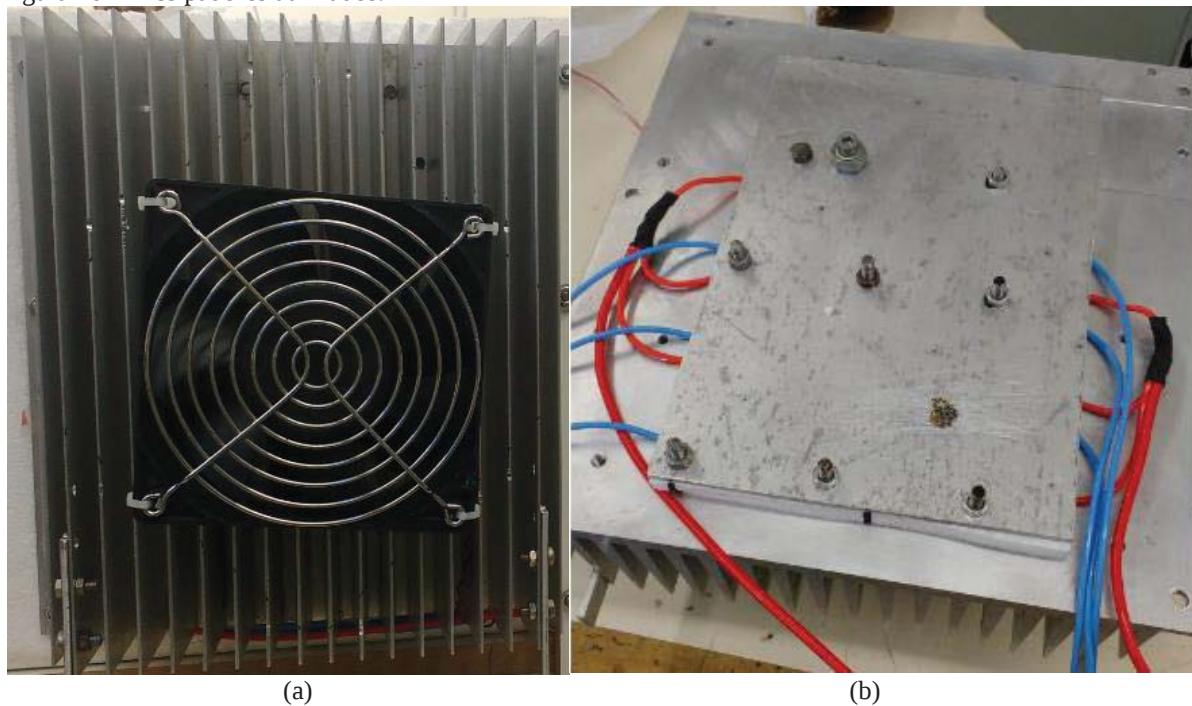
3.1.2 Dissipadores

O dissipador utilizado nas faces quentes das células peltier utilizadas é de alumínio, aletado, com medidas totais de 230mm x 250mm x 65mm (LxAxP) e peso de aproximadamente 5kg.

Nas faces frias das células peltier foi utilizado uma chapa de alumínio com as seguintes medidas, 135mm x 195mm x 3mm (LxAxP). Na figura 16 pode-se visualizar (a) as aletas do dissipador de calor com o ventilador instalado e (b) a montagem final do conjunto de

dissipadores com as ligações definitivas das células peltier antes da instalação na câmara fria do protótipo.

Figura 16 – Dissipadores utilizados.



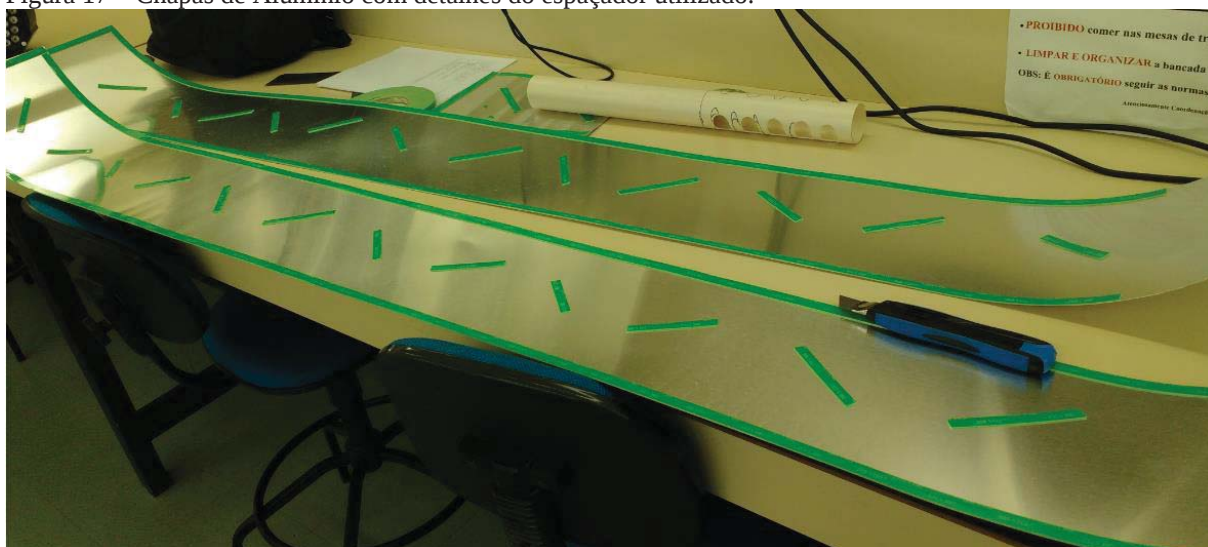
Fonte: O autor

3.1.3 Trocador Economizador Térmico

O trocador economizador térmico foi construído utilizando-se duas chapas de alumínio com espessura de 0,3mm, largura de 200mm e comprimento de 2 metros, sendo estas dispostas em espiral contornando um tubo de PVC de 50mm de diâmetro, tendo entre as chapas espaçamento inicial de aproximadamente 1mm.

Para o espaçamento inicial utilizou-se fita dupla face de 1mm de espessura, e após reconstruído com espaçamento entre as chapas de aproximadamente 3mm. Espaçamento este obtido com a fita dupla face (1mm) e complementado com tiras de EVA de aproximadamente 2mm de espessura, recortadas na mesma largura que a fita dupla face e justapostas de forma a terem suas espessuras somadas. Na figura 17 é possível visualizar as duas chapas utilizadas para a elaboração do trocador economizador antes da montagem, já com as fitas dupla face utilizadas na separação das chapas.

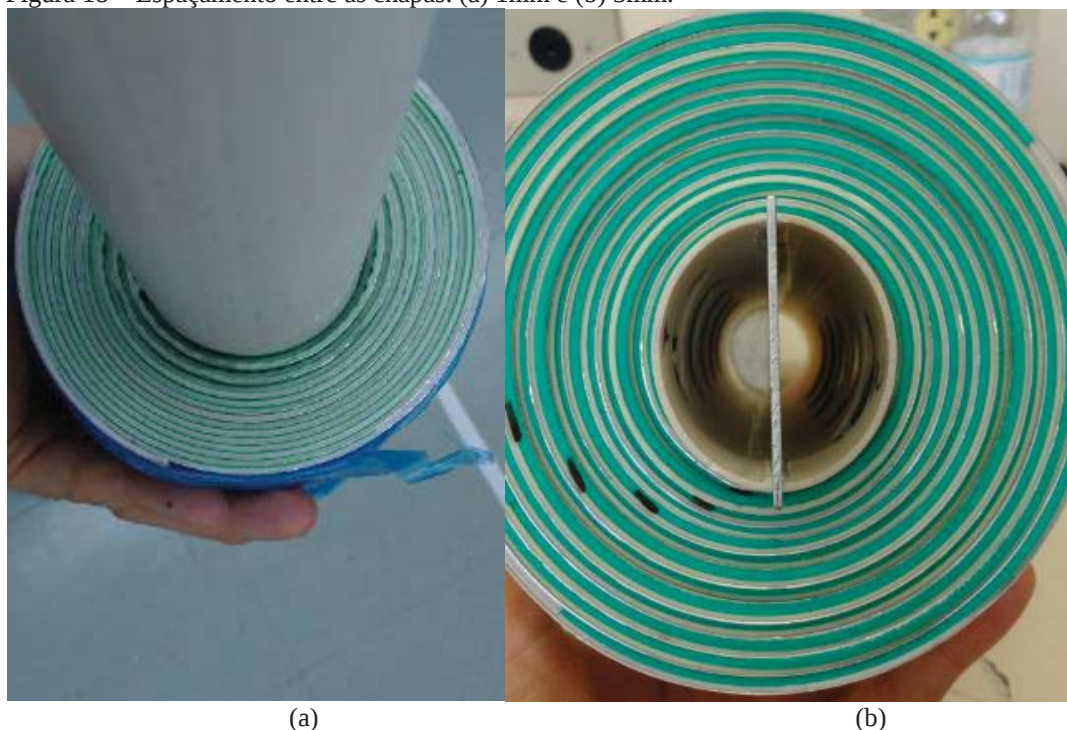
Figura 17 – Chapas de Alumínio com detalhes do espaçador utilizado.



Fonte: O autor

Na figura 18 é possível ver em detalhes da construção do trocador, do espaçamento inicial de 1mm (a) e após a reconstrução, já com 3mm de espaçamento entre as chapas (b) e também a chapa que divide o tubo ao meio separando os fluxos de ar de entrada e saída.

Figura 18 – Espaçamento entre as chapas. (a) 1mm e (b) 3mm.



(a)

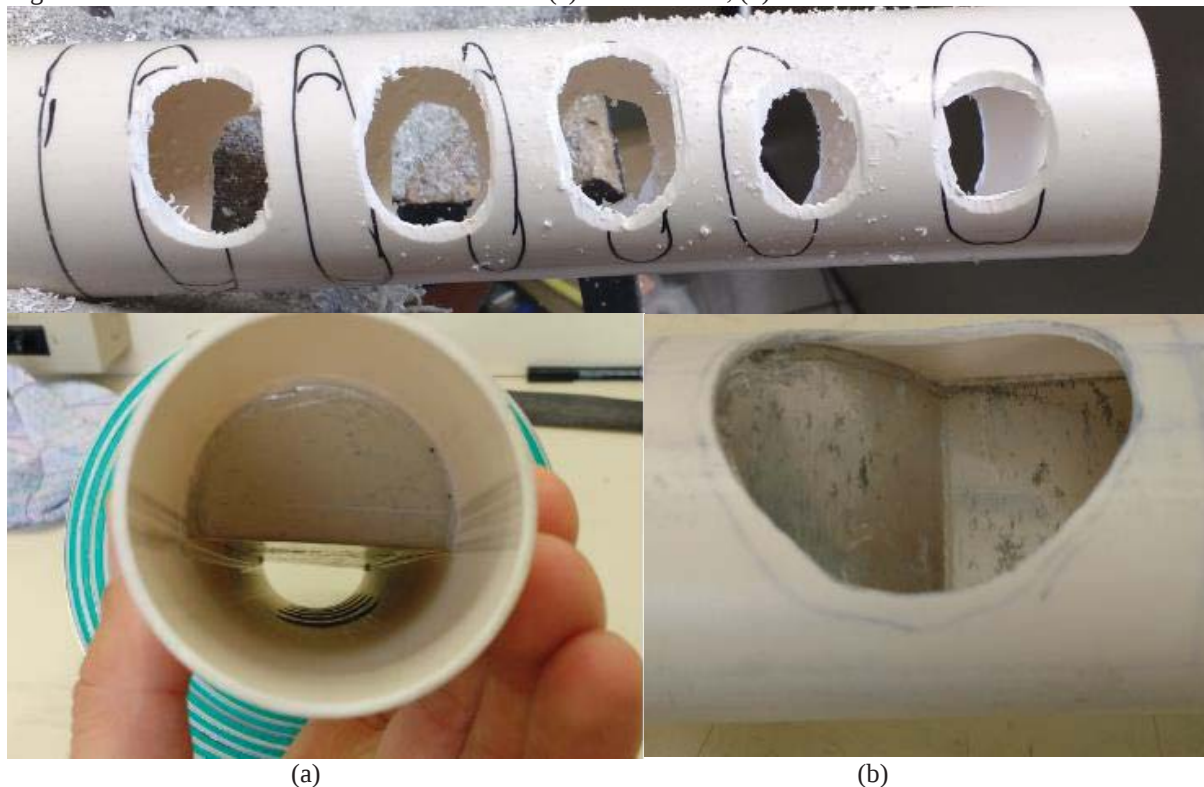
(b)

Fonte: O autor

O tubo de PVC utilizado como base para o trocador economizador térmico tem diâmetro de 50mm e comprimento de 350mm. Nele foram abertos alguns orifícios por onde o ar pode entrar e sair pelas laterais, percorrendo um caminho específico para entrar na câmara gelada do

desumidificador e outro para sair. Para separar os fluxos de entrada e saída do ar no interior do tudo foi utilizada uma chapa de alumínio, auxiliando inclusive na troca térmica. Na figura 19 é possível visualizar o tubo em meio ao procedimento de preparação da base do trocador economizador e da chapa de alumínio utilizada na separação dos fluxos de ar e também é possível visualizar detalhes da entrada (a) e saída do ar (b).

