



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA

**Engenharia Eletrônica, Engenharia Automotiva, Engenharia de
Software, Engenharia de Energia, Engenharia Aeroespacial**

Sistema automatizado de transporte de órgãos

Autor: Karla Ribeiro, Adrianny Viana, Igor Silva, Arilson
Junior, Daniel de Souza, Anne Caselato, Lucas Couto, Anna
Larissa, Cristiano Costa, Marcos Christian, Jarbas Costa, Paulo
Augusto, João Paulo

Brasília, DF

2017



Karla Ribeiro, Adrianny Viana, Igor Silva, Arilson Junior, Daniel de Souza,
Anne Caselato, Lucas Couto, Anna Larissa, Cristiano Costa, Marcos
Christian, Jarbas Costa, Paulo Augusto, João Paulo

Sistema automatizado de transporte de órgãos

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Brasília, DF

2017

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – EAP - estrutura analítica do projeto | 22 |
| Figura 2 – Cronograma do projeto | 23 |
| Figura 3 – Cronograma do projeto | 24 |
| Figura 4 – Mecanismos de transferência de calor | 26 |
| Figura 5 – Modelo de um CMV | 28 |
| Figura 6 – Modelo de um compressor | 28 |
| Figura 7 – Modelo de um condensador | 29 |
| Figura 8 – Modelo de um filtro secador | 29 |
| Figura 9 – Modelo de um evaporador | 30 |
| Figura 10 – TERMOVIDA - Caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes | 32 |
| Figura 11 – Testes iniciais utilizando a célula Peltier | 38 |
| Figura 12 – Diagrama esquemático do sistema com compressor | 38 |
| Figura 13 – Tabela com os possíveis valores de K | 41 |
| Figura 14 – Volume de controle aplicado ao evaporador e a indicação do processo . | 42 |
| Figura 15 – Estrutura do sistema de refrigeração | 43 |
| Figura 16 – Especificações Técnicas do Compressor. | 44 |
| Figura 17 – Diagrama Elétrico Preliminar | 45 |
| Figura 18 – Diagrama Elétrico Preliminar | 47 |
| Figura 19 – Visão explodida | 48 |
| Figura 20 – Visão externa lateral | 49 |
| Figura 21 – Visão externa posterior | 49 |
| Figura 22 – Desenho técnico da estrutura completa | 50 |
| Figura 23 – Desenho técnico do compartimento de carga | 52 |
| Figura 24 – Desenho técnico da câmara de resfriamento | 54 |
| Figura 25 – Desenho técnico da estrutura | 56 |
| Figura 26 – Carregamentos | 58 |
| Figura 27 – Refinamento da Malha | 58 |
| Figura 28 – Tensão Equivalente de Von Mises | 59 |
| Figura 29 – Modo de Falha 7 | 60 |
| Figura 30 – Modo de Falha 8 | 60 |
| Figura 31 – Modo de Falha 9 | 61 |
| Figura 32 – Modo de Falha 10 | 61 |
| Figura 33 – Malha do compartimento de carga | 62 |
| Figura 34 – Malha da câmara de resfriamento | 63 |
| Figura 35 – Distribuição de temperatura no compartimento de carga | 63 |

| | |
|---|----|
| Figura 36 – Distribuição de temperatura na câmara de resfriamento | 64 |
| Figura 37 – Fluxo de calor na câmara de resfriamento | 64 |
| Figura 38 – Vista superior da Raspberry | 65 |
| Figura 39 – Circuito de proteção | 66 |
| Figura 40 – Circuito responsável pelo controle PWN | 66 |
| Figura 41 – Tabela de custos | 68 |
| Figura 42 – Arquitetura de Software | 71 |
| Figura 43 – Arquitetura de Software | 72 |
| Figura 44 – Listar usuários | 73 |
| Figura 45 – Login no WebApp | 73 |
| Figura 46 – Cadastro de Câmaras | 74 |
| Figura 47 – Listar Câmaras | 74 |
| Figura 48 – Iniciar Transporte | 75 |
| Figura 49 – Câmara de transporte | 76 |
| Figura 50 – Relatórios do sistema | 76 |
| Figura 51 – API do Sistema | 77 |
| Figura 52 – Diagrama Eletrônico de Controle de Temperatura. | 78 |
| Figura 53 – Circuito de proteção. | 79 |
| Figura 54 – Placas eletrônicas. | 80 |
| Figura 55 – Testes de bancada com as placas fabricadas. | 81 |
| Figura 56 – Compartimento de carga | 83 |
| Figura 57 – Câmara de resfriamento | 84 |
| Figura 58 – Parte externa do sistema de refrigeração | 85 |
| Figura 59 – Parte interna do sistema de refrigeração | 86 |
| Figura 60 – Resultado preliminar da Estrutura | 87 |

Lista de tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Tempo máximo de preservação extracorpórea (ABTO, 2011) | 12 |
| Tabela 2 – Tempo de isquemia por órgão(ABTO, 2009) | 13 |
| Tabela 3 – Plano de comunicações | 17 |
| Tabela 4 – Tecnologias de comunicação | 18 |
| Tabela 5 – Riscos para todos os subsistemas | 18 |
| Tabela 6 – Condutividade térmica dos materiais a 300K. Fonte: BENNETT, 2008 | 25 |
| Tabela 7 – Sistema interno - requisito funcional 001 | 33 |
| Tabela 8 – Sistema interno - requisito funcional 002 | 33 |
| Tabela 9 – Sistema interno - requisito funcional 003 | 33 |
| Tabela 10 – Sistema interno - requisito funcional 004 | 34 |
| Tabela 11 – Sistema interno - requisito funcional 005 | 34 |
| Tabela 12 – Sistema interno - requisito funcional 006 | 34 |
| Tabela 13 – Sistema interno - requisito funcional 007 | 34 |
| Tabela 14 – Sistema Web - requisito funcional 008 | 35 |
| Tabela 15 – Sistema Web - requisito funcional 009 | 35 |
| Tabela 16 – Sistema Web - requisito funcional 010 | 35 |
| Tabela 17 – Sistema Web - requisito funcional 011 | 36 |
| Tabela 18 – Sistema Web - requisito funcional 012 | 36 |
| Tabela 19 – Sistema Web - requisito funcional 013 | 36 |
| Tabela 20 – Sistema Web - requisito funcional 014 | 36 |
| Tabela 21 – Sistema Web - requisito funcional 015 | 36 |
| Tabela 22 – Consumo energético dos componentes | 46 |
| Tabela 23 – Condições de Contorno da Análise Estrutural | 57 |
| Tabela 24 – Resultados para análise estática | 59 |
| Tabela 25 – Modos de falha e frequências de ressonância | 59 |
| Tabela 26 – Sistema Web - requisito funcional 011 | 69 |
| Tabela 27 – Sistema Web - requisito funcional 013 | 69 |

Sumário

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1 | Contexto | 11 |
| 1.2 | Justificativa | 13 |
| 1.3 | Escopo do projeto | 14 |
| 1.3.1 | Premissas | 14 |
| 1.3.2 | Restrições | 14 |
| 1.4 | Detalhamento do escopo | 14 |
| 1.4.1 | Projeto | 14 |
| 1.4.2 | Produto | 15 |
| 1.5 | Objetivos | 15 |
| 1.5.1 | Objetivo Geral | 15 |
| 1.5.2 | Objetivos Específicos | 15 |
| 1.6 | Metodologia de gerenciamento | 16 |
| 1.6.1 | Plano de gerenciamento de comunicação | 17 |
| 1.6.1.1 | Agenda semanal/Reuniões | 17 |
| 1.6.1.2 | Tecnologia de comunicação | 18 |
| 1.6.1.3 | Monitoramento e Controle | 18 |
| 1.6.2 | Plano de gerenciamento de riscos | 18 |
| 1.6.3 | EAP | 22 |
| 1.6.4 | Cronograma | 22 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 25 |
| 2.1 | Fenômenos de Transporte de Calor | 25 |
| 2.1.1 | Condução | 25 |
| 2.1.2 | Convecção | 25 |
| 2.1.3 | Radiação | 26 |
| 2.2 | Calorimetria | 26 |
| 2.2.1 | Calor Sensível e Latente | 26 |
| 2.3 | Sistemas de Refrigeração | 27 |
| 2.3.1 | Sistema de Compressão Mecânica de Vapor (CMV) | 27 |
| 2.4 | Framework Django | 30 |
| 2.5 | Microframework Flask | 30 |
| 2.6 | Sistema interno | 30 |
| 2.7 | Ergonomia de carregamento de peso | 31 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.8 | TERMOVIDA – Caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes | 32 |
| 3 | SOLUÇÃO PROPOSTA | 33 |
| 3.1 | Arquitetura de Software | 33 |
| 3.1.1 | Sistema Interno | 33 |
| 3.1.1.1 | Requisitos funcionais | 33 |
| 3.1.2 | Sistema Web | 34 |
| 3.1.2.1 | Requisitos funcionais | 35 |
| 3.2 | Sistema de Refrigeração | 37 |
| 3.2.1 | Dimensionamento do Sistema | 38 |
| 3.2.1.1 | Cálculo de Carga Térmica | 38 |
| 3.2.1.2 | Cálculo da energia e potência térmica do órgão: | 39 |
| 3.2.1.3 | Cálculo da energia e potência térmica da embalagem com solução Viaspan na qual o órgão está contido | 39 |
| 3.2.2 | Cálculo da energia e potência térmica do alumínio da caixa interna | 40 |
| 3.2.2.1 | Cálculo da resistência térmica (R_t) e o coeficiente global de transferência de calor (U) | 40 |
| 3.2.3 | Evaporador | 41 |
| 3.2.4 | Compressor | 42 |
| 3.3 | Estrutura do Conjunto de Refrigeração | 42 |
| 3.4 | Sistema de Alimentação | 44 |
| 3.4.1 | Diagrama do Sistema | 44 |
| 3.4.2 | Dimensionamento das Baterias | 45 |
| 3.4.3 | Dimensionamento do Inversor | 47 |
| 3.4.4 | Requisitos | 47 |
| 3.4.4.1 | Requisitos Funcionais | 48 |
| 3.4.4.2 | Requisitos Não Funcionais | 48 |
| 3.5 | Estrutura | 48 |
| 3.5.1 | Componentes Estruturais | 51 |
| 3.5.1.1 | Compartimento de carga | 51 |
| 3.5.1.2 | Câmara de Resfriamento | 53 |
| 3.5.1.3 | Estrutura | 55 |
| 3.5.2 | Simulação Computacional | 57 |
| 3.5.2.1 | Análise Estrutural | 57 |
| 3.5.2.2 | Simulação de Transferência de Calor | 61 |
| 3.6 | Sistemas Eletrônicos | 64 |
| 3.6.1 | Servidor | 64 |
| 3.6.2 | Círculo Preventivo | 65 |
| 3.6.3 | Controle PWM | 66 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.6.3.1 | Subsistema de Controle | 66 |
| 3.6.3.2 | Subsistema de Proteção | 67 |
| 3.6.3.3 | Subsistema de Comunicação e Análise | 67 |
| 3.7 | Tabela de custos | 67 |
| 4 | RESULTADOS | 69 |
| 4.1 | Software | 69 |
| 4.1.1 | Mudanças no escopo | 69 |
| 4.1.1.1 | Sistema Interno | 69 |
| 4.1.1.2 | Sistema WEB | 69 |
| 4.1.1.3 | Arquitetura de Software | 70 |
| 4.1.1.4 | Integração | 71 |
| 4.1.2 | Requisitos Implementados | 72 |
| 4.1.2.1 | Cadastro de Usuários | 72 |
| 4.1.2.2 | Listar e Apagar Usuários | 72 |
| 4.1.2.3 | Sistema de Login | 73 |
| 4.1.2.4 | Cadastro de Câmaras | 73 |
| 4.1.2.5 | Visualizar Todas as Câmaras | 74 |
| 4.1.2.6 | Iniciar Novo Transporte: | 74 |
| 4.1.2.7 | Visualizar Transporte em Andamento: | 75 |
| 4.1.2.8 | Relatório | 76 |
| 4.1.2.9 | API | 77 |
| 4.2 | Eletrônica | 77 |
| 4.2.1 | Sistema de controle de temperatura | 77 |
| 4.2.2 | Sistema de proteção de componentes elétricos e eletrônicos | 78 |
| 4.3 | Refrigeração | 82 |
| 4.4 | Alimentação | 82 |
| 4.5 | Estrutura | 82 |
| 4.5.1 | Estrutura | 82 |
| | REFERÊNCIAS | 89 |

1 Introdução

De acordo com o SNT (Sistema Nacional de Transplante), o Brasil possui um dos maiores programas públicos de transplante de órgãos e tecidos do mundo. Apesar deste importante avanço, a estrutura de processos administrativos e operacionais ainda é deficiente e causa grande impacto na viabilidade e ocorrência do transplante. Em 2005 existiam cerca de 60 mil brasileiros na fila de espera por um transplante de órgãos, sendo que destes apenas 20% seriam atendidos, sendo o maior fator contribuinte para a não realização do procedimento, a estrutura deficiente de captação e distribuição de órgãos (Bergamo, 2005), e não a falta de doadores. Desta forma, sabe-se que a melhoria no processo logístico causará impactos positivos no cenário brasileiro de transplante de órgãos, beneficiando os milhares de brasileiros que se encontram na fila de espera por um órgão.

1.1 Contexto

A história da transplantação de órgãos é recente, iniciada na década de 1960 no Brasil e marcada por grandes avanços no enfoque da medicina e da tecnologia desde então, o que atualmente permite melhores perspectivas sobre saúde e longevidade. A regulamentação dos transplantes de órgãos aconteceu no Brasil no ano de 1997 pela Lei nº 9.434, e adicionalmente a ela o Decreto nº 2.268/1997 criou o Sistema Nacional de Transplantes responsável pela captação e distribuição de órgãos e tecidos. O Registro Brasileiro de Transplantes (RBT) mostra o crescimento dos casos de transplantação no ano de 2016, com destaque para o transplante hepático, com aumento nacional de 3,9%, e para o transplante de pâncreas, com aumento nacional de 11,7%, se comparados ao ano de 2015.

Para melhor compreensão deste estudo, define-se transplante como uma substituição cirúrgica de um órgão ou tecido afetado por lesão progressiva e irreversível por um outro sadio, de doador falecido ou vivo (NETO; AFONSO; THOMÉ, 2017). O êxito nas atividades de transplantação está atrelado não só ao procedimento cirúrgico, mas anteriormente, e também, ao bom manejo do órgão que envolve a excelência no procedimento de acondicionamento para transporte. Uma falha na logística de transporte e/ou em seu armazenamento podem apresentar riscos ao futuro transplantado, além da falência do órgão.

Neste contexto, aprimorar os recursos tecnológicos, a fim de tornar as condições de armazenamento tão excelentes quanto o necessário para garantir o funcionamento e integridade ao recurso vindo de um doador é fundamental. Os riscos que podem vir a tornar inviável a transplantação devem ser drasticamente minimizados, pois os dados

mostram que a proporção é de um doador para cada 8 potenciais doadores de órgão (ABTO, 2009), ou seja, os recursos têm de ser manejados da melhor forma possível para eliminar as possibilidades de inutilização do órgão.

Para o desenvolvimento de um equipamento de acondicionamento de órgãos adequado, torna-se imprescindível o conhecimento de todas as normas e requisitos que garantem as melhores condições de armazenamento durante o transporte. A Associação Brasileira de Transporte de Órgãos traz informações sobre os máximos tempos de permanência extracorpórea dos recursos, como mostra a tab. 1:

| Órgão/Tecido | Tempo máximo para retirada | Tempo máximo de preservação extracorpórea |
|--------------|----------------------------|---|
| Córneas | 6 horas após PC* | 7 dias |
| Coração | Antes da PC* | 4 a 6 horas |
| Pulmão | Antes da PC* | 4 a 6 horas |
| Rins | Até 30 min. pós PC* | Até 48 horas |
| Fígado | Antes da PC* | 12 a 24 horas |
| Pâncreas | Antes da PC* | 12 a 24 horas |
| Ossos | 6 horas pós PC* | Até 5 anos |

Tabela 1 – Tempo máximo de preservação extracorpórea (ABTO, 2011)

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabeleceu, pela Resolução RDC nº 66/2009, as condições sanitárias de transporte de órgãos humanos, e regulamenta o funcionamento da acomodação e transporte destes recursos. Os principais requisitos desta norma quanto ao sistema de armazenagem são:

Art. 31. A embalagem primária deve conter o órgão e a solução de preservação, e ter capacidade proporcional ao volume do órgão a ser embalado.

Art. 32. A embalagem primária deve ser acondicionada em duas embalagens secundárias.

Art. 36. As embalagens secundárias devem ser acondicionadas na embalagem terciária.

Art. 37. A embalagem terciária será constituída de caixa isotérmica confeccionada de material rígido, resistente e impermeável, deverá promover isolamento térmico, ser revestida internamente com material liso, durável, impermeável, lavável e resistente a soluções desinfetantes e conter um dispositivo de segurança que impeça sua abertura acidental.

Art. 38. A embalagem terciária deve ser preenchida com gelo (ponto de fusão a 0°C) em quantidade suficiente para envolver a embalagem secundária e garantir a manutenção da temperatura pelo tempo necessário do processo de transporte.

Art. 39. O gelo com ponto de fusão a 0°C utilizado não deve entrar em contato direto com os órgãos.

Art. 40. É vedado o emprego de solução salina congelada como material refrigerante no acondicionamento, para prevenir congelamento do órgão.

Ademais, cada órgão possui suas próprias especificações que devem ser respeitadas. O armazenamento do fígado e pâncreas, por exemplo, são realizados sob as mesmas condições, entretanto, separadamente. O órgão é colocado separadamente no interior de um saco plástico estéril contendo 1 litro de solução Viaspan (solução para conservação de órgãos) a 4°C e lacrado com fita cardíaca. Após, o saco é posto no interior de outro saco plástico estéril com gelo moído e novamente lacrado com fita cardíaca. Identifica-se com um cartão que contém o horário de clampeamento, e este conjunto deve permanecer em geladeira térmica, coberto com gelo não estéril até a utilização dos enxertos (NETO; AFONSO; THOMÉ, 2010).

Alternativamente ao emprego de um sistema de refrigeração manual, este projeto visa a concretização de uma caixa, em concordância com a embalagem terciária do artigo 37 da Resolução RDC nº 66/2009, com um sistema de resfriamento que não se utiliza de gelo não estéril e com a possibilidade de controle e verificações de suas condições de atuação, visando propiciar melhores condições de armazenamento e transporte de órgãos.

1.2 Justificativa

Atualmente no transporte de órgãos, utilizam-se caixas térmicas, onde o órgão é depositado em soro e coberto por embalagens com gelo. Podem acontecer casos de perda e deterioração prematura do órgão, devido à queima do tecido pelo contato não homogêneo com as embalagens de gelo. De acordo com o Dr. Fernando A. G. Guimarães, em sua tese de mestrado “Câmara Hiperbárica refrigerada para a preservação de órgãos e tecidos”, é notável uma melhor preservação do órgão em sistemas pressurizados com oxigênio puro e temperatura controlada.

Além dos processos de acondicionamento, armazenagem e transporte, é necessário levar em consideração o tempo de isquemia de cada órgão, que consiste no intervalo entre a retirada e acondicionamento em solução própria e a inserção do órgão no corpo do receptor, e as distâncias entre os doadores e os receptores. Este tempo será monitorado pelo sistema de acompanhamento de órgão, para que não haja atraso e a consequente deterioração do tecido antes da chegada ao destino.

| Órgão | Tempo de Isquemia Fria |
|--------------|-------------------------------|
| Coração | 4 horas |
| Pulmão | 4-6 horas |
| Fígado | 12 horas |
| Rim | Até 24 horas |
| Pâncreas | Até 20 horas |

Tabela 2 – Tempo de isquemia por órgão(ABTO, 2009)

1.3 Escopo do projeto

1.3.1 Premissas

- Os órgãos devem ser condicionados em uma câmara selada hermeticamente.
- A câmara deverá ser resfriada e manter-se entre 2 e 4 graus Celsius.
- O transportador só poderá ser aberto no seu destino.
- Haverá comunicação com a internet para que o hospital que receberá o órgão possa acompanhar o andamento da entrega.