Figura 19 – Tubo base do trocador economizador. (a) Entrada de ar, (b) saída de ar.



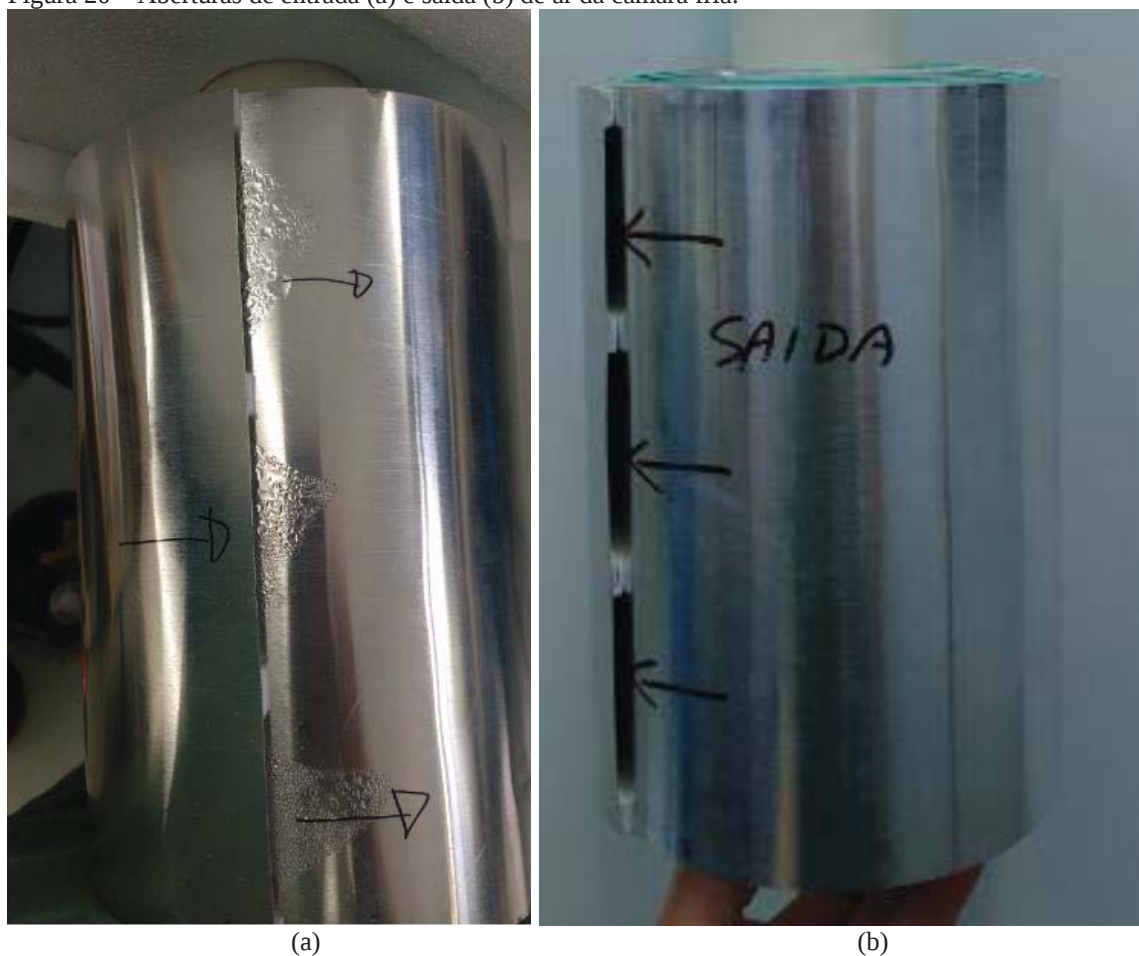
Fonte: O autor

O funcionamento do trocador economizador consiste basicamente na troca térmica do ar quente e úmido que entra no desumidificador e o ar frio e seco que está saindo.

O ar que entra no trocador através do topo do tubo é separado do ar que está saído pela chapa de alumínio que divide o tubo ao meio e é forçado a passar através das aberturas feitas em uma das laterais do tubo percorrendo todo o comprimento da chapa utilizada até chegar na câmara fria do desumidificador.

A Câmara fria do desumidificador é enclausurada e, portanto, o ar que entrou nela é obrigado a sair através do trocador em contra fluxo ao ar que está entrando, trocando calor pelas chapas de alumínio e saindo do trocador por uma abertura lateral do tubo. Na figura 20 é possível ver detalhes das aberturas do trocador, por onde o ar entra na câmara fria do desumidificador (a) após percorrer todo o trocador e no lado oposto a abertura de entrada existe a abertura por onde o ar entra no trocador (b), saindo, portanto, da câmara fria.

Figura 20 – Aberturas de entrada (a) e saída (b) de ar da câmara fria.



Fonte: O autor

Para forçar o ar a entrar na câmara fria do protótipo foram utilizados 3 diferentes tamanhos de ventiladores, com potências e capacidades diferentes. A seguir serão descritos com maiores detalhes cada um deles e as adaptações necessárias para a utilização.

3.1.3.1 Ventilador 1.0 do trocador economizador

O primeiro sistema confeccionado utilizou dois ventiladores do tipo cooler com medidas de 70mm x 70mm x 15mm (LxAxP), alimentação de 12V e consomem 0,15A cada, que foram sobrepostos de modo que o fluxo de ar do primeiro, obrigatoriamente, passasse pelo segundo, somando assim a pressão dos dois ventiladores. Na figura 21 pode-se visualizar a montagem sobreposta descrita acima.

Figura 21 – Coolers sobrepostos do sistema 1.0 de ventilação



Fonte: O autor

Para direcionar o ar dos ventiladores para o topo do tubo de forma suave e gradativa, evitando perdas, foi confeccionado um cone de isopor com medidas externas de mesmo tamanho que as dos ventiladores e orifício de 50mm para encaixar no tubo base do trocador economizador. Na figura 22 podem-se visualizar as duas peças de isopor que foram utilizadas para a confecção do cone, tendo suas medidas testadas no tubo base do trocador. A peça de baixo será fixada no topo do tubo e a peça de cima direcionará o ar para dentro dele.

Figura 22 – peças do cone do sistema 1.0 de ventilação do trocador economizador



Fonte: O autor

Confeccionou-se um tubo quadrado de chapa de alumínio de 0,3mm de espessura, que foi recortada e dobrada de maneira a envolver e unir o cone e os coolers, direcionando o ar dos ventiladores para o cone e posteriormente ao tubo base do trocador economizador.

Para garantir que todo o fluxo dos ventiladores fosse direcionado para o trocador economizador, foi utilizado silicone para vedar toda e qualquer abertura existente. Na figura 23 pode-se visualizar o sistema 1.0 de ventilação já finalizado e instalado no topo do tubo do trocador economizador.

Figura 23 – ventilador 1.0



Fonte: O autor

3.1.3.2 Ventilador 2.0 do trocador economizador

No segundo sistema confeccionado utilizou-se um ventilador do tipo cooler com medidas de 120mm x 120mm x 15mm (LxAxP), alimentação de 12V e consumo aproximado de 1A.

Para direcionar o ar do ventilador para o topo do tubo de forma suave e gradativa e evitando perdas, foi confeccionado um cone de isopor. Com medidas externas de mesmo tamanho que as do ventilador e orifício de 50mm para encaixar no tubo base do trocador economizador. Na figura 24 podem-se visualizar as duas peças de isopor que após serem coladas uma na outra, foram utilizadas para a confecção do cone.

Figura 24 – cone do sistema 2.0 de ventilação do trocador economizador



Fonte: O autor

Para garantir que todo o fluxo do ventilador fosse direcionado para o trocador economizador, foi utilizado uma fita elástica plástica para vedar toda e qualquer abertura existente entre o ventilador e o cone confeccionado em isopor.

Na figura 25 pode-se visualizar o sistema 2.0 de ventilação já finalizado e instalado no topo do tubo do trocador economizador.

Figura 25 – ventilador 2.0



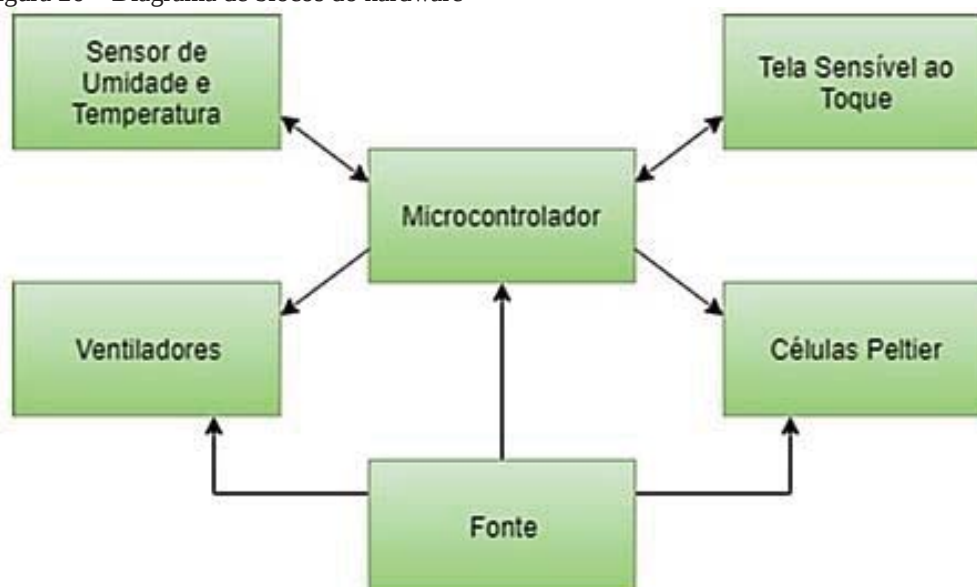
Fonte: O autor

3.2 HARDWARE

Este item tem por objetivo descrever as interações entre os componentes utilizados na confecção do protótipo além do detalhamento das especificações de cada componente utilizado.

Na figura 26, pode-se verificar um diagrama de blocos do hardware que foi implementado.

Figura 26 – Diagrama de blocos do hardware



Fonte: O autor

No diagrama é possível verificar que o microcontrolador trocará informações com a tela sensível ao toque e com o sensor de umidade e temperatura e enviará comandos para acionar os ventiladores e as células peltier. A fonte alimenta todo o sistema, com exceção do sensor de umidade e temperatura HTU21D e da tela sensível ao toque, pois ambos serão energizados pela própria placa do microcontrolador.