1.3.2 Restrições

- O órgão não poderá ser necrosado por falta de refrigeração nem queimado por excesso dela.
- A caixa transportadora deverá ser dimensionada de forma que duas pessoas adultas possam carregá-la.
- O sistema de fechamento não será aberto até a chegada no destino do órgão.
- O sistema de transporte deverá estar de acordo com a legislação vigente, se for aplicável.

1.4 Detalhamento do escopo

1.4.1 Projeto

O grupo do Transportador de Órgãos da disciplina de Projeto Integrador 2, visa suprir a necessidade de um controle maior na importantíssima atividade de transportar órgãos humanos para transplante, buscando o maior controle das características do transporte para que a chance real do órgão chegar a tempo e de forma útil para quem irá recebê-lo. O órgão será acondicionado dentro de três camadas de materiais que tratarão de isolar termicamente e hermeticamente de forma que o órgão chegue saudável a seu destino.

O público alvo do projeto são as equipes de transplante que agem para salvar vidas levando essa importante carga por todo o país, seja de avião, helicóptero, ambulância ou qualquer outro meio de locomoção. O objetivo é facilitar o controle e a entrega dos órgãos para seus recebedores.

1.4.2 Produto

O sistema de automatização do recipiente do transporte facilitará o controle de temperatura, que ocorrerá automaticamente, terá sistema energético próprio aumentando sua autonomia e se conectará com a internet para que o seu destino saiba onde o órgão está e quais suas características em tempo real. Se o lugar for remoto e não houver conexão, assim que a conexão for estabelecida os dados serão atualizados.

O sistema funcionará da seguinte forma: O órgão será introduzido dentro da câmara de resfriamento que por sua vez será selada hermeticamente. O resfriamento da câmara já deve ter ocorrido para que o órgão seja resfriado o mais rápido possível. O segundo invólucro que terá o isolamento térmico será fechado e trancado para que só possa ser aberto em seu destino. No trajeto o órgão será observado por sensores de temperatura e pressão enquanto a localização do sistema e esses dados são transmitidos pela internet para um servidor que pode ser acessado via um aplicativo na internet. Chegando em seu destino o órgão poderá ser retirado para o transplante.

O sistema completo poderá ficar pesado para uma pessoa levar, por isso a estrutura poderá ter rodas que facilitam sua locomoção, mas será dimensionado, o projeto, de forma que duas pessoas possam levantá-lo sem problemas para colocá-lo em qualquer veículo.

Para que o projeto seja considerado um sucesso este deverá atender aos seguintes quesitos: manter a temperatura o isolamento e a pressão do órgão até sua chegada no destino, não podendo ser aberto até então e que passe todas essas informações para que os interessados saibam as características do órgão e onde está o transporte.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo Geral

Tendo em vista os obstáculos e desafios enfrentados no transporte de órgãos historicamente, sem deixar de levar em consideração a sua relevância social, o presente trabalho propõe a concepção de um sistema automatizado de transporte de órgãos, levando em conta as condições específicas de contorno necessárias para a preservação de cada órgão durante o tempo de translado. O grupo, então, orientará seus esforços no sentido de conceber um sistema que preserva órgãos específicos, contando com o trabalho harmônico e sinérgico de cada uma das áreas do conhecimento de seus membros.

1.5.2 Objetivos Específicos

Levando em consideração os objetivos gerais acima propostos, e utilizando-os como diretriz, citam-se os objetivos específicos logo abaixo:

- Projetar e construir a estrutura da câmara onde o órgão será acondicionado, seguindo todas as normas de assepsia e acondicionamento propostas pela ANVISA;
- Projetar e implementar o sistema de controle e coleta de dados em tempo real, utilizando o microcontrolador MSP430g2553;
- Projetar e implementar o sistema que analisará, processará e enviará os dados coletados para uma plataforma WEB através de uma plataforma GPRS, com auxílio da Raspberry PI;
- Projetar o sistema que fará a tomada de decisões, que se dará através da comunicação entre o Raspberry PI e MSP430g2553;
- Projeto e implementação da plataforma WEB;
- Análise de transferência de calor da câmara, de forma que tal transferência ocorra da forma correta, sem danificar o tecido do órgão.

1.6 Metodologia de gerenciamento

A metodologia ágil, mais especificamente o SCRUM, tem como princípio agregar valor ao cliente de maneira mais rápida possível a partir de uma gerência eficiente das pessoas envolvidas e suas respectivas funções. O PMBOK é referência em gerenciamento de projetos por conter artefatos e boas práticas que ajudam a desenvolver um projeto de maneira eficaz. Na realização do projeto do transporte de órgãos será utilizada uma combinação do SCRUM e do PMBOK.

O SCRUM será utilizado para organizar o esforço de trabalho dos participantes em sprints semanais, que terão planejamento e retrospectiva, além disso teremos reuniões diárias através da plataforma online SLACK tendo visibilidade do trabalho executado por cada membro e frente de trabalho.

Do PMBOK utilizaremos alguns artefatos para documentação do projeto como:

- Plano de gerenciamento de comunicação
- Plano de gerenciamento de requisitos
- Plano de gerenciamento de riscos
- Plano de gerenciamento de custos

1.6.1 Plano de gerenciamento de comunicação

O plano de gerenciamento das comunicações tem a finalidade de abordar os meios de comunicação utilizados no desenvolvimento do transportador de órgãos desenvolvido como projeto da disciplina de Projeto Integrador de Engenharia 2. A comunicação se faz importante para o sucesso ou falha de projeto e interfere diretamente no conhecimento compartilhado entre a equipe.

Nesta subseção será descrito aspectos relevantes para o gerenciamento de comunicação como a frequência de encontros e as ferramentas utilizadas para obter uma forte integração entre a equipe.

1.6.1.1 Agenda semanal/Reuniões

A equipe trabalha no contexto de reunião física durante as aulas e no contexto de comunicação externa fora das aulas, portanto as reuniões são estruturadas de forma a extrair a maior produtividade dos integrantes durante as aulas. As reuniões permitem trocas de informações entre a equipe, proporcionando melhorias no desenvolvimento geral do time.

| Motivo | Participantes | Método | Frequência | Dia |
|---------------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------|
| Reunião fixa | Todos os membros | Presencial | Uma vez por semana. 16:00 às 18:00 | Quarta-feira |
| Reunião fixa | Todos os membros | Presencial | Uma vez por semana. 14:00 às 18:00 | Sexta-feira |
| Reuniões de frentes de trabalho | Frentes de trabalho | Reunião digital (hangout) | Quando forem necessárias | - |
| Reunião de gerência | Equipes de gerência | Reunião digital (hnagout) | 2 vezes por semana | - |

Tabela 3 – Plano de comunicações

1.6.1.2 Tecnologia de comunicação

| Tecnologia | Urgência das informações | Objetivo | Métodos de comunicação |
|--------------|--------------------------|--|------------------------|
| Whatsapp | Alta | Comunicação rápida e informal | Comunicação interativa |
| Slack | Alta | Acompanhamento de desenvolvimento | Comunicação interativa |
| Google Drive | Baixa | Armazenamento, compartilhamento e produção de documentos | Comunicação passiva |
| Hangouts | Média | Reuniões online | Comunicação interativa |
| Git | Baixa | Versionar as informações dos relatórios do grupo | Comunicação passiva |
| Trello | Alta | Acompanhamento do processo de desenvolvimento e atividades | Comunicação passiva |

Tabela 4 – Tecnologias de comunicação

1.6.1.3 Monitoramento e Controle

Os integrantes devem ser pontuais e comunicativos nas reuniões, fazendo o uso das ferramentas e meios de comunicação definidos a priori. Será feito um Registro de Presença para monitorar a presença dos integrantes e está diretamente relacionada à participação dos membros no projeto. Para controle de trabalho e comunicação será utilizada como ferramenta principal o Trello, onde todo o trabalho terá responsável e tempo para ser terminado.

1.6.2 Plano de gerenciamento de riscos

Os riscos do projeto foram avaliados e estão descritos na Tabela 5. Foram analisados a probabilidade de acontecerem os eventos e quão impactante eles serão, caso ocorram.

Tabela 5 – Riscos para todos os subsistemas

| Risco | Consequência | Probabilidade | Impacto | Ação/estratégia |
|----------------------|--|---------------|---------------------------|--|
| Geral | | | | |
| Atraso no cronograma | Sobrecarregamento em certos períodos do projeto e/ou atraso na entrega do produto final. | Provável. | Razoavelmente impactante. | Ajuste ou remodelamento de atividades a serem desenvolvidas. |

| | | | | |
|--|--|-------------------------|---------------------------|---|
| Erro de planejamento | Replanejamento do projeto e/ou atraso na entrega do produto final. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Replanejar o subsistema e/ou o sistema inteiro. |
| Necessidade de uma carga de trabalho pesada | Sobrecarregamento de integrantes e/ou desistência descumprimento de integrantes. | Pouco provável. | Razoavelmente impactante. | Rever a forma de gerenciamento e a possível necessidade de mais reuniões para redistribuir atividades. |
| Falta de experiência necessária | Sobrecarregamento de integrantes e/ou erro de planejamento e/ou desistência. | Pouco provável. | Pouco impactante. | Busca de pessoal capacitado a ajudar e ensinar. |
| Mudança no projeto | Atraso na entrega do produto final. | Provável. | Muito impactante. | Replanejamento de escopo. |
| Desistência de integrantes | Sobrecarregamento de integrantes e/ou atraso no cronograma. | Pouco provável. | Muito impactante. | Fazer nova distribuição de tarefas de acordo com a necessidade de trabalho. |
| Descumprimento de integrantes. | Sobrecarregamento de integrantes e/ou atraso no cronograma. | Pouco provável. | Razoavelmente impactante. | Verificar o problema com o integrante e oferecer a ajuda necessária. |
| Atraso na entrega de materiais (compra). | Atraso no cronograma do projeto e/ou atraso na entrega do produto final. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Tornar compra prioridade e pesquisar mais fornecedores que entregam de forma mais eficiente. |
| Danificação de componentes ou subsistemas do protótipo. | Atraso no cronograma do projeto e/ou mudança no projeto. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Rever o motivo da danificação e realizar uma nova compra, ou novo planejamento de projeto, caso necessário. |
| Falta de recursos para compra de materiais | Atraso no cronograma e/ou mudança no projeto. | Pouco provável. | Razoavelmente impactante. | Métodos alternativos de obtenção de recursos. |
| Dificuldade de integração eletrônica/energia. | Diferença da potência fornecida pra potência consumida. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Replanejamento de fontes de energia ou do sistema eletrônico. |
| Dificuldade de integração eletrônica/software. | Dificuldade de integração do software com microcontrolador. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Revisão do sistema e/ou substituição dos mesmos. |
| Dificuldade de integração estrutura/eletrônica ou energia. | Falta do espaço necessário. | Pouco provável. | Muito impactante. | Redimensionamento da estrutura ou alteração dos sistemas eletrônicos/energéticos. |
| Eletrônica | | | | |