3.2.1 Células Peltier

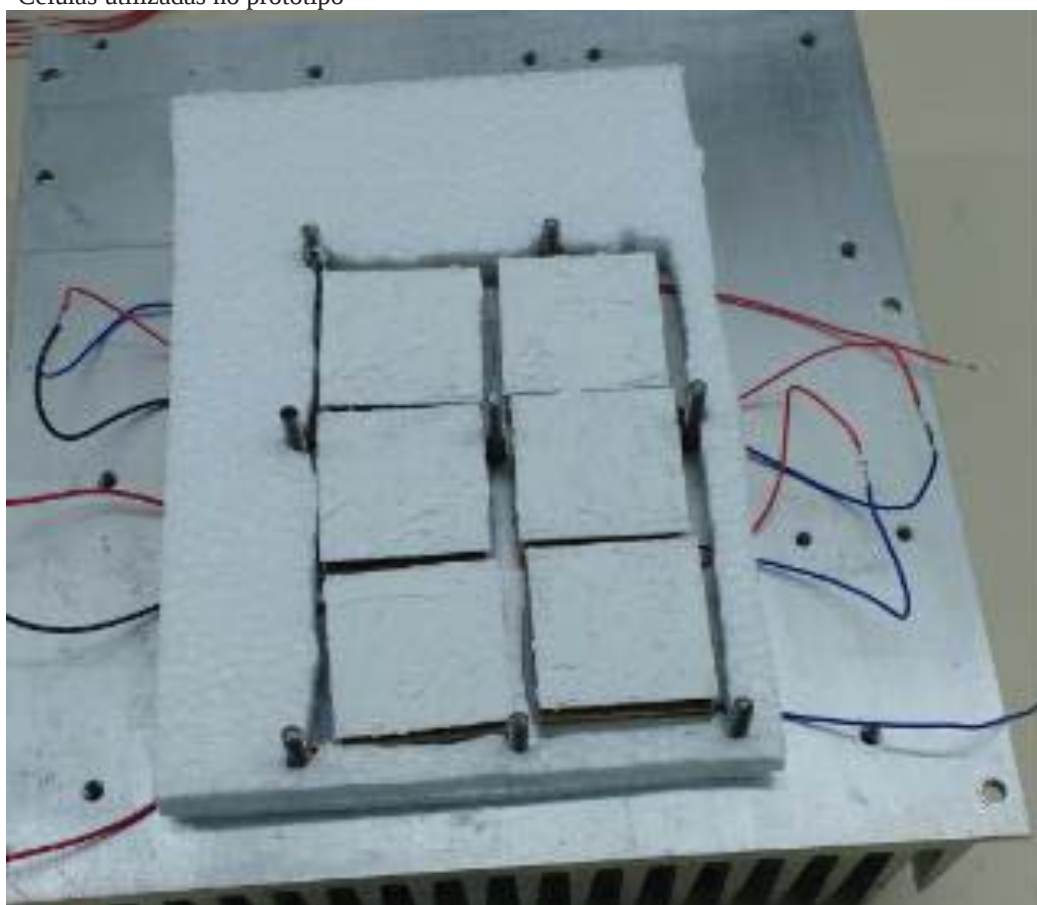
As células peltier utilizadas no projeto foram retiradas de fornos de calibração danificados. Estes, projetados para alcançar temperaturas entre -25°C a 140°C, sendo as células peltier o meio utilizado para atingir as temperaturas descritas.

As células peltier utilizadas, por serem de equipamentos específicos, tinham também a função específica de atingir um diferencial de temperaturas bastante elevado entre suas faces, quando assim solicitado.

Para o projeto do desumidificador por resfriamento, quanto menor a temperatura atingida dentro da câmara fria, onde o ar úmido será resfriado de modo a reduzir sua capacidade de transportar umidade, forçando a umidade deste ar a condensar, melhor será o resultado.

Na figura 27, é possível visualizar as 6 células peltier utilizadas no protótipo, a forma como foram dispostas e o isopor utilizado de isolante entre o dissipador do lado quente e a chapa do lado frio.

Figura 27 – Células utilizadas no protótipo



Fonte: O autor

3.2.2 Ventiladores do Tipo Cooler

O protótipo conta com 4 ventiladores do tipo cooler, de tamanhos e potências diferentes. O ventilador utilizado no dissipador do lado quente das células peltier é o mais potente utilizado no protótipo, tem dimensões de 120mm x 120mm (LxA) e alimentado com 12V, consome aproximadamente 1A. Para evitar acidentes com as pás do ventilador foi utilizado uma grade metálica de proteção.

O ventilador que auxilia na circulação do ar no interior da câmara fria do desumidificador, propiciando uma melhor condensação da umidade do ar que entra na câmara, possui dimensões de 50mm x 50mm (LxA), é acionado com tensão de 12V e consome aproximadamente 80mA.

A fonte de alimentação utilizada também conta com um cooler de 90mm x 90mm, de 12V, consome aproximadamente 150mA.

O quarto ventilador instalado, utilizado para ventilar os dissipadores dos transistores que fazem o chaveamento das células peltier é de 12V e consome aproximadamente 120mA e tem dimensões de 90mm x 90mm (LxA).

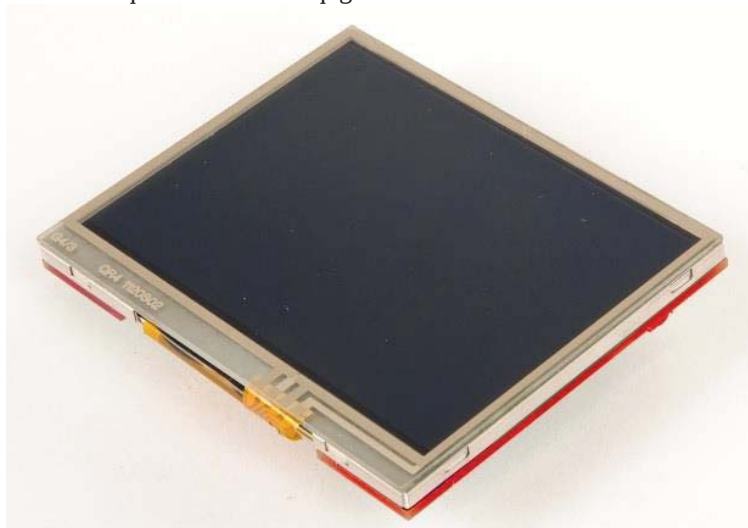
3.2.3 Tela Sensível ao Toque

A tela sensível ao toque é uma tecnologia relativamente nova, apesar de muito difundida em smartphones, tablets, laptops e demais equipamentos de informática, automotivos e em algumas aplicações industriais.

O custo relativamente baixo, facilidade e praticidade na utilização dos equipamentos que a possuem, tornam a tela sensível ao toque muito versátil, pois eliminam botões e display de LED das aplicações e seus respectivos circuitos de alimentação e controle.

Em equipamentos comerciais de desumidificação, o uso da tela sensível ao toque não é uma prática e, portanto, este projeto propõe este diferencial, de integrar uma tela sensível ao toque ao protótipo de modo a torná-lo prático, moderno e arrojado. Na figura 28, pode-se visualizar a tela que, foi utilizada no projeto.

Figura 28 – Tela Sensível ao Toque Boostxl-k350qvg-s1



Fonte: <http://www.ti.com/tool/BOOSTXL-K350QVG-S1>

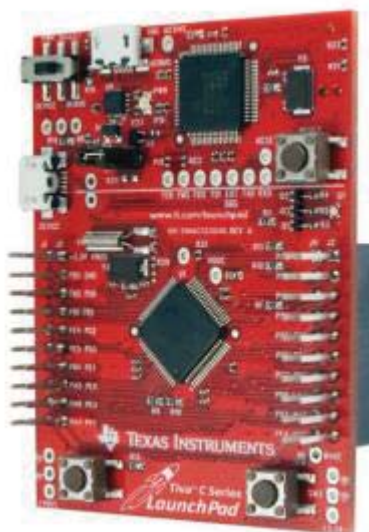
Esta tela é um módulo composto de um display colorido de 3,5 polegadas resolução de 320 x 240 pixel, com interface de comunicação SPI e sistema de toque resistivo, além das conexões mecânicas e elétricas especialmente dispostas para o uso com o kit EK-TM4C123GXL Launchpad, sem necessidade de adaptadores.

3.2.4 Microcontrolador

O microcontrolador é o responsável pelo processamento dos cálculos necessários para o funcionamento do protótipo, pelo monitoramento dos sinais dos sensores a fim de manter o controle dos acionamentos e ainda gerencia a tela sensível ao toque e as indicações e opções de interação com o usuário nela apresentadas.

O modelo de microcontrolador escolhido é o mesmo utilizado durante o curso, assim aplicando e aprimorando os conhecimentos adquiridos na graduação. Trata-se do TM4C123GH6PM presente no kit EK-TM4C123GXL Launchpad, da Texas Instruments, mostrado na figura 29.

Figura 29 – EK-TM4C123GXL Launchpad

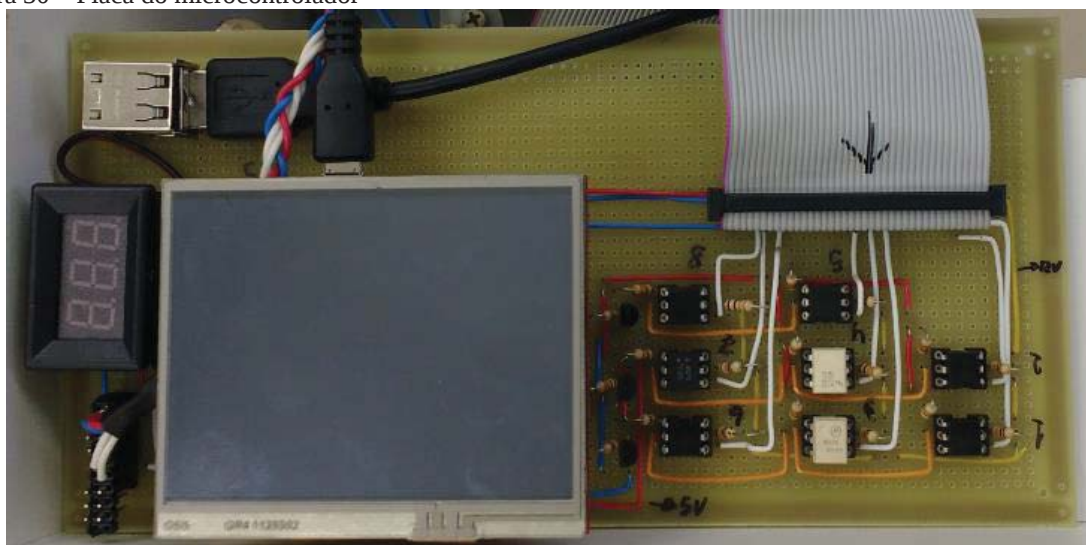


Fonte: <http://www.ti.com/tool/EK-TM4C123GXL>

3.2.5 Placas dos Circuitos

As placas dos circuitos foram confeccionadas em fenolite universal padrão perfurada e ilhada. A placa onde o microcontrolador foi instalado mede 10 x 20cm e pode ser visualizada na figura 30.

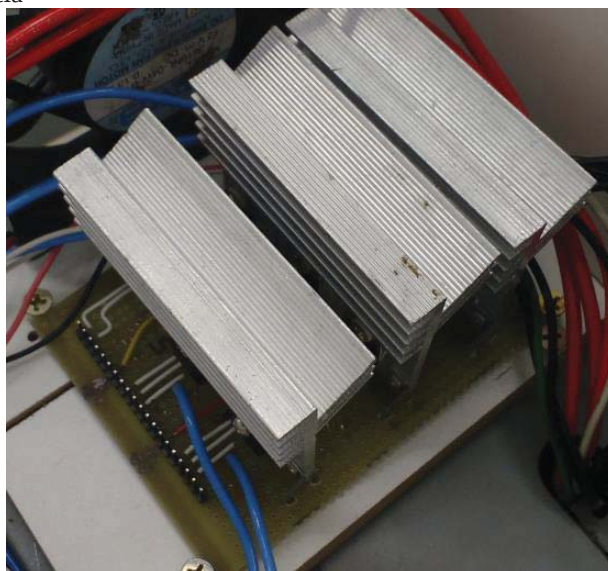
Figura 30 – Placa do microcontrolador



Fonte: O autor

A placa onde os transistores de potência foram dispostos, mede 8 x 10cm e nela foram realizadas as conexões com a fonte. Na figura 31 é possível visualizar a placa de potência já instalada no protótipo com os dissipadores utilizados nos transistores de potência.

Figura 31 – Placa de potência



Fonte: O autor

Para a ligação entre as placas foi utilizado um cabo flat retirado de um computador antigo.

3.2.5.1 Circuitos dos acionamentos

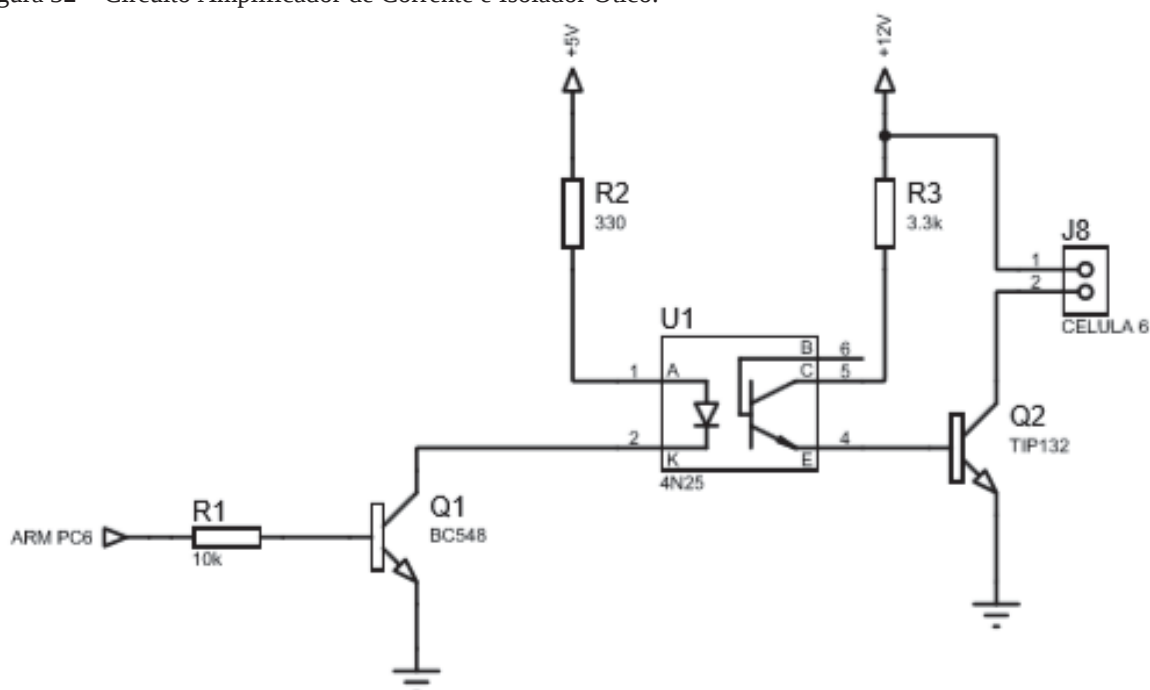
Para o acionamento das células e dos ventiladores, foi projetado um circuito capaz de amplificar a capacidade de corrente dos pinos de saída do microcontrolador e também isolar os diferentes níveis de tensão utilizados.

Cada saída utilizada foi conectada, através de um resistor de $10k\Omega$ (R1 da figura 32), na base de um transistor BC548 e este, por sua vez, aciona o LED do optotransistor 4N25.

Para limitar a corrente do LED do 4N25 foi utilizado um resistor de 330Ω (R2 da figura 32).

O transistor utilizado para o acionamento das células peltier e dos coolers foi o TIP132, devido a necessidade de que este precisa suportar, no mínimo, os 3A de corrente que as células trabalham. A base do TIP132 é acionada através do optotransistor 4N25 e tem a corrente limitada por um resistor de $3,3k\Omega$ (R3 da figura 32). Na figura 32 é possível visualizar o circuito descrito acima.

Figura 32 – Circuito Amplificador de Corrente e Isolador Ótico.



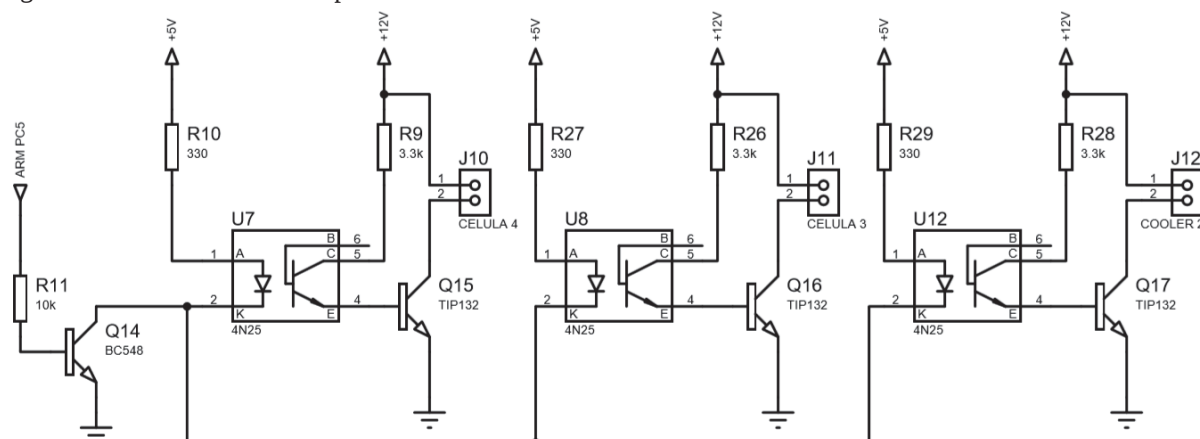
Fonte: O autor

Para reduzir a quantidade de saídas utilizadas do microcontrolador e os componentes utilizados, cada transistor BC548 aciona 2 ou 3 optotransistores 4N25. Foram utilizadas 3 saídas do microcontrolador para um total de 8 acionamentos, sendo 6 células peltier e dois coolers distribuídos em dois acionamentos triplos e um acionamento duplo. Cada Optotransistor do

protótipo está sendo acionado com 10,3mA no LED e, portanto, cada BC548 deve chavear no máximo 30,9mA no caso em que este aciona 3 optotransistores 4N25 simultaneamente, desta forma, estando bem abaixo dos 100mA para qual foi configurado, garantindo o chaveamento dos 3 optoacopladores.

Na figura 33 é possível visualizar o esquema de um dos acionamentos múltiplos do protótipo.

Figura 33 – Acionamento múltiplo.



Fonte: O autor

3.2.5.2 Cálculo dos Componentes dos Acionamentos

O resistor R1 (da figura 32) limita a corrente drenada do pino de saída do microcontrolador que vai para a base dos transistores BC548 que pelas medições realizadas apresentaram um ganho de aproximadamente 440 vezes.

$$IR1 = \left(\frac{100\text{mA (Máx IC Q1)}}{440 (hFE)} \right) = 227\mu\text{A}$$

$$R1 = \left(\frac{2,5\text{V}}{227\mu\text{A}} \right) = 11,45\text{k}\Omega$$

Optando-se pelo valor comercial disponível de 10kΩ.

A medição de tensão realizada em R1 após a implementação resultou em 2,5V e, portanto, uma queda de 0,8V entre a Base e o Emissor (VBE) do BC548, resultando em uma corrente de 250uA.

Para o resistor R2, (da figura 32) que limita a corrente do diodo do optoacoplador, em observância a folha de dados do componente, optou-se por um valor de corrente próximo a 10mA, sendo este o valor de testes do próprio fabricante. A tensão de queda típica e máxima do diodo LED do 4N25 é de 1,3V e 1,5V respectivamente.

$$R2 = \left(\frac{3,5V}{10mA} \right) = 350\Omega$$

Optando-se pelo valor comercial disponível de 330Ω.

Nas medições realizadas, o valor de queda no resistor de 330Ω foi de 3,4V e uma corrente de 10,3mA.

O resistor R3 (da figura 32) limita a corrente de base do transistor darlington TIP132, utilizado para o acionamento das cargas do protótipo, que tem ganho mínimo de 1000 vezes, segundo a folha de dados. Como as correntes médias máximas das células utilizadas são de 3A, a corrente mínima necessária é de 3mA na base do transistor e, portanto, no resistor R3. A tensão utilizada para alimentação dos circuitos de potência foi de 12V e considerando queda de 1,4V no VBE do TIP132 a tensão em R3 é de 10,6V. Para garantir o chaveamento considerou-se uma corrente de 30mA, ou seja, 10 vezes maior que a mínima necessária.

$$R3 = \left(\frac{10,6V}{30mA} \right) = 353k\Omega$$

Sendo adotado o valor comercial de 330Ω.

Nas medições realizadas, a tensão média foi de 10,1V no resistor R3 e, portanto, uma corrente média de 30,6mA, que por sua vez garante o chaveamento do TIP132.

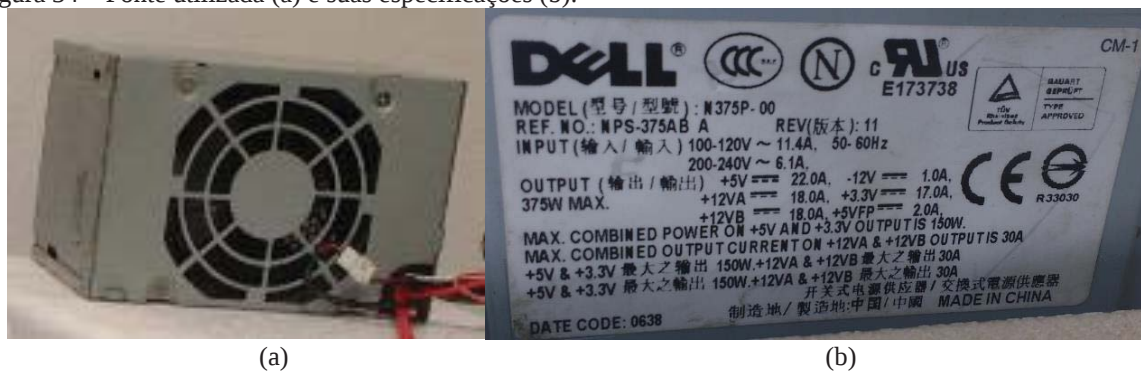
3.2.6 Fonte

A fonte utilizada para o projeto é da marca Dell, modelo N375P-00, potência máxima de 375W, dispõe de saídas com tensões de 3,3V, 5V, -12V e 12V e capacidade de até 30A de corrente quando combinados os dois links de 12V, sendo suficiente para suprir as necessidades do protótipo.

Para o protótipo foram utilizados os dois links de saídas 12V, com consumo máximo de 22A e também foi utilizada a saída de 5V, mas neste o consumo será de menos de 1A, suficiente para alimentar a placa do microcontrolador e os optotransistores modelo 4N25.

Na figura 34 é possível ver uma imagem da fonte (a) e suas especificações (b).

Figura 34 – Fonte utilizada (a) e suas especificações (b).



Fonte: O autor

3.2.7 Sensor de Umidade e Temperatura HTU21D

O sensor de umidade e temperatura utilizado foi o HTU21D, pois, por questões financeiras, o componente utilizado estava disponível no almoxarifado do curso e trata-se de um sensor já montado em uma pequena placa onde já existem os dois resistores de Pull-Up de 4,7k Ω para os canais de clock e dados bastando fazer a ligação através de uma pequena ilha que deve ser soldada com estanho de modo a conectar as trilhas dos resistores ao pino VCC.

O sensor possui comunicação I2C, resolução de 12 bits tanto para temperatura quanto para a umidade, tem precisão de 3%UR, alcance total na escala de umidade e pode trabalhar de -40°C a 125°C e aceita alimentação de 3,3V facilitando a ligação diretamente na placa do microcontrolador. Na Figura 35 pode-se visualizar o sensor utilizado e já conectado.

Figura 35 – Sensor de umidade e temperatura HTU21D

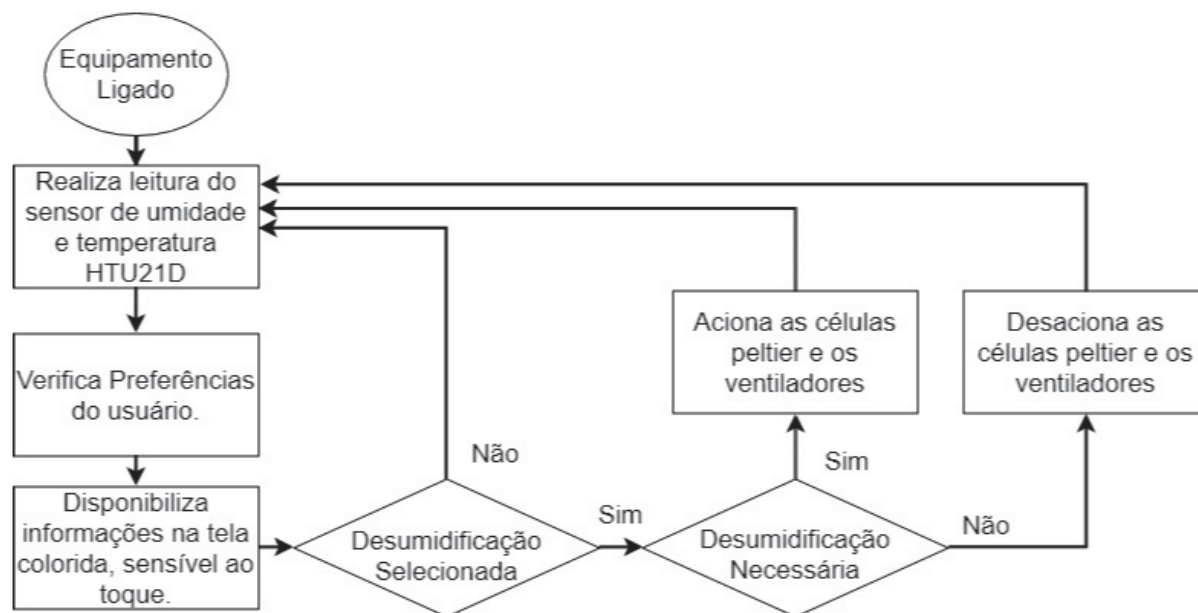


Fonte: O autor

3.3 FIRMWARE

De modo geral, o firmware monitora o sensor de umidade e temperatura HTU21D instalado, realiza a verificação das preferências do usuário e informa através da tela colorida sensível ao toque o status de operação e as condições ambientais, além de solicitar o acionamento das células peltier para que, se necessário, seja diminuída a umidade do ambiente. Na figura 36 está representado o fluxograma do firmware do projeto.