| | | | | |
|---|---|-------------------------|---------------------------|--|
| Queima de componente. | Perda de tempo e de dinheiro. | Provável. | Muito impactante. | Fazer medições de corrente e voltagem precisamente e verificar datasheet com valores nominais dos componentes. |
| Erro de layout da pci | Perda tempo com reprogramação | Provável. | Pouco impactante. | Necessidade de refazer layout e esquemático da placa pci e Verificação e validação anterior amontagem do circuito. |
| Falha na comunicação GPRS/GSM ou WIFI(se for o caso) | Perda de tempo e comunicação. | Provável. | Pouco impactante. | Fazer conexão com internet móvel ou wifi local com redundância entre os métodos e sincronia quando for conectado, além dos testes anteriores ao uso. |
| Energia | | | | |
| Atrasos no cronograma da equipe. | Não cumprimento do projeto no tempo esperado. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Ter um gerenciamento de projeto eficiente e planejar um cronograma facilmente executável. |
| Risco de curtos no sistema elétrico/eletônico. | Queima de equipamentos. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Dimensionar um sistema de proteção com fusíveis. |
| Falta de recursos para compra de materiais. | Atrasos no projeto. | Pouco provável. | Razoavelmente impactante. | Realizar gerenciamento de arrecadação dos membros do grupo para custear o projeto. |
| Falta de experiência necessária. | Erro de planejamento ou desistência integrantes. | Pouco provável. | Pouco impactante. | Busca de pessoal capacitado e disposto a ajudar o grupo. |
| Baixa eficiência de refrigeração da câmara. | O sistema não ser capaz de alimentar a refrigeração ocasionando perda do órgão. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Procurar não adquirir equipamentos usados ou com origem duvidosa. |
| Estrutura | | | | |
| Design preliminar não atende aos requisitos do projeto. | Não aceitação do design preliminar pelos clientes. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Elaboração de um design que atenda que atenda à todos os requisitos do projeto. |

| | | | | |
|---|---|-------------------------|---------------------------|---|
| Mecanismo de transporte não aguenta os esforços aplicados. | Deformação plástica do mecanismo, perda de recursos. | Pouco provável. | Razoavelmente impactante. | Calcular esforços gerados na estrutura de transporte; simular numericamente as deformações na estrutura; considerar um coeficiente de segurança de, no mínimo 2,5 na construção do mecanismo de transporte. |
| Atrasos no cronograma. | Não cumprimento do projeto no tempo esperado. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Ter um gerenciamento de projeto eficiente e planejar um cronograma facilmente executável. |
| Falha no mecanismo de selamento da câmara de transporte de órgãos. | Possibilita a perda do órgão transportado | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Planejar um mecanismo de fácil construção e grande eficiência, além de realizar testes com antecedência. |
| Material de isolamento não apropriado para o intervalo de temperaturas recomendado. | Impossibilita a refrigeração adequada da câmara de resfriamento. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Fazer uma pesquisa acurada por possíveis materiais a serem utilizados no sistema de refrigeração, além de testar o sistema com antecedência para ser possível a mudança do material à tempo. |
| Abertura da câmara de transporte antes da hora. | Perdas em energia para refrigeração adequada. | Muito provável. | Pouco impactante. | Alertar o transportador caso haja falha no sistema de selamento. |
| Órgãos não permanecerem em suas posições durante o transporte ou devido às vibrações. | Órgãos são danificados e podem prejudicar funcionamento da máquina. | Razoavelmente provável. | Muito impactante. | Planejar disposição dos órgãos de forma a prevenir graus de liberdade que possam vir a causar o deslocamento deles durante o transporte ou vibrações da máquina. |
| Software | | | | |
| Não terminar o software de controle dos sensores | Não conseguir entregar o produto | Pouquíssimo provável | Muitíssimo impactante | Rever o escopo do projeto |
| Não terminar o webapp | Não conseguir entregar o produto | Pouquíssimo provável | Muitíssimo impactante | Rever o escopo do projeto |
| Perder um integrante do grupo | Sobrecarregar o resto do grupo | Pouco provável | Muito impactante | Rever o escopo e redistribuir as responsabilidades |

| | | | | |
|---|--------------------------------------|------------------------|--------------------------|---|
| Perder uma máquina | Impossibilidade de trabalhar sozinho | Razoavelmente provável | Razoavelmente impactante | Pareamento |
| Não conseguir integração com os sensores do transportador de órgãos | O webapp não mostrará as informações | Pouco provável | Muitíssimo impactante | Ter uma opções de conexão e revisar a solução |

1.6.3 EAP

A estrutura analítica do projeto foi definida baseada nos marcos principais e quais atividades deverão ser entregues. Conforme citado na metodologia Top/Down, as atividades foram divididas em módulos de entrega conforme a fig. 1.



Figura 1 – EAP - estrutura analítica do projeto

1.6.4 Cronograma

Abaixo segue o cronograma proposto para elaboração do projeto, dividido pelas fases de iniciação, elaboração, construção e transição, seus respectivos marcos e datas limites.

| | | Nome | Duração | Ínicio | Fim |
|----|---|---|---------|------------|------------|
| 1 | | ⊖ Iniciação | 5d? | 18/08/2017 | 24/08/2017 |
| 2 | 📅 | Definição Tema e Grupo | 5d | 18/08/2017 | 24/08/2017 |
| 3 | 📅 | Definição do Escopo do Sistema | 4d | 21/08/2017 | 24/08/2017 |
| 4 | 📅 | Levantamento de Requisitos | 4d | 21/08/2017 | 24/08/2017 |
| 5 | 📅 | Planejamento de Custos | 1d? | 23/08/2017 | 23/08/2017 |
| 6 | 📅 | Cronograma | 1d? | 23/08/2017 | 23/08/2017 |
| 7 | 📅 | Relação de Subsistemas | 2d | 23/08/2017 | 24/08/2017 |
| 8 | | ⊖ Elaboração | 17d? | 25/08/2017 | 18/09/2017 |
| 9 | 📅 | Elaboração do Relatório PC1 | 2d | 25/08/2017 | 28/08/2017 |
| 10 | 📅 | Apresentação PC1 | 3d? | 30/08/2017 | 01/09/2017 |
| 11 | | ⊖ Estrutura | 17d | 25/08/2017 | 18/09/2017 |
| 12 | 📅 | Definição de Material | 11d | 04/09/2017 | 18/09/2017 |
| 13 | 📅 | Cálculo de Volume Interno | 5d | 06/09/2017 | 12/09/2017 |
| 14 | 📅 | Prototipação | 10d | 04/09/2017 | 15/09/2017 |
| 15 | | Definição de Layout | 6.88d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 16 | 📅 | Simulação | 4d | 12/09/2017 | 15/09/2017 |
| 17 | | ⊖ Resfriamento | 16d | 25/08/2017 | 15/09/2017 |
| 18 | | Definição dos componentes para resfriamento | 7d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 19 | 📅 | Cálculo numérico de potência | 10d | 04/09/2017 | 15/09/2017 |
| 20 | | Simulação computacional | 5d | 25/08/2017 | 31/08/2017 |
| 21 | | ⊖ Isolamento | 10d | 25/08/2017 | 07/09/2017 |
| 22 | | Definição de tipo de material de isolamento | 10d | 25/08/2017 | 07/09/2017 |
| 23 | | Orçar Custos | 7d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 24 | | Simulação computacional | 10d | 25/08/2017 | 07/09/2017 |

Figura 2 – Cronograma do projeto

| | | | | | |
|----|---|--|------|------------|------------|
| 25 | | ▫ Alimentação e Armazenamento Energético | 14d | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 26 | | Definir fonte de alimentação | 5d | 25/08/2017 | 31/08/2017 |
| 27 | | Especificação dos componentes | 14d | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 28 | | Projeto do sistema de alimentação | 14d | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 29 | | Definição do sistema de armazenamento | 7d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 30 | | Definição das baterias | 14d | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 31 | | ▫ Sistema Eletrônico | 14d? | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 32 | | Definição do módulo de controle | 7d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 33 | | Definição do módulo de comunicação | 7d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 34 | | Definição dos componentes eletrônicos | 11d? | 25/08/2017 | 08/09/2017 |
| 35 | | Layout | 14d | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 36 | | Simulação | 14d | 25/08/2017 | 13/09/2017 |
| 37 | | ▫ Software | 10d | 25/08/2017 | 07/09/2017 |
| 38 | | Definição da arquitetura de software | 7d | 25/08/2017 | 04/09/2017 |
| 39 | | Levantamento de requisitos | 10d | 25/08/2017 | 07/09/2017 |
| 40 | | Definição de tecnologia | 1d | 25/08/2017 | 25/08/2017 |
| 41 | | ▫ Construção | 40d? | 19/09/2017 | 13/11/2017 |
| 42 | ☒ | Estrutura | 39d? | 20/09/2017 | 13/11/2017 |
| 43 | ☒ | Resfriamento | 39d? | 20/09/2017 | 13/11/2017 |
| 44 | | Isolamento | 39d | 19/09/2017 | 10/11/2017 |
| 45 | | Alimentação e Armazenamento Energético | 39d | 19/09/2017 | 10/11/2017 |
| 46 | | Sistema Eletrônico | 39d | 19/09/2017 | 10/11/2017 |
| 47 | | Software | 39d | 19/09/2017 | 10/11/2017 |
| 48 | ☒ | Prova | 1d | 06/10/2017 | 06/10/2017 |
| 49 | ☒ | Elaboração Relatório PC2 | 7d? | 26/10/2017 | 03/11/2017 |
| 50 | ☒ | Apresentação Relatório PC2 | 3d? | 08/11/2017 | 10/11/2017 |
| 51 | | ▫ Transição | 17d? | 14/11/2017 | 06/12/2017 |
| 52 | ☒ | Integração dos módulos | 14d? | 14/11/2017 | 01/12/2017 |
| 53 | ☒ | Testes | 1d? | 30/11/2017 | 30/11/2017 |
| 54 | ☒ | Elaboração Relatório PC3 | 9d? | 21/11/2017 | 01/12/2017 |
| 55 | ☒ | Entrega e Apresentação do Projeto | 4d? | 01/12/2017 | 06/12/2017 |

Figura 3 – Cronograma do projeto

2 Referencial Teórico

2.1 Fenômenos de Transporte de Calor

A transferência de calor é um fenômeno em que, na física, dois corpos com temperaturas diferentes trocam suas energias térmicas quando estão em contato ou em um mesmo ambiente, para que atinjam o equilíbrio.