Figura 36 – Fluxograma do Firmware



Fonte: O autor

3.3.1 Predefinições do Firmware

Como a faixa de umidade ideal para o ser humano é de 40 a 60%UR e nessa faixa também as bactérias e microrganismos tem sua proliferação prejudicada, foi então predefinida a umidade desejada em 50%, podendo ser modificada pelo usuário.

Para o bom funcionamento do protótipo, aproveitando a eficiência máxima do equipamento, foi predefinida uma histerese de 5%UR de modo que a desumidificação desligará automaticamente quando baixar 5%UR da umidade desejada e ligará também de forma automática ao elevar-se em 5%UR do valor de umidade desejada.

3.3.2 Telas de Interação e Operação do Desumidificador

Para a operação do equipamento, acionamento da função desumidificação e escolha da umidade desejada, foram implementadas duas telas distintas ao protótipo.

Quando o equipamento é conectado à energia elétrica, o sistema vai para a tela inicial, que disponibiliza as informações de umidade e temperatura, além da opção de acionamento da função desumidificação do equipamento através do botão “LIGAR” posicionado na parte superior da tela. Na figura 37, é possível visualizar a tela inicial do desumidificador.

Figura 37 – Tela Inicial do desumidificador



Fonte: O autor

Ao ser acionada, a função desumidificação do equipamento, através do ícone “LIGAR” no topo de tela inicial o sistema abre a tela de operação. A tela de operação indica a umidade e temperatura ambiente, a umidade desejada, e ainda disponibiliza 3 ícones funcionais. Cada um dos ícones disponíveis na tela de operação tem funções específicas e serão descritos a seguir.

O ícone “DESLIGAR” que está localizado na parte superior da tela de operação tem a função de desligar a função desumidificação do equipamento.

O Ícone que está localizado na parte inferior esquerda da tela de operação, identificado por uma borda verde claro e o símbolo de “MENOS” no centro, tem a função específica de diminuir a umidade desejada, em uma unidade. Ao ser pressionado, após 200ms, o valor indicado abaixo da escrita “UMIDADE DESEJADA” diminui uma unidade.

O Ícone que está localizado na parte inferior direita da tela de operação, identificado por uma borda verde claro e o símbolo de “MAIS” no centro, tem a função específica de aumentar a umidade desejada, em uma unidade. Ao ser pressionado, após 200ms, o valor indicado abaixo da escrita “UMIDADE DESEJADA” aumenta uma unidade. Na figura 38 pode-se visualizar a tela de operação do protótipo.

Figura 38 – Tela de Operação



Fonte: O autor

3.4 CÂMARA DE TESTES

Nesta seção estão descritas as características construtivas da câmara de testes confeccionada para a realização de testes do protótipo e o método utilizado para a construção e os equipamentos utilizados.

3.4.1 Estrutura Mecânica da Câmara de Testes

Para a estrutura da Câmara de testes utilizou-se uma chapa de MDF com medidas iniciais de 1,8m de altura, 2,7m de largura e 15mm de espessura, que foi seccionada de modo a montar um cubo com medidas externas aproximadas de 900mm x 900mm x 900mm (LxAxP).

Para a fixação das partes foram utilizados parafusos específicos para madeira. Na figura 39 é possível visualizar 4 das 6 chapas utilizadas para montar a estrutura externa da câmara de testes antes de serem parafusadas umas nas outras.

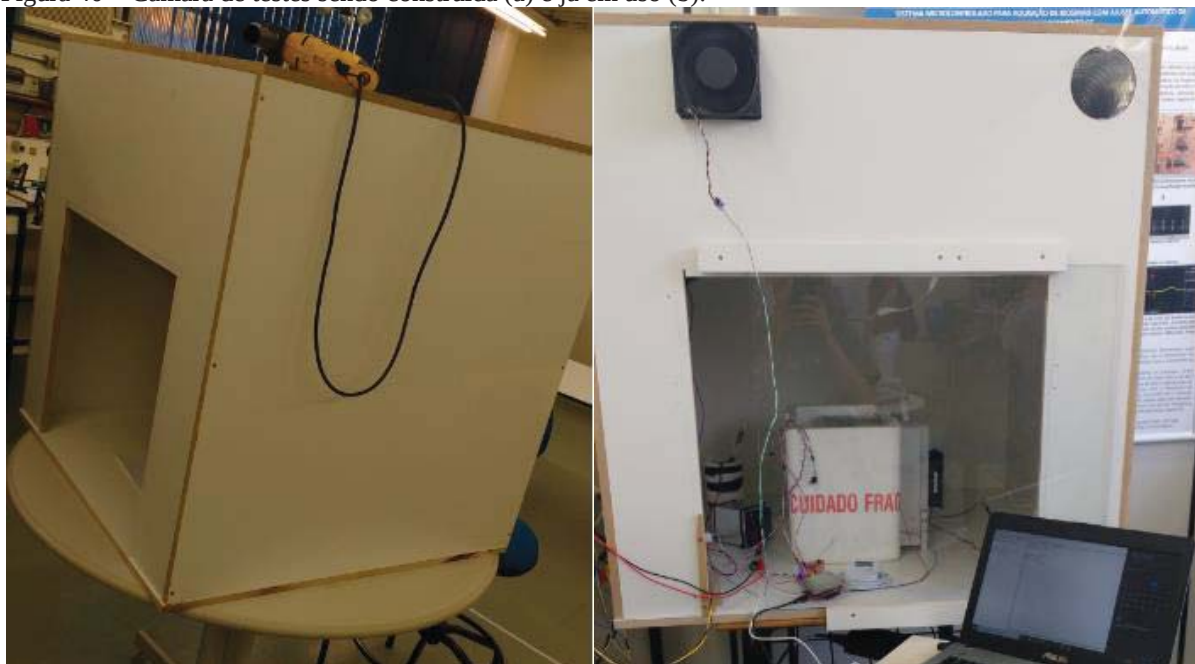
Figura 39 – Chapas de MDF prontas para serem montadas



Fonte: O autor

Para a visualização dos equipamentos dispostos dentro da câmara de testes, assim como para o manuseio, existe uma abertura de aproximadamente 600mm x 600mm (LxA) na qual foi colocado um vidro e este corre em chanfros dispostos de tal forma que é possível abrir e fechar o vidro lateralmente, como uma porta de correr. Na figura 40 é possível visualizar a estrutura da câmara de testes com as 6 faces parafusadas umas nas outras (a) e a montagem final (b), já sendo utilizada.

Figura 40 – Câmara de testes sendo construída (a) e já em uso (b).



(a)

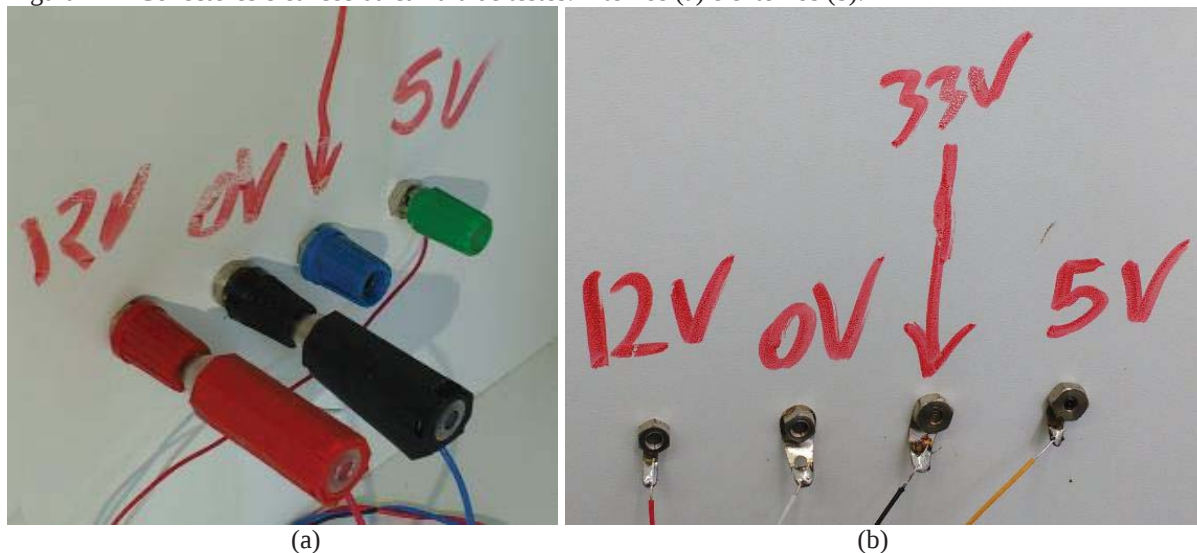
(b)

Fonte: O autor

Para a realização dos testes, garantindo as condições de umidade e temperatura internas da câmara, foram instalados conectores elétricos nas laterais internas da câmara, de modo que estes atravessassem as paredes de MDF, sendo acessados eletricamente pelas laterais externas, possibilitando assim as conexões necessárias às fontes de energia da bancada de forma prática,

sem a necessidade da abertura da porta. Na figura 41, é possível visualizar os conectores elétricos instalados na câmara de testes na parte interna (a) e externa (b).

Figura 41 – Conectores elétricos da câmara de testes. Internos (a) e externos (b).



Fonte: O autor

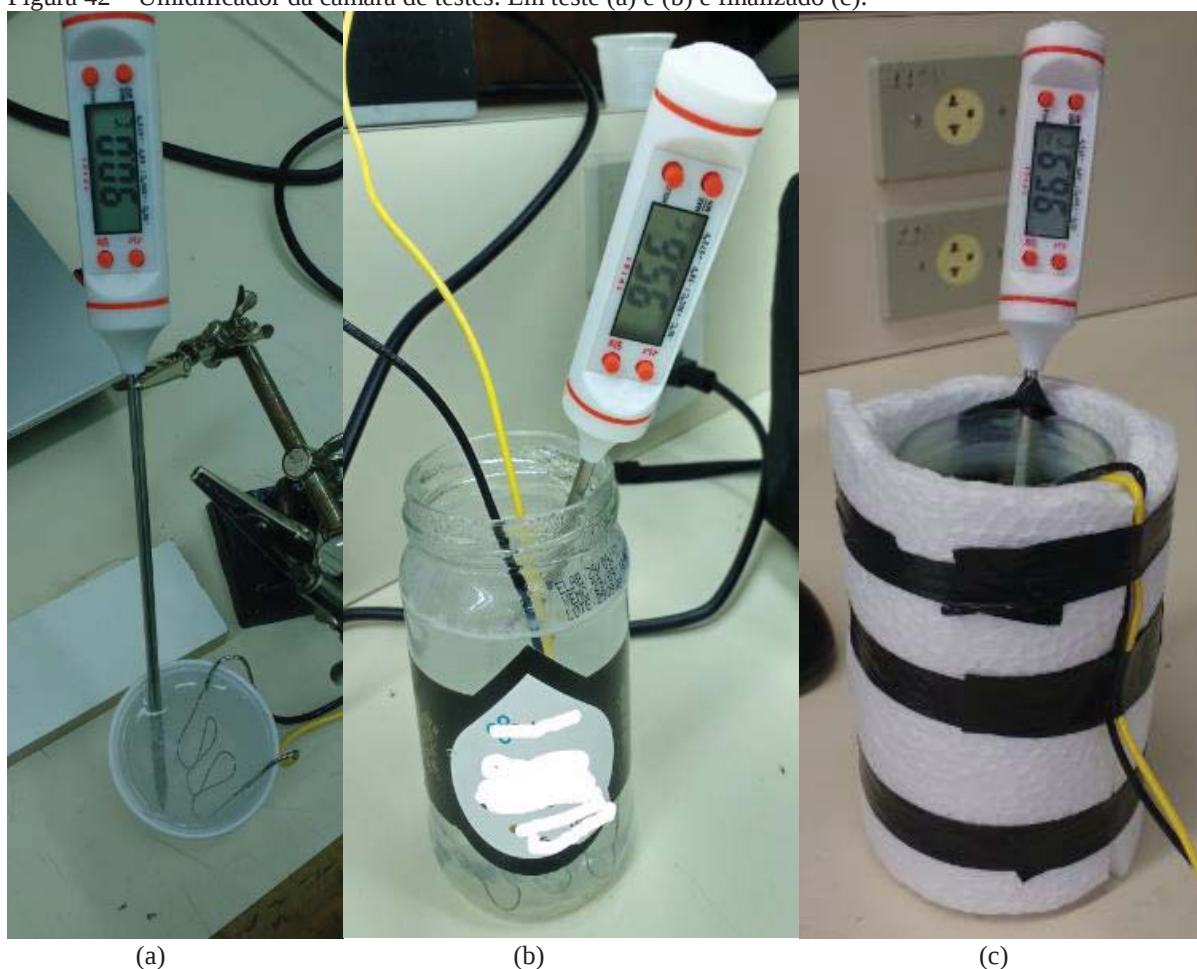
3.4.2 Umidificador

Para a manutenção da umidade dentro da câmara de testes foi construído um umidificador. Utilizando-se aproximadamente 20cm de fio de liga níquel-cromo, de 0,5mm de diâmetro e resistividade de $8,4\Omega/\text{m}$, disponível no almoxarifado do curso, foi confeccionada uma resistência que é utilizada para aquecer água. A evaporação gerada umidifica a câmara de testes.

Utilizando as fontes de bancada é possível aumentar ou diminuir a velocidade de evaporação de modo a manter a umidade da câmara de teste dentro dos limites esperados, sendo 80%UR com variação máxima de 3%UR ao longo dos testes.

Por funcionar através de aquecimento, o frasco de vidro utilizado foi revestido com duas camadas de 5mm de isopor, de modo que a influência da temperatura da água dentro do pote não interferisse significativamente, por condução, na temperatura da câmara de testes. Na figura 42 é possível visualizar (a) e (b), alguns testes realizados com o umidificador e (c) o equipamento finalizado.

Figura 42 – Umidificador da câmara de testes. Em teste (a) e (b) e finalizado (c).



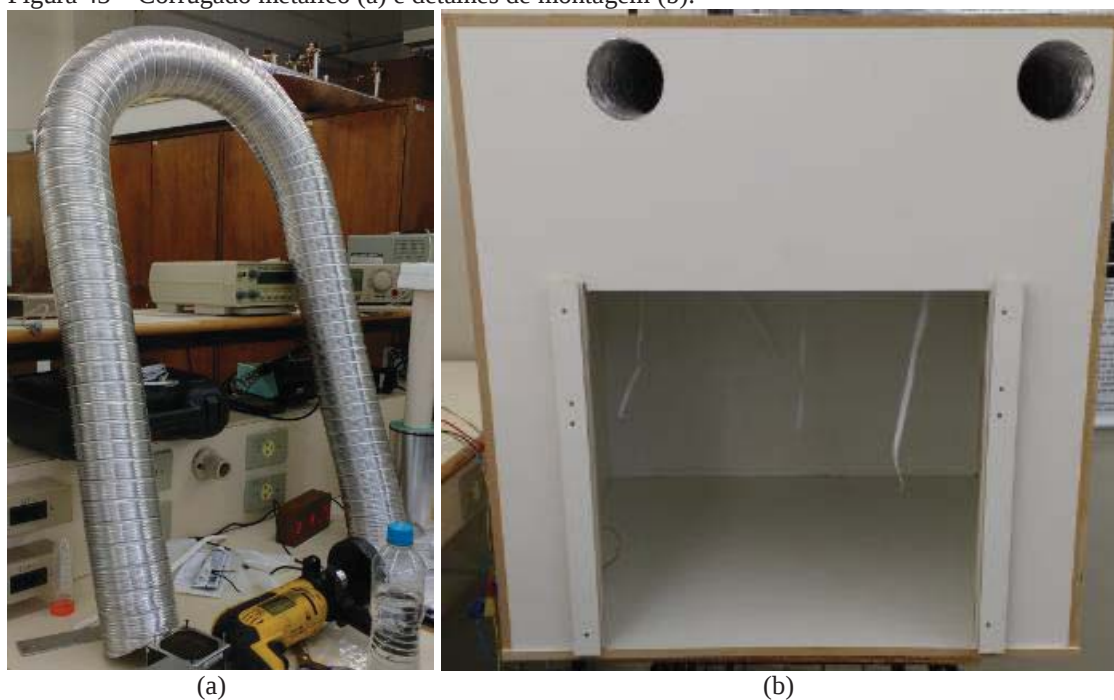
Fonte: O autor

3.4.3 Refrigeração da Câmara de Testes

Para auxiliar na manutenção interna da temperatura da câmara de testes, instalou-se internamente a ela, na parte mais alta possível, um tubo sanfonado de alumínio, que pode ser visto na figura 43, sendo que os extremos, através de orifícios de diâmetro compatível, acessam a parte externa da câmara.

Numa das aberturas de acesso ao tubo e pelo lado de fora da câmara foi instalado um ventilador do tipo cooler de forma que, se necessário, ao ser acionado, este ventilador provoque um fluxo de ar no interior do tubo sanfonado. Este fluxo de ar, com temperatura inicial menor que a temperatura interna da câmara, percorre toda a extensão do tubo sanfonado, absorvendo energia térmica através do tubo metálico, provocando uma diminuição da temperatura no interior da câmara de testes ou redução na velocidade de aumento, sem comprometer a umidade interna da câmara visto que o fluxo de ar, que percorre o tubo sanfonado, não acessa o interior da câmara. Na figura 43 é possível visualizar o tubo sanfonado (a) que foi utilizado, antes da instalação e (b) os orifícios pelos quais o tubo acessa a parte externa da câmara de testes.

Figura 43 – Corrugado metálico (a) e detalhes de montagem (b).



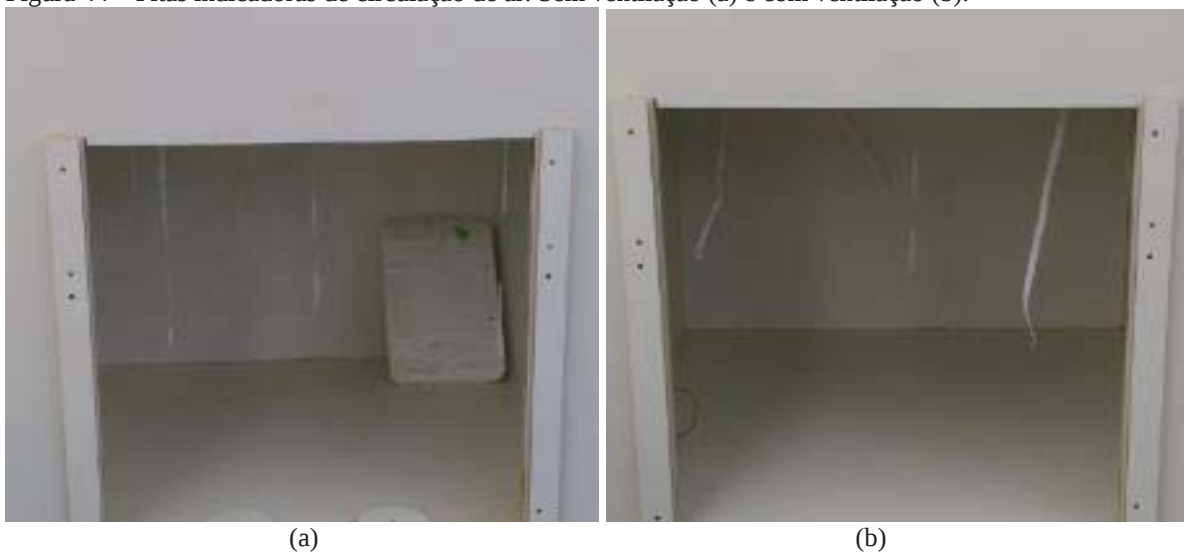
Fonte: O autor

3.4.4 Ventilação Interna

Para garantir a constante homogeneização das condições de umidade e temperatura dentro da câmara de testes, foi implementado um sistema de ventilação, que provoca uma leve circulação do ar no interior da câmara.

Foram utilizados coolers disponíveis no almoxarifado, que serão devolvidos após a finalização dos testes. A quantidade de coolers foi definida observando-se a movimentação do ar dentro da câmara de testes, acrescentando-se ventiladores até que visualmente observou-se uma leve movimentação do ar dentro da câmara através de algumas finas tiras de papel instaladas na parte interna do teto da câmara, que se movimentam e balançam juntamente com a circulação do ar, assim como pode ser visto na figura 44(b).

Figura 44 – Fitas indicadoras de circulação de ar. Sem ventilação (a) e com ventilação (b).



Fonte: O autor

Na figura 45, pode-se visualizar os ventiladores utilizados na circulação interna do ar da câmara de testes.

Figura 45 – Ventiladores internos da câmara de testes



Fonte: O autor

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão descritos, os testes realizados durante a construção do protótipo e a análise dos resultados obtidos em cada teste.

4.1 IDENTIFICAÇÃO DO LADO FRIO DAS CÉLULAS (TESTE 1)

Este teste teve por objetivo a identificação do lado frio das células disponíveis.

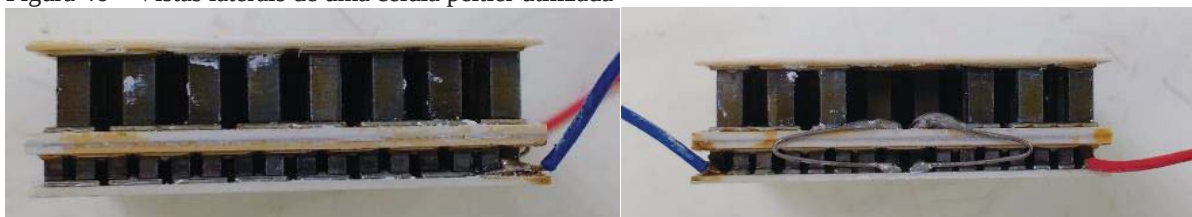
Inicialmente foi ajustada, na fonte de bancada, uma tensão de teste de 1V e corrente limitada em 1A. Ao ser energizadas com a tensão de 1V as células testadas permitiram a passagem de aproximadamente 0,23A sendo suficiente para em poucos instantes, identificar através do tato qual das faces estava aquecida e qual das faces estava com temperatura menor que a inicial.

Neste teste pode ser observado que a corrente inicial, assim que aplicada a tensão aos terminais das células, quando ambas as faces das células estavam na mesma temperatura, atingiu 0,26A e após decorrido aproximadamente 10 segundos e já com temperaturas diferentes entre as faces das células testadas a corrente medida foi de 0,2A. Foi possível então, identificar um comportamento dependente da corrente em função da diferença de temperatura entre as faces das células.

Tendo as células utilizadas, uma construção projetada para a maior diferença de temperatura entre as faces e por este motivo ter a construção bastante específica e diferenciada das comercialmente disponíveis, montadas em série térmica e eletricamente, foi possível identificar visualmente, olhando-se lateralmente para as células as características construtivas de cada um dos lados.

Neste teste foi possível identificar que os lados frios das células utilizadas estão no lado oposto às conexões elétricas e possuem junções em menor número e construtivamente mais robustas. Na figura 46, é possível ver a lateral das células utilizadas no protótipo, sendo a face fria, a parte superior das imagens mostradas.

Figura 46 – Vistas laterais de uma célula peltier utilizada



Fonte: O autor

4.2 DIFERENÇA DE TEMPERATURA ENTRE AS FACES DAS CÉLULAS (TESTE 2)

Este teste teve por objetivo verificar a máxima diferença de temperatura alcançada entre as faces das células disponíveis.

Para este teste foram utilizadas duas células ligadas eletricamente independentes de modo a permitir o monitoramento individual, da tensão e corrente nelas aplicadas.