Alguns materiais são isolantes térmicos e tendem a evitar transferência. São importantes para prevenir gasto energético desnecessário e manter sistemas sem troca de calor se necessário.

Para o projeto proposto, é necessário uma temperatura interna entre 2 e 4 graus Celsius para preservar as características desejadas e não danificar o órgão colocado. Além disso, a caixa deve ser isolada termicamente para que minimize ao máximo as trocas de calor e não afete o órgão transportado.

Essa transferência de calor pode ser classificada de três formas diferentes: Condução, convecção e radiação.

2.1.1 Condução

Ocorre entre corpos que estão em contato físico e está relacionada com a energia cinética, a colisão entre os átomos realiza a transferência de energia cinética (calor) para as moléculas próximas. Com isso, o calor flui do local com temperaturas mais altas para o local com temperatura mais baixa.

A facilidade com que o calor transferido pode ser medido através da condutividade, normalmente, sólidos conduzem melhor que líquidos, e líquidos conduzem melhor do que sólidos.

| Material | Condutibilidade Térmica (k) |
|------------------------|-----------------------------|
| Cobre (puro) | 339 |
| Ouro (puro) | 317 |
| Alumínio (puro) | 237 |
| Ferro (puro) | 80,2 |
| Aço Carbono (1%) | 43 |
| Aço Inoxidável (18/18) | 15,1 |
| Vidro | 0,81 |
| Plásticos | 0,2 – 0,3 |
| Água (líquido) | 0,6 |

Tabela 6 – Condutividade térmica dos materiais a 300K. Fonte: BENNETT, 2008

2.1.2 Convecção

A convecção ocorre em líquidos ou gases somente. Ocorre pela diferença de densidades, o ar frio é mais denso e tom ao lugar do ar quente, o ar frio lentamente ganha calor e realiza o ciclo novamente.

Existem dois tipos de convecção: a natural (explicada acima) e a forçada, a qual utiliza aspiradores e bombas para fazer o deslocamento do fluido. (BENNETT, 2008; TIPLER, 2009).

2.1.3 Radiação

São ondas eletromagnéticas que se movem na velocidade da luz, por ser a única capaz de percorrer o espaço, é a principal maneira de transferência de calor do Sol com o planeta terra.

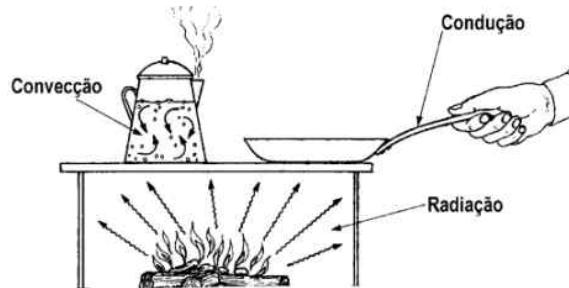


Figura 4 – Mecanismos de transferência de calor

2.2 Calorimetria

A calorimetria é o estudo do calor como energia térmica em trânsito. Com dois corpos em temperaturas diferentes, a transmissão ocorre do corpo mais quente para o mais frio até atingirem o equilíbrio térmico. Uma das medidas mais usadas é a quantidade de calor (Q), ao receber energia térmica, essa quantidade de calor é positiva, ao perder é negativa.

2.2.1 Calor Sensível e Latente

Um corpo pode receber dois tipos de calor, o latente e o sensível. O calor latente é obtido quando o corpo muda de estado físico por causa dessa transferência, já o calor sensível é apenas mudança na temperatura do corpo.

Podemos representar seus cálculos com a fórmula fundamental da calorimetria e a equação para calcular o calor latente. Que são:

$$Q_S = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2.1)$$

$$Q_L = m \cdot L \quad (2.2)$$

Onde:

- Q_S = Quantidade de calor sensível (em joules)
- m = Massa do corpo em gramas
- c = Calor sensível
- ΔT = Diferença de temperatura em °C
- Q_L = Quantidade de calor Latente (em joules)
- L = Constante de calor latente

2.3 Sistemas de Refrigeração

A área de refrigeração se desenvolveu de uma maneira extraordinária no último século, o que ocasionou sua atuação nos mais diversos campos da indústria. Para fins de estudos, as aplicações da refrigeração podem ser classificadas da seguinte forma: doméstica, comercial, industrial, para transporte e para condicionamento de ar. A primeira, refrigeração doméstica, abrange principalmente a fabricação de refrigeradores de uso doméstico e de freezers. A capacidade destes refrigeradores varia muito, mas se encontram na faixa de temperaturas entre -8°C a -18°C (no compartimento dos congelados) e $+2^{\circ}\text{C}$ a $+7^{\circ}\text{C}$ (no compartimento dos produtos resfriados).

A refrigeração comercial envolve os refrigeradores especiais ou de grande porte utilizados principalmente em restaurantes, sorveterias, bares, açougues, laboratórios, entre outros. As suas temperaturas de congelação e estocagem, são geralmente entre -5°C e -30°C .

Os equipamentos industriais, em sua maioria, são maiores que os comerciais (com relação ao tamanho) e possuem como característica principal a necessidade de um operador de serviço. São exemplos de aplicações industriais as fábricas de gelo, grandes instalações de empacotamento de gêneros alimentícios, como carnes, peixes e aves, cervejarias, fábricas de laticínios, de processamento de bebidas, dentre outras.

A refrigeração marítima é referente à refrigeração a bordo de embarcações e inclui, por exemplo, a refrigeração realizada em barcos de pesca e em embarcações de transporte de cargas perecíveis. A refrigeração de transporte, por outro lado, envolve equipamentos de refrigeração para caminhões e vagões ferroviários refrigerados.

Como se pode analisar, as aplicações na área da refrigeração são bem variadas, sendo difícil de uma certa maneira estabelecer de forma precisa as barreiras de cada uma dessas divisões.

2.3.1 Sistema de Compressão Mecânica de Vapor (CMV)

O sistema de compressão mecânica de vapor, utilizado na maioria dos sistemas de refrigeração atual, inclusive nos refrigeradores domésticos, funciona a partir da aplicação dos conceitos de calor e trabalho, utilizando um fluido refrigerante. Este fluido é uma substância que, circulando dentro de um circuito fechado, tem a capacidade de retirar o calor de um meio ao mesmo tempo em que se vaporiza em baixa pressão. O fluido entra no evaporador a baixa pressão, na forma de mistura de líquido-vapor, e retira energia do meio interno refrigerado (energia dos alimentos) enquanto passa para o seu estado de vapor. O vapor entra no compressor onde é comprimido e bombeado, transformando-se em vapor superaquecido e movimentando-se para o condensador, que possui a função de liberar a energia retirada dos alimentos e resultante do trabalho de compressão para o meio exterior. O fluido, ao liberar essa energia, passa do estado de vapor superaquecido para líquido, ou seja ocorre o processo de condensação, e finalmente entra no dispositivo de expansão, onde a sua pressão é reduzida, para novamente ingressar no evaporador e reiniciar o ciclo. Esse processo é ilustrado na figura a seguir (Fig. 5):

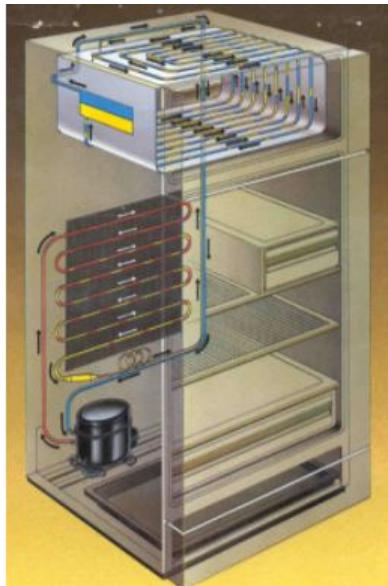


Figura 5 – Modelo de um CMV

Os principais componentes desse sistema e suas funções estão definidas a seguir:

- **COMPRESSOR:** Sua principal função é succionar o fluido refrigerante a baixa pressão da linha de sucção e comprimí-lo em direção ao condensador a alta pressão e temperatura na fase gasosa (vapor superaquecido).

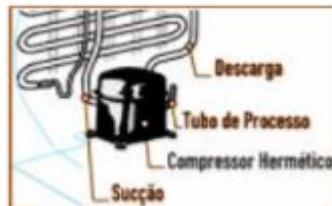


Figura 6 – Modelo de um compressor

- **CONDENSADOR:** Por meio do condensador e suas aletas, o fluido refrigerante advindo do compressor a alta temperatura, efetua a troca de calor com o ambiente externo, liberando o calor que foi absorvido no evaporador e no processo de compressão. Nesta etapa, ocorre uma transformação de vapor superaquecido para líquido sub resfriado a alta pressão.

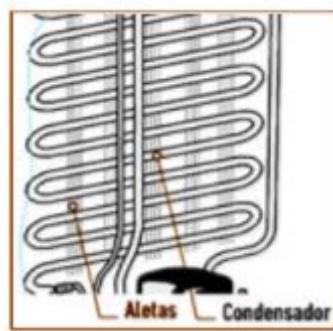


Figura 7 – Modelo de um condensador

- **FILTRO SECADOR:** Executa duas funções muito importantes: A primeira é reter as partículas sólidas que em circulação no circuito, podem provocar obstruções ou danos ao componentes mecânicos do compressor. A segunda é absorver totalmente a umidade residual do circuito que ocasionalmente não tenha sido retirada pelo processo de vácuo, poupando danos ao sistema, como por exemplo, a formação de ácidos, corrosão, aumento das pressões de trabalho e obstrução do tubo capilar por congelamento das gotículas de umidade.

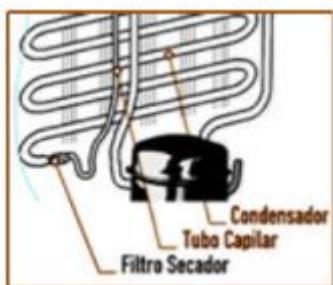


Figura 8 – Modelo de um filtro secador

- **TUBO CAPILAR:** É um tubo de cobre com o diâmetro reduzido que tem como finalidade receber o fluido refrigerante do condensador e proporcionar a perda de carga do fluido refrigerante separando os lados de alta e baixa pressão.
- **EVAPORADOR:** Recepciona o fluido refrigerante proveniente do tubo capilar, em seu estado líquido a baixa pressão e temperatura. Desta forma, o fluido evapora absorvendo o calor da superfície da tubulação do evaporador, ocorrendo a transformação de líquido sub resfriado para vapor saturado a baixa pressão. Este efeito ocasiona a diminuição de temperatura do ambiente interno do refrigerador.

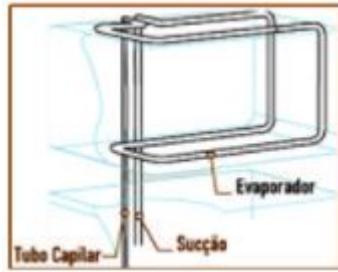


Figura 9 – Modelo de um evaporador

De forma parecida funcionam também os grandes sistemas de refrigeração, como as câmaras frigoríficas por exemplo. O que difere entre esses sistemas é o número de unidades compressoras, evaporadoras, de expansão e condensadoras compreendidas, que nestes últimos podem ser múltiplos, bem como o sistema de controle que pode se tornar altamente complexo.

2.4 Framework Django

Django é um framework gratuito e de código aberto para a criação de aplicações web, escrito em Python, uma linguagem de programação multiparadigma. É um framework web, ou seja, é um conjunto de componentes que ajuda a desenvolver sites de forma mais rápida e mais fácil.

Quando se está construindo um site, o desenvolvedor sempre precisa de um conjunto similar de componentes: uma maneira de lidar com a autenticação do usuário (inscrever-se, realizar login, realizar logout), painel de gerenciamento para o seu site, formulários, upload de arquivos, etc. Há muito tempo, outras pessoas notaram várias semelhanças nos problemas enfrentados pelos desenvolvedores web quando estão criando um novo site, então eles uniram-se e criaram os frameworks (Django é um deles) que lhe dão componentes prontos, que você pode usar. O framework Django utiliza o padrão MTV (model-template-view), onde as views funcionam como controllers e templates funcionam como views.

2.5 Microframework Flask

Flask é um microframework baseado em 3 pilares:

- WerkZeug para desenvolvimento WSGI.
- Jinja2 que é um template de escrita para Python
- Good Intentions para melhorar a legibilidade e seguindo as intenções zen do python.

Essas características nos dão um código em alta qualidade com legibilidade e performance. Este framework é utilizado no projeto para desenvolvimento da API.

2.6 Sistema interno

Sistema responsável por se comunicar com o aparato eletrônico, recebendo dados e interpretá-los. Para isso, será utilizado a linguagem de programação C++. C++ é uma linguagem de programação de

alto nível com facilidades para o uso em baixo nível. Foi desenvolvida por Bjarne Stroustrup (foto) como uma melhoria da linguagem C, e desde os anos 1990 é uma das linguagens mais populares do mundo.

Alguns profissionais afirmam que C++ é a linguagem mais poderosa que existe, veja algumas características dela:

- É um superconjunto da linguagem C, e contém vários melhoramentos;
- É a porta para a programação orientada a objetos;
- C++ pode virtualmente ser efetivamente aplicado a qualquer tarefa de programação;
- Há vários compiladores para diversas plataformas tornando a linguagem uma opção para programas multiplataforma.

2.7 Ergonomia de carregamento de peso

Considerando a configuração do projeto, é possível que seja necessário o levantamento e carregamento da transportadora em algumas situações durante o transporte. Portanto, deve-se levar em conta as regras de ergonomia relacionadas a essa atividade para assegurar a segurança do trabalho. Esse fator vai definir principalmente o peso total limite do projeto.

A CLT (Consolidação das Leis do Trabalho), art. 198/199, e Convenção OIT n.127, determinam um limite de 60 kg para homens e 25 kg para mulheres. Entretanto, a forma como esse padrão foi definido não leva em conta fatores importantes como a diferença do tipo de carga. E a NR 17, Norma Regulamentadora que trata de ergonomia, não define um peso de carregamento. Portanto, não existe um peso de limite de carregamento muito bem definido. ([ALEXANDRE, 2016](#))

Um método frequentemente utilizado para definir esse peso é a Equação NIOSH, concebida pelo National Institute for Occupational Safety and Health, nos Estados Unidos. Esse método define um peso limite para carregamento de cargas de 23 kg em condições ideais, que pode ser diminuído de acordo com as condições de carregamento e trabalho.

$$LPR = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM \quad (2.3)$$

em que LPR é o limite de peso recomendado e, para os parâmetros do projeto:

- LC (Constante de Carga) = 23 kg
- HM (Fator de Distância Horizontal) = 1
- VM (Fator de Altura) = 0,9
- DM (Fator de Deslocamento Vertical) = 1
- AM (Fator de Assimetria) = 0,9
- FM (Fator de Freqüência) = 1
- CM (Fator de Pega) = 1

Portanto, o limite de peso recomendado por pessoa é de 18,65 kg. Espera-se que a transportadora seja carregada por duas pessoas. Portanto o limite de peso sugerido para o projeto é de 37,3 kg.

2.8 TERMOVIDA – Caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes

O projeto TERMOVIDA consiste em uma caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes com um sistema de refrigeração autônoma.

A legislação da ANVISA regulamenta como deve se dar o transporte de órgãos para transplante, as informações que devem ser coletadas que constatam o tempo de vida e a temperatura ideal a ser mantida para que os órgãos que sejam transportados em segurança por este dispositivo puderam indicar como deve ser o recipiente e quais são os equipamentos necessário para que o mesmo funcione corretamente.

Neste projeto, é utilizada uma pastilha de efeito Peltier para a refrigeração da caixa, controlada por histerese, via um micro-controlador. O equipamento, utilizado durante o transporte em veículos, utiliza alimentação elétrica do sistema de 12V do veículo.

A estrutura da caixa é feita de material isolante térmico. Esta possui uma porta de ventilação na lateral, onde está posicionada a pastilha Peltier, e um espaço no qual um painel LCD sensível ao toque está alocado. O painel é responsável por mostrar as condições monitoradas.



Figura 10 – TERMOVIDA - Caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes

3 Solução Proposta

3.1 Arquitetura de Software

O projeto proposto irá dispor de sistemas de softwares distintos que se comunicam entre si, ao qual irão ser responsáveis pelo controle, recepção e apresentação dos dados aos usuários, oriundos do sensoriamento da transportadora de órgãos.

3.1.1 Sistema Interno

Para o sistema implementado junto ao módulo eletrônico da transportadora será utilizado a linguagem de programação C++, que será responsável pela transmissão e recepção dos dados por meio dos sensores e circuitos. Este sistema será integrado junto ao sistema web por meio de arquitetura cliente-servidor ao qual será especificado posteriormente.

3.1.1.1 Requisitos funcionais

| | | |
|----------------------|---|-----------------------------|
| Identificador | RF001 | |
| Nome | Apresentar o nível de pressão da caixa transportadora | |
| Módulo | Sistema interno | |
| Versão | 2 | Prioridade Essencial |
| Descrição | O sistema deve ser capaz de apresentar o nível de pressão registrado pelo sensor de pressão integrado na caixa transportadora | |

Tabela 7 – Sistema interno - requisito funcional 001

| | | |
|----------------------|---|-----------------------------|
| Identificador | RF002 | |
| Nome | Apresentar o nível de temperatura da caixa transportadora | |
| Módulo | Sistema interno | |
| Versão | 2 | Prioridade Essencial |
| Descrição | O sistema deve ser capaz de apresentar o nível de temperatura registrado pelo sensor de temperatura integrado na caixa transportadora | |

Tabela 8 – Sistema interno - requisito funcional 002

| | | |
|----------------------|---|-----------------------------|
| Identificador | RF003 | |
| Nome | Controlar o nível de temperatura manualmente | |
| Módulo | Sistema interno | |
| Versão | 2 | Prioridade Essencial |
| Descrição | O usuário é capaz de controlar o nível de temperatura da caixa transportadora manualmente | |

Tabela 9 – Sistema interno - requisito funcional 003

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF004 |
| Nome | Controlar o nível de pressão manualmente |
| Módulo | Sistema interno |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O usuário é capaz de controlar o nível de pressão da caixa transportadora manualmente |

Tabela 10 – Sistema interno - requisito funcional 004

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF005 |
| Nome | Controlar o nível da temperatura automaticamente |
| Módulo | Sistema interno |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O sistema deve ser capaz de sensoriar e controlar a o nível de temperatura da caixa transportadora automaticamente de acordo com o órgão a ser transportado |

Tabela 11 – Sistema interno - requisito funcional 005

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF006 |
| Nome | Controlar o nível da pressão automaticamente |
| Módulo | Sistema interno |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O sistema deve ser capaz de sensoriar e controlar a o nível de pressão da caixa transportadora automaticamente de acordo com o órgão a ser transportado |

Tabela 12 – Sistema interno - requisito funcional 006

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF007 |
| Nome | Selecionar parâmetros pré-definidos de acordo com o órgão |
| Módulo | Sistema interno |
| Versão | 1 Prioridade Desejável |
| Descrição | Quando o usuário escolher o tipo de órgão a ser transportado, o sistema deve ser capaz de selecionar automaticamente parâmetros de pressão e temperatura pré-definidos para aquele tipo de órgão. |

Tabela 13 – Sistema interno - requisito funcional 007

3.1.2 Sistema Web

Para a construção da aplicação proposta foi definido a implementação de um sistema web no qual ficarão dispostas as informações do sensoriamento da transportadora, além de informações de localização pelo GPS integrado. Este sistema terá como servidor a Raspberry Pi e os usuários poderão se conectar e visualizar o transporte do órgão.