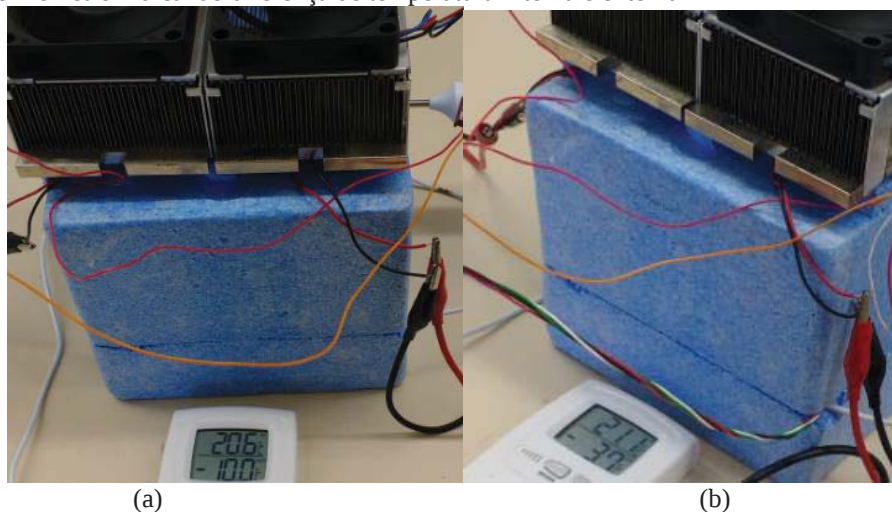
Nas faces frias das células foi utilizado um dissipador de alumínio e este introduzido em bloco de isopor de forma a que a temperatura atingida seja melhor monitorada e não apresente influência das condições ambientais.

Nas faces quentes foram utilizados dois dissipadores dotados de um ventilador cada.

Neste teste foi possível atingir 30,6°C de diferença entre as faces, com temperatura mínima de -10°C, medida no interior da caixa de isopor.

Após decorrido alguns minutos da máxima temperatura diferencial atingida entre as faces, a temperatura do lado frio subiu e a diferença alcançou estabilidade em 24,8°C. Na figura 47, é possível visualizar os equipamentos utilizados e as temperaturas diferenciais máxima (a) e depois de estabilizada (b).

Figura 47 – Termômetro indicando diferença de temperatura interna e externa



Fonte: O autor

Foi possível identificar a formação, bastante significativa, de gelo entre os dissipadores dos lados frios e quentes das células. Constatou-se, portanto, a real necessidade da instalação de isolamento térmico entre os dissipadores de forma que as condições ambientais não interfiram no resultado pretendido pelas perdas ocasionadas pela falta do isolamento térmico.

Na figura 48 é possível visualizar a formação de gelo na lateral das duas células utilizadas no teste 2.

Figura 48 – Formação de gelo nas células



Fonte: O autor

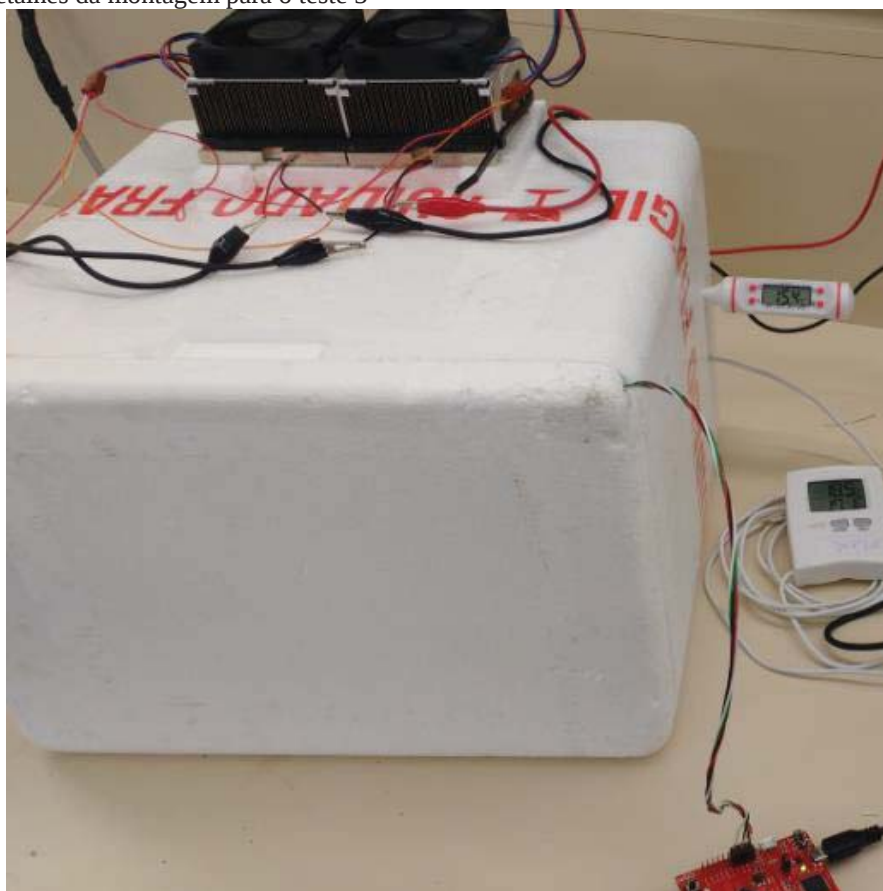
Para este teste as células foram energizadas com tensão próximo de 11V e a corrente estabilizou próximo de 3A, sendo que o consumo das células neste teste, foi em média 33W cada célula.

4.3 TEMPERATURA MÍNIMA DA CÂMARA FRIA (TESTE 3)

Este teste foi realizado de modo a verificar qual a mínima temperatura seria alcançada na câmara fria utilizada no protótipo.

Neste teste utilizaram-se duas células peltier e uma caixa de isopor com medidas aproximadas de 340mm x 310mm x 230mm (LxAxP), dissipadores e coolers. Na figura 49 é possível verificar os equipamentos utilizados no teste.

Figura 49 – Detalhes da montagem para o teste 3



Fonte: O autor

A corrente nas células foi mantida em 3,15A durante todo o procedimento.

Com a caixa de isopor mantida fechada, iniciou-se o teste com temperatura ambiente de 18°C. Após as duas horas de teste com a temperatura estável a 30 minutos, atingiu-se aproximadamente 24°C de diferença entre a temperatura ambiente e a do interior da caixa de isopor, atingindo o mínimo de -6,0°C. Na tabela 1 pode-se verificar os dados coletados durante o teste 3.

Tabela 1 – Dados coletados no teste 3

Horário	Temperatura Interna
13:30 Início	17,1°C
13:40	11,2°C
13:50	4,8°C
14:00	0,6°C
14:10	-2,0°C
14:20	-3,5°C
14:30	-4,5°C
14:40	-5,1°C
14:50	-5,5°C
15:00	-5,7°C
15:10	-5,9°C
15:20	-6,0°C
15:30 fim	-6,0°C

Fonte: O autor

Neste teste, foi possível verificar a necessidade da instalação de um maior número de células peltier ao protótipo, pois apesar de alcançar uma temperatura de -6°C no interior da câmara fria do mesmo o tempo necessário para alcançar tal temperatura ainda está muito longo.

4.4 AUMENTO DA EFICIÊNCIA POR SOBRETENSÃO (TESTE 4)

Este teste teve o objetivo de verificar o aumento da eficiência de transferência de energia térmica das células peltier com o aumento da tensão e corrente nelas aplicadas.

Com a temperatura estável dentro da câmara fria do protótipo iniciou-se este teste aumentando-se a tensão aplicada nas células e por consequência ocasionando aumento na corrente.

O aumento aplicado na tensão foi de 50%, passando de 21,7V, aplicado nas duas células que estavam conectadas em série, para 32,55V resultando num aumento de 44,7% na corrente que passou de 3,15A para 4,56A.

O resultado obtido após uma hora de teste foi que o aumento provocado na tensão e corrente não resulta numa resposta positiva, tanto em consumo como em eficiência das células,

pois houve um aumento expressivo na potência aplicada às células chegando a 217,16% e a temperatura interna da câmara fria do protótipo apresentou aumento de 1,5°C.

4.5 DESUMIDIFICAÇÃO SEM VENTILAÇÃO NA CÂMARA FRIA (TESTE 5)

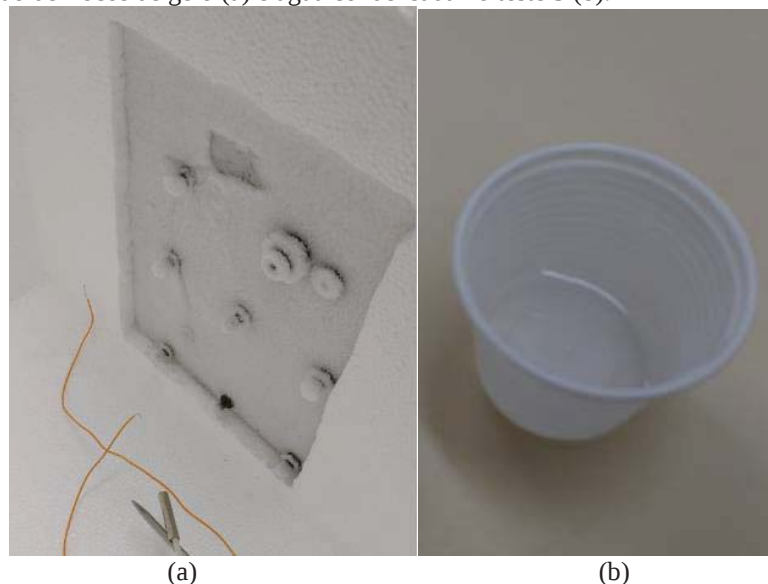
Este teste teve o objetivo de verificar o desempenho do desumidificador, mantendo-se a câmara fria aberta e sem ventilação.

Para este teste foram utilizadas 6 células ficando uma célula das 7 disponíveis como reserva.

No teste a temperatura mínima interna registrada foi de 0,0°C logo nos primeiros 20 minutos, tendo seu aumento gradativo até atingir 7,3°C ao final do teste. A diferença de temperatura entre a parte interna da câmara fria e a temperatura ambiente foi de 10,4°C. A temperatura ambiente inicial deste experimento era 16,1°C e ao final, estava em 17,7°C.

Apesar da grande formação de flocos de gelo (a), o resultado obtido em condensação foi de apenas 5ml (b) nas 3 horas de duração do teste como pode ser visto na figura 50.

Figura 50 – Formação de flocos de gelo (a) e água condensada no teste 5 (b).



Fonte: O autor

A condensação deste teste equivale a 1,66ml/h ou 40ml/dia.

4.6 DESUMIDIFICAÇÃO COM VENTILAÇÃO NA CÂMARA FRIA (TESTE 6)

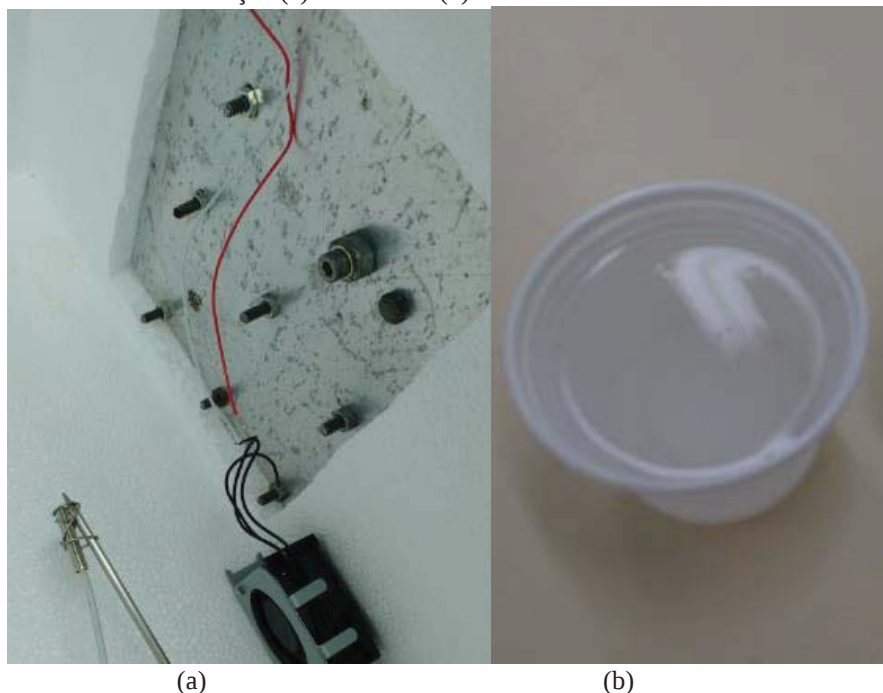
Com duração de 3 horas, o objetivo deste teste foi verificar o desempenho do desumidificador, mantendo-se a câmara fria aberta, porém, com ventilação, complementando o teste anterior, como base de dados para os futuros testes onde será utilizado o trocador economizador de calor.

Durante o teste, a temperatura mínima interna registrada foi de 17,0°C com variação máxima de 0,5°C ao longo do experimento. A diferença de temperatura entre a parte interna da câmara fria e a temperatura ambiente foi de no máximo 2,0°C. A temperatura ambiente inicial deste experimento era 17,8°C e ao final, estava em 19,1°C.