Dessa forma, a implementação deste sistema utilizará das seguintes tecnologias:

- Linguagem de Programação Python - linguagem de programação de alto nível, multiparadigma, interpretada e de tipagem dinâmica e forte;
- Django Framework - framework para desenvolvimento web, escrito em Python, open source, que utiliza o padrão model-template-view. (MTV), utiliza por padrão banco de dados Sqlite3.
- Microframework Flask - focado em escrever código simples, legível e performático para resolver problemas como a API de conexão do sistema.

3.1.2.1 Requisitos funcionais

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF008 |
| Nome | Apresentar o nível de pressão da caixa transportadora |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deve ser capaz de apresentar ao usuário a informação do nível de pressão advindo do sensor de pressão da caixa transportadora |

Tabela 14 – Sistema Web - requisito funcional 008

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF009 |
| Nome | Apresentar o nível de temperatura da caixa transportadora |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deve ser capaz de apresentar ao usuário a informação do nível de temperatura advindo do sensor de temperatura da caixa transportadora |

Tabela 15 – Sistema Web - requisito funcional 009

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF010 |
| Nome | Apresentar a localização em tempo real da caixa transportadora |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deve ser capaz de apresentar a localização em tempo real advindo do GPS integrado na caixa transportadora |

Tabela 16 – Sistema Web - requisito funcional 010

| | |
|----------------------|--|
| Identificador | RF011 |
| Nome | Cadastrar médicos |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deve permitir o cadastro de médicos certificados com CRM |

Tabela 17 – Sistema Web - requisito funcional 011

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF012 |
| Nome | Possuir nível de acesso admin |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deve possuir um nível de acesso de administrador com privilégios próprios |

Tabela 18 – Sistema Web - requisito funcional 012

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF013 |
| Nome | Possuir nível de acesso médico |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deverá possuir um nível de acesso para médicos, o qual é inferior o nível de acesso admin |

Tabela 19 – Sistema Web - requisito funcional 013

| | |
|----------------------|--|
| Identificador | RF014 |
| Nome | Apresentar informações do órgão a ser transportado |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 1 Prioridade Desejável |
| Descrição | O web app deve ser capaz de apresentar algumas informações do órgão que está sendo transportado no momento |

Tabela 20 – Sistema Web - requisito funcional 014

| | |
|----------------------|--|
| Identificador | RF015 |
| Nome | Gerar relatório do processo de transporte do órgão |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 1 Prioridade Desejável |
| Descrição | O web app deve ser capaz de gerar um relatório final com registros do processo de transporte de algum órgão específico. Como por exemplo: a variação de temperatura e pressão, o registro do deslocamento (origem, destino e percurso)... |

Tabela 21 – Sistema Web - requisito funcional 015

3.2 Sistema de Refrigeração

O sistema de refrigeração é uma etapa crucial do projeto da transportadora de órgãos, atendendo ao requisitos definidos o recipiente em que o órgão é armazenado e transportado deve se manter refrigerado durante o período de transporte. Refrigeração pode ser definida como todo processo de remoção de calor, redução e manutenção de temperatura de um espaço ou material abaixo da temperatura ambiente (JÚNIOR, 2003). Portanto, a partir da análise das características da demanda de refrigeração e do conhecimento para a construção e integração do produto, foram levantadas duas opções de resfriamento:

- Refrigeração Termoelétrica - Células Peltier;
- Refrigeração por Compressão Mecânica de Vapor - Compressor.

O refrigerador termoelétrico utiliza-se de dois materiais distintos, como pares termoelétricos convencionais. Há duas junções entre esses dois materiais em um refrigerador termoelétrico, uma está localizada no espaço refrigerado e a outra no meio ambiente. Quando se aplica uma diferença de potencial, a temperatura da junção que se encontra no espaço refrigerado diminui e a temperatura da outra junção aumenta. Operando em regime permanente, ocorrerá uma transmissão de calor do espaço refrigerado para a junção fria. A outra junção se encontrará a uma temperatura acima à ambiente e haverá então uma transmissão de calor para o local.

A utilização dos módulos de peltier tem as seguintes vantagens:

- Ausência de peças móveis e gases refrigerantes para refrigeração;
- Aquece e resfria dependendo apenas da polaridade da alimentação;
- Ausência de barulho e vibrações;
- Tecnologia 100 por cento estado sólido;
- Tamanho da solução reduzido e alta durabilidade;
- Funcionam em qualquer orientação com / sem gravidade diferente dos refrigeradores baseados em compressores.

Já o sistema de refrigeração por compressão mecânica de vapor funciona simplificadamente da seguinte forma, o fluido refrigerante que percorre um circuito fechado para absorver e remover o calor de um espaço que necessita de arrefecimento. Em qualquer processo de refrigeração, ocorre a transferência de calor de um ambiente para outro com a ajuda de um agente externo, que no caso deste sistema é o compressor (FERRAZ, 2008).

Ao se optar por este tipo de sistema de refrigeração, têm-se como vantagens:

- Baixo consumo;
- Maior eficiência.

Em um primeiro momento optou-se pela refrigeração termoelétrica, realizaram-se vários testes de configurações para a célula peltier, entretanto não obtivemos resultados satisfatórios com relação à temperatura atingida dentro da câmara a ser refrigerada, apesar de conseguirmos uma temperatura adequada na face da módulo termoelétrico. A figura abaixo apresenta alguns dos testes realizados.

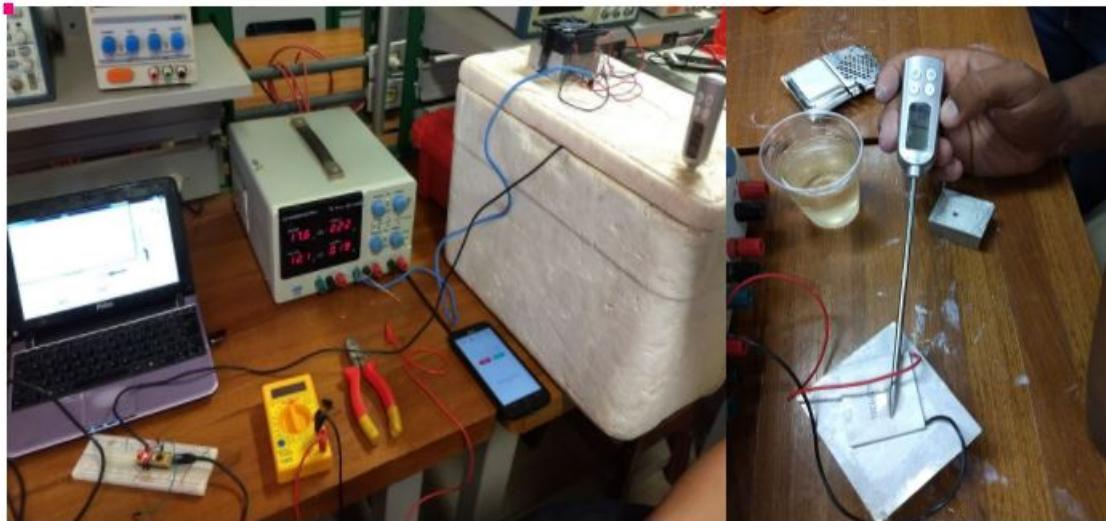


Figura 11 – Testes iniciais utilizando a célula Peltier

Devido aos resultados insatisfatórios, optou-se então pelo sistema por compressão mecânica de vapor, tendo como fonte de fornecimento uma bateria estacionária. O funcionamento do sistema de refrigeração construído está expresso na figura a seguir:

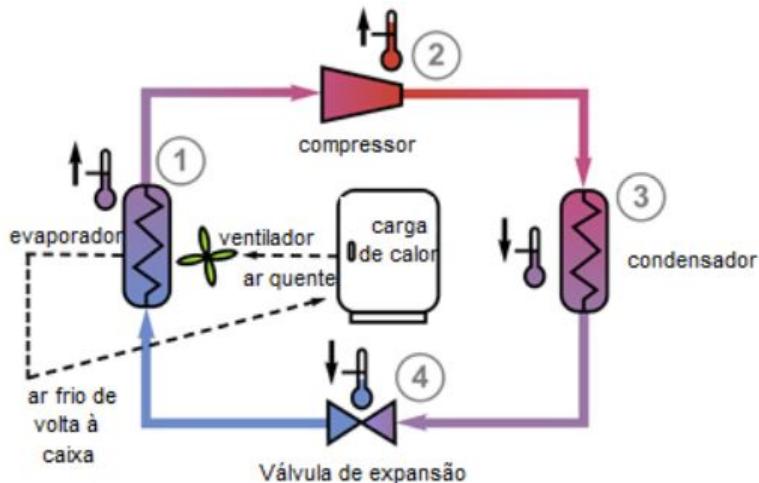


Figura 12 – Diagrama esquemático do sistema com compressor

3.2.1 Dimensionamento do Sistema

3.2.1.1 Cálculo de Carga Térmica

Os cálculos da carga térmica objetivam determinar a quantidade de calor que deverá ser removida da caixa transportadora de órgãos, para que se atinja as condições adequadas para o armazenamento e transporte do órgão.

Para desenvolver os cálculos da carga térmica do sistema, foram levantados os seguintes dados do sistema:

1. Dimensões da caixa interna (que contém o órgão):

- Altura: 0,2 m.
 - Largura: 0,25 m.
 - Profundidade: 0,25 m.
2. Dimensões da caixa externa:
- Altura: 0,3 m
 - Largura: 0,3 m.
 - Profundidade: 0,3 m.
3. Capacidade (volume) da caixa térmica: $0,0027 \text{ m}^3$ (27 L)
4. Temperatura interna de operação: $2^\circ C$
5. Temperatura externa à caixa: $35^\circ C$.
6. Material de isolamento térmico: Poliestireno expandido.
7. Espessura do material de isolamento térmico: 0,07 m.
8. Tempo de resfriamento: 45 minutos.