A ventilação implementada nesse experimento teve papel decisivo na eficiência da condensação, pois após as 3 horas de testes obteve-se uma condensação de aproximadamente 50ml e, portanto, 10 vezes mais que no experimento anterior. Não houve neste teste, a formação de flocos de gelo em toda a chapa como no anterior, apenas, a formação de uma pequena formação sólida de gelo no centro da chapa e condensação aparente no restante.

Na figura 51 é possível visualizar o ventilador utilizado (a), a não formação de flocos de gelo e o resultado do teste (b).

Figura 51 – Câmara fria com ventilação (a) e resultado (b).



Fonte: O autor

A condensação deste teste equivale a 16,6ml/h ou 400ml/dia.

4.7 PERFORMANCE 1 DA DESUMIDIFICAÇÃO COM TROCADOR ECONOMIZADOR (TESTE 7)

Já utilizando a câmara de testes para a realização deste e após a estabilização das condições de umidade e temperatura dentro da mesma em 80%UR e 30°C com máxima variação de 3%UR e 3°C, assim como a estabilização da temperatura interna da câmara fria do desumidificador em 16,5°C, foi então acionado o ventilador que insufla ar para dentro da câmara fria através do trocador economizador de temperatura.

As indicações parciais mostravam resultados bastante animadores, pois observava-se redução de até 50%UR entre a umidade relativa dos fluxos de ar de entrada e saída da câmara fria do desumidificador.

Na tabela 3 podem ser verificados os dados coletados ao longo do teste.

Tabela 2– Dados coletados no teste 7

Horário	Temperatura Câmara de testes	Temperatura de saída do desumidificador	%UR Câmara de testes	%UR de saída do desumidificador
11:20 Início	29,9°C	22,5°C	79% UR	31% UR
11:40	30,5°C	26,7°C	82% UR	32% UR
12:10	30,8°C	28,0°C	82% UR	33% UR
12:30	31,1°C	28,7°C	83% UR	34% UR
12:50	31,3°C	29,1°C	82%UR	34%UR
13:10	31,2°C	29,1°C	79%UR	34%UR
13:20 fim	31,3°C	29,1°C	80% UR	34% UR

Fonte: O autor

Neste teste foi possível verificar que apesar da grande diferença entre as umidades de entrada e saída do desumidificador, notou-se um fluxo de ar muito pequeno, resultando numa condensação total de apenas 12,5ml durante as duas horas de teste, correspondente a 150ml/dia e, portanto, tendo um resultado muito abaixo do esperado, uma vez que se desejava um resultado superior ao teste 6, no qual obteve-se 400ml/dia.

A condensação deste teste equivale a 6,25ml/h ou 150ml/dia.

4.8 PERFORMANCE 2 DA DESUMIDIFICAÇÃO COM TROCADOR ECONOMIZADOR (TESTE 8)

Após a substituição dos dois ventiladores de 70mm x 70mm (LxA) que estavam sendo utilizados para a forçar a entrada de ar no desumidificador através do trocador economizador por um único ventilador com dimensões de 120mm x 120mm (LxA) e potência elétrica 4 vezes maior iniciou-se um novo teste de performance do desumidificador utilizando o trocador economizador de temperatura.

Após a estabilização das condições de umidade e temperatura dentro da câmara de testes em 80%UR e 30°C com máxima variação de 3%UR e 3°C, assim como a estabilização da temperatura interna da câmara fria do desumidificador, foi então acionado o ventilador que insufla ar para dentro da câmara fria através do trocador economizador de temperatura. Na tabela 4 podem ser verificados os dados coletados ao longo do teste 8.

Tabela 3 – Dados coletados no teste 8

Horário	Temperatura Câmara de testes	Temperatura de saída do desumidificador	%UR Câmara de testes	%UR de saída do desumidificador
10:27 Início	29,1°C	22,3°C	79% UR	38% UR
10:47	30,2°C	27,9°C	82% UR	52% UR
11:27	31,5°C	29,9°C	81% UR	50% UR
11:37	31,1°C	30,0°C	78%UR	51%UR
11:57	31,4°C	30,0°C	81%UR	50%UR
12:27 fim	31,9°C	30,4°C	82% UR	51% UR

Fonte: O autor

O resultado deste teste foi uma condensação total de 25ml durante as duas horas de teste, correspondente a 300ml/dia e, portanto, apesar da significativa melhora, o resultado ainda ficou muito abaixo do esperado, uma vez que se desejava um resultado superior ao teste 6, no qual obteve-se 400ml/dia.

A condensação deste teste equivale a 12,5ml/h ou 300ml/dia.

4.9 DESUMIDIFICAÇÃO SEM TROCADOR ECONOMIZADOR (TESTE 9)

O melhor desempenho até o momento foi alcançado utilizando-se ventilação no interior da câmara fria do desumidificador e com a tampa da câmara fria totalmente aberta.

No teste que foi obtido o melhor resultado (teste 6), não se estava utilizando a câmara de testes e, portanto, não é possível afirmar que as condições ambientais estavam em 80%UR e 30°C.

Para garantir as condições ambientais e verificar o resultado de condensação nas condições de hardware do melhor desempenho foi realizado o teste aqui descrito.

Assim como os demais testes realizados na câmara de testes, foram alcançadas e mantidas as condições de umidade e temperatura em 80%UR e 30°C. Com duração de 120 minutos o resultado foi a condensação de 46 ml, equivalente a 552ml/dia.

Importante lembrar que em todos os testes, as condições ambientais da câmara de testes são mantidas com variações máximas e sempre que possível, menores de 3%UR e 3°C em toda a duração dos testes.

Seguem, na tabela 5, os dados coletados no teste 9.

Tabela 4 – Dados coletados no teste 9

Horário	Temperatura	UR	Temperatura Interna	Δt
13:40 Início	28,8°C	80% UR	13,9°C	14,9°C
14:10	30,6°C	82% UR	27,8°C	2,8°C
14:40	30,9°C	80% UR	28,1°C	2,8°C
15:00	31,0°C	77% UR	28,4°C	2,6°C
15:20	31,1°C	81% UR	28,5°C	2,6°C
15:40 fim	31,1°C	82% UR	28,6°C	2,6°C

Fonte: O autor

Neste teste foi possível verificar o melhor desempenho do protótipo, confirmado em vários outros testes, nos quais mantiveram-se as mesmas condições ambientais e de hardware neste descrito e o resultado foi praticamente idêntico a este, com variações menores a 5%.

O consumo instantâneo do protótipo durante o teste foi de 228W

A condensação deste teste equivale a 23ml/h ou 552ml/dia.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao final do desenvolvimento e atendendo os objetivos iniciais propostos, foi projetado e construído o protótipo de um desumidificador para ambientes que tivesse as indicações de umidade e temperatura.

O protótipo utiliza células de efeito peltier para o resfriamento e possui tela sensível ao toque onde é possível visualizar a umidade relativa do ar e temperatura do ambiente, além de permitir a possibilidade de acionar ou desativar a função de desumidificação.

A tela sensível ao toque propicia uma fácil interação com o usuário e elimina a necessidade de botões, displays e demais interfaces com o usuário.

As placas com os circuitos projetados, ficaram relativamente simples e limpas apesar de muito eficientes. Propõe-se como uma possível futura melhoria, a elaboração de placas fresadas ou impressas possibilitando serem confeccionadas de forma bem mais compactas.

Um dos grandes desafios enfrentados foi a construção do trocador economizador térmico. O objetivo deste equipamento é promover a troca térmica entre os fluxos de ar que por ele percorrem em contra fluxo de modo a obter o máximo aproveitamento térmico. Em ambientes industriais os trocadores de calor costumam ter custo bastante elevado e normalmente são equipamentos muito grandes, porém foi possível construir um equipamento compacto e de baixo custo, com apenas duas chapas metálicas de 0,3mm de espessura e 2 metros de comprimento, um tubo plástico, chapas de EVA cortadas em tiras finas e um pouco de fita dupla face.

Diante dos resultados obtidos durante o desenvolvimento do trabalho foi possível constatar que a aplicação de um trocador economizador térmico em aplicações como a do protótipo desenvolvido não se mostrou eficiente devido à grande dificuldade em fazer o ar circular através do trocador.

Como melhorias futuras no firmware, propõem-se o armazenamento dos dados coletados para posterior verificação ou simples consulta pelo usuário, tais como temperatura e UR máximas e mínimas do ar ambiente assim como predefinições nas configurações para diferentes ambientes.

Este trabalho propiciou colocar em prática muitos dos conhecimentos adquiridos no curso de engenharia elétrica de forma específica na resolução de um objetivo específico.

O desenvolvimento deste projeto foi bastante desafiador no tocante a necessidade de pesquisa e resolução de problemas, características que devem ser a base para o trabalho de todo engenheiro.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – RE no 9, de 16 de janeiro de 2003. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo.

BRAGA, Newton C. **Multiplicadores de tensão (ART014)** [S.l.]: Instituto Newton C Braga LTDA, 2014. Disponível em: < <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/artigos/54-dicas/423-multiplicadores-de-tensao-art014.html> >. Acesso em: 26 out. 2017, 23:30.

CAPPOIA. Soluções em climatização. São Paulo. 2011. Disponível em: < http://www.cappoia.com/app/sc/gui/Listagem.aspx?cnt=635_1_690_1&html=home >. Acesso em: 26 out. 2017, 20:10.

CARMO, A. T.; PRADO, R. T. A. Qualidade do Ar Interno. 1999. Texto Técnico – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

GRINSHUPUN, S. A. et al. **Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces**, Singapore, 2005; Blackwell Munksgaard, 2005 p. 235-245. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0668.2005.00364.x/epdf> >. Acesso em: 25 out. 2017, 16:30.

HONEYWELL. Honeywell Sensing and Productivity Solutions, Humidity Sensors Line Guide. Golden Valley, USA. 2015. Disponível em: <<https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-humidity-sensors-line-guide-009034-7-EN.pdf>>. Acesso em: 27 out. 2017, 16:10.

HONEYWELL. Honeywell Sensing and Productivity Solutions, Temperature Sensors Line Guide. Golden Valley, USA. 2016. Disponível em: < <https://sensing.honeywell.com/honeywell-sensing-temperature-sensors-line-guide-009033-4-en.pdf> >. Acesso em: 27 out. 2017, 16:20.

KAMPMANN, Yvonne et al. **The application ionizers in domestic refrigerators for reduction in airborne and surface bacteria** [S.l.]: Journal of Applied Microbiology, 2009 p. 1789-1798. Disponível em: < <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2672.2009.04359.x/epdf> >. Acesso em: 25 out. 2017, 19:30.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Doenças respiratórias crônicas**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/doencas_respiratorias_cronicas.pdf>. Acesso em: 22 out. 2017, 16:30.

MOURA, José Américo de Souza. **Docente da UFRN: filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por sputtering e aplicações do efeito peltier**. 2010. 147 f. Tese (Doutorado em física)–Departamento de Física Teórica e Experimental, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2010.

REIS, Ataulpa P. Controle ambientais nas doenças alérgicas: prós e contras. **Revista Brasileira de Alergia e Imunopatologia**, São Paulo, v. 21, n. 4, p. 112-121. 1998.

Disponível em: <<http://www.asbai.org.br/revistas/Vol214/control.htm>>. Acesso em: 22 out. 2017, 16:40.

RELAXMEDIC. Especialista em conforto. São Paulo. 2017. Disponível em: <<http://www.relaxmedic.com.br/produto/desumidificador-pure-ion-pro/>>. Acesso em: 24 out. 2017, 23:10.

SOUZA, Diego Henrique Cunha de. **Refrigeradores termoelétricos**: Faculdade de Tecnologia Departamento de Engenharia Mecânica, Brasília, 2007. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAe3v0AD/refrigeradores-termoeletricos>>. Acesso em: 27 out. 2017, 07:30.

TERMAN, Michael. et al. **A controlled trial of timed bright light and negative air ionization for tratamento of winter depression**, NY YORK 1998: American Medical Assotiation: Arch Gen psychiatry. 1998;55:875-882. Disponível em: <<https://jamanetwork.com/journals/jamapsychiatry/fullarticle/204334>>. Acesso em: 19 out. 2017, 16:10.

THERMOMATIC. Thermomatic do brasil. São Paulo. 2017. Disponível em: <<http://www.thermomatic.com.br/desumidificadores/para-o-lar/>>. Acesso em: 24 out. 2017, 16:10.

APÊNDICE A – CIRCUITO COMPLETO DO PROTÓTIPO