3.2.1.2 Cálculo da energia e potência térmica do órgão:

Este cálculo se refere à quantidade de calor associada ao órgão e pode ser calculada pela equação:

$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (3.1)$$

Sendo: Q = energia térmica (KJ)

m = massa (g)

c = calor específico ($\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$)

ΔT = Variação da temperatura ($^\circ C$)

Logo, a energia térmica do órgão é:

$$Q_{\text{órgão}} = 13,8 \text{ KJ}$$

Logo, a energia térmica do órgão é:

$$P_{\text{órgão}} = \frac{13,8}{\Delta t} \approx 5,1 \text{ W}$$

3.2.1.3 Cálculo da energia e potência térmica da embalagem com solução Viaspan na qual o órgão está contido

Aplicando a equação para a energia térmica, tem-se:

$$Q = 500 \times 0,97 \times 33 \approx 67 \text{ KJ}$$

Aplicando a equação para a potência térmica, tem-se:

$$P = \frac{67 \text{ KJ}}{2700} \approx 24,8 \text{ W}$$

3.2.2 Cálculo da energia e potência térmica do alumínio da caixa interna

Aplicando a equação para a energia térmica, tem-se:

$$Q_{aluminio} = 3000 \times 0,22 \times 33 \approx 91,2KJ$$

Aplicando a equação para a energia térmica, tem-se:

$$P_{aluminio} \approx 33,8$$

A soma das potências térmicas do órgão, da embalagem contendo a solução Viaspan e do alumínio fornecem a potência térmica total do interior da caixa, necessária ao resfriamento.

A caixa externa também está envolvida nos cálculos de potência térmica devido a transferência de calor que ocorre entre a vizinhança e o sistema.

3.2.2.1 Cálculo da resistência térmica (R_t) e o coeficiente global de transferência de calor (U)

A resistência térmica é calculada a partir da equação

$$R_t = \frac{L_{isopor}}{K_{isopor}}$$

Sendo: R_t = resistência térmica $\frac{m^2K}{W}$

L = espessura (m)

K = condutibilidade térmica $\frac{W}{mK}$

Aplicando a equação, tem-se:

$$R_t = \frac{0,7}{0,007} \approx 2\frac{m^2K}{W}$$

O coeficiente global de transferência de calor é calculado a partir da equação.

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3.2)$$

Aplicando a equação acima, tem-se:

$$U = 0,5 \frac{W}{m^2K}$$

A quantidade de calor que atravessa as paredes da caixa externa é dada pela equação a seguir:

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (3.3)$$

Aplicando a equação, considerando-se a área total da caixa, tem-se:

$$Q = 0,5 \times 0,54 \times 33K$$

Por fim, a potência térmica total do sistema é calculada pela soma da potência térmica interna da caixa junto a quantidade de calor que atravessa as paredes da caixa externa.

Desta forma, conclui-se que o sistema de refrigeração deve suprir a potência de 72,61 W para o resfriamento às condições desejadas.

3.2.3 Evaporador

Para determinar a área do trocador de calor, podemos utilizar o Método de Média Logarítmica das Diferenças de Temperatura que é dado pela seguinte relação:

$$Q = k \times A \times \Delta T_{ln} \quad (3.4)$$

Onde:

Q - taxa de transferência térmica

K - coeficiente de transferência de calor global

A - área de superfície de transferência de calor

ΔT_{ln}

Como o valor do coeficiente global de transferência de calor (K) pode variar, conforme a tabela abaixo,

| Descrição | K (kcal/m ² .h. ^o C) |
|---|---|
| Evaporador tubular inundado | 244,15 – 732,45 |
| Resfriador de salmoura tubular afogado | 146,49 – 488,30 |
| Evaporador de água seco tubular, com Freon nos tubos, água na carcaça | 244,15 – 561,55 |
| Evaporador Baudelot, água, inundado | 488,30 – 976,6 |
| Evaporador Baudelot, água, seco | 292,98 – 732,45 |
| Evaporador de tubo duplo, água | 244,15 – 732,45 |
| Evaporador de tubo duplo, salmoura | 244,15 – 610,38 |
| Evaporador de serpentina e carcaça | 48,83 – 122,08 |
| Evaporador de água, tubular de aspersão | 732,45 – 1220,75 |

Figura 13 – Tabela com os possíveis valores de K

e considerando o pior dos casos de transferência de calor, obtemos um valor de 48,83 para um evaporador de serpentina e carcaça, que é o nosso caso.

A capacidade frigorífica (Q_0) é a quantidade de calor por unidade de tempo retirada do meio que se quer resfriar (produto) através do evaporador do sistema frigorífico. Para o sistema operando em regime permanente desprezando-se a variação de energia e potencial, pela primeira lei da termodinâmica obtém-se:

$$Q = m_f \times (h_1 - h_4) \quad (3.5)$$

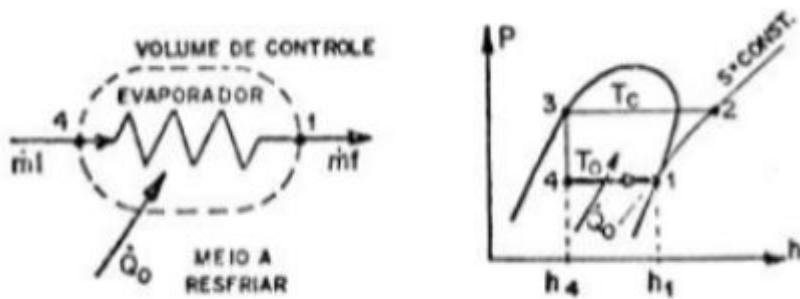


Figura 14 – Volume de controle aplicado ao evaporador e a indicação do processo

Q_0 é a capacidade frigorífica do ciclo operando em temperaturas T_C e T_0 para m_f , entalpia específica h_1 e h_4 . O fluxo de massa de refrigerante (m_f) deve ser mantido pelo compressor. Normalmente se conhece a capacidade frigorífica que deve ter o sistema de refrigeração, que deve ser igualada à carga térmica, se estabelecermos o ciclo de refrigeração que deve operar o sistema podendo assim determinar o fluxo de massa e, consequentemente, o compressor necessário ao sistema (JÚNIOR, 2005).

A quantidade de calor retirado por um quilo de refrigerante através do evaporador é denominada “Efeito Frigorífico - E.F.”, isto é :

$$EF = h_1 - h_4 \quad (3.6)$$

Então, substituindo pelos dados coletados:

$$m_f = 9,81 \frac{Kg}{h}$$

3.2.4 Compressor

Para o dimensionamento do compressor, é necessário calcular a potência necessária para fazer o fluido refrigerante circular pela serpentina. Essa potência foi encontrada a partir da formulação:

$$W_c = m_f \times (h_2 - h_1) \quad (3.7)$$

Sendo: W_c - potência teórica do compressor;

m_f - fluxo de massa refrigerante;

h_2 - entalpia no início da compressão;

h_1 - entalpia no final da compressão;

3.3 Estrutura do Conjunto de Refrigeração

Após o dimensionamento do Sistema de Refrigeração, ocorreu a montagem do sistema final. O sistema dimensionado foi acoplado a estrutura geral do projeto, conforme demonstrado na Figura abaixo



Figura 15 – Estrutura do sistema de refrigeração

O compressor escolhido que satisfazia todas as necessidades dimensionadas, possui as seguintes especificações:

| embraco | | COMPRESSOR TECHNICAL DATA | |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|--------------|
| COMPRESSOR DEFINITION | | | |
| Designation | EM I28HER | | |
| Nominal Voltage/Frequency | 220-240 V 50-60 Hz | | |
| Engineering Number | 513303821 | | |
| A - APPLICATION / LIMIT WORKING CONDITIONS | | | |
| 1 Type | Hermetic reciprocating compressor | | |
| 2 Refrigerant | R-134a | | |
| 3 Nominal voltage and frequency | 220-240 / 50-60 | [V / Hz] | |
| 4 Application type | Low Back Pressure | | |
| 4.1 Evaporating temperature range | -35°C to -10°C | (-31°F to 14°F) | |
| 5 Motor type | RSIR-CSIR | | |
| 6 Starting torque | LST - Low Starting Torque | | |
| 7 Expansion device | Capillary tube | | |
| 8 Compressor cooling | | Operating voltage range | |
| | | 50 Hz | 60 Hz |
| 8.1 LBP (32°C Ambient temperature) | Static | 198 to 255 V | 198 to 255 V |
| 8.2 LBP (43°C Ambient temperature) | Static | 198 to 255 V | 198 to 255 V |
| 8.3 HBP (32°C Ambient temperature) | - | - | - |
| 8.4 HBP (43°C Ambient temperature) | - | - | - |
| 9 Maximum condensing pressures/temperature | | | |
| 9.1 Operating (gauge) | 16.2 | [kgf/cm ²] (230 psig) | / °C - °F |
| 9.2 Peak (gauge) | 20.6 | [kgf/cm ²] (293 psig) | / °C - °F |
| 10 Maximum winding temperature | 130 | [°C] | |

Figura 16 – Especificações Técnicas do Compressor.

3.4 Sistema de Alimentação

As fontes de energia que serão utilizadas para alimentar o produto, incluindo o sistema de refrigeração e os componentes elétricos e eletrônicos, são a rede elétrica comum brasileira e um banco de baterias. O banco de baterias será dimensionada a fim de manter os subsistemas em perfeita operação durante o período solicitado de 48 horas.

3.4.1 Diagrama do Sistema

A Figura a seguir apresenta o diagrama elétrico simplificado do produto. Ele representa o circuito de alimentação utilizado, desde a fonte de energia — rede elétrica padrão — até o uso final em seus componentes elétricos e eletrônicos. É importante ressaltar que este diagrama será refinado ao longo dos pontos de controle, pois o sistema pode ser retificado para melhor atender às condições de contorno que forem encontradas durante a execução do projeto.

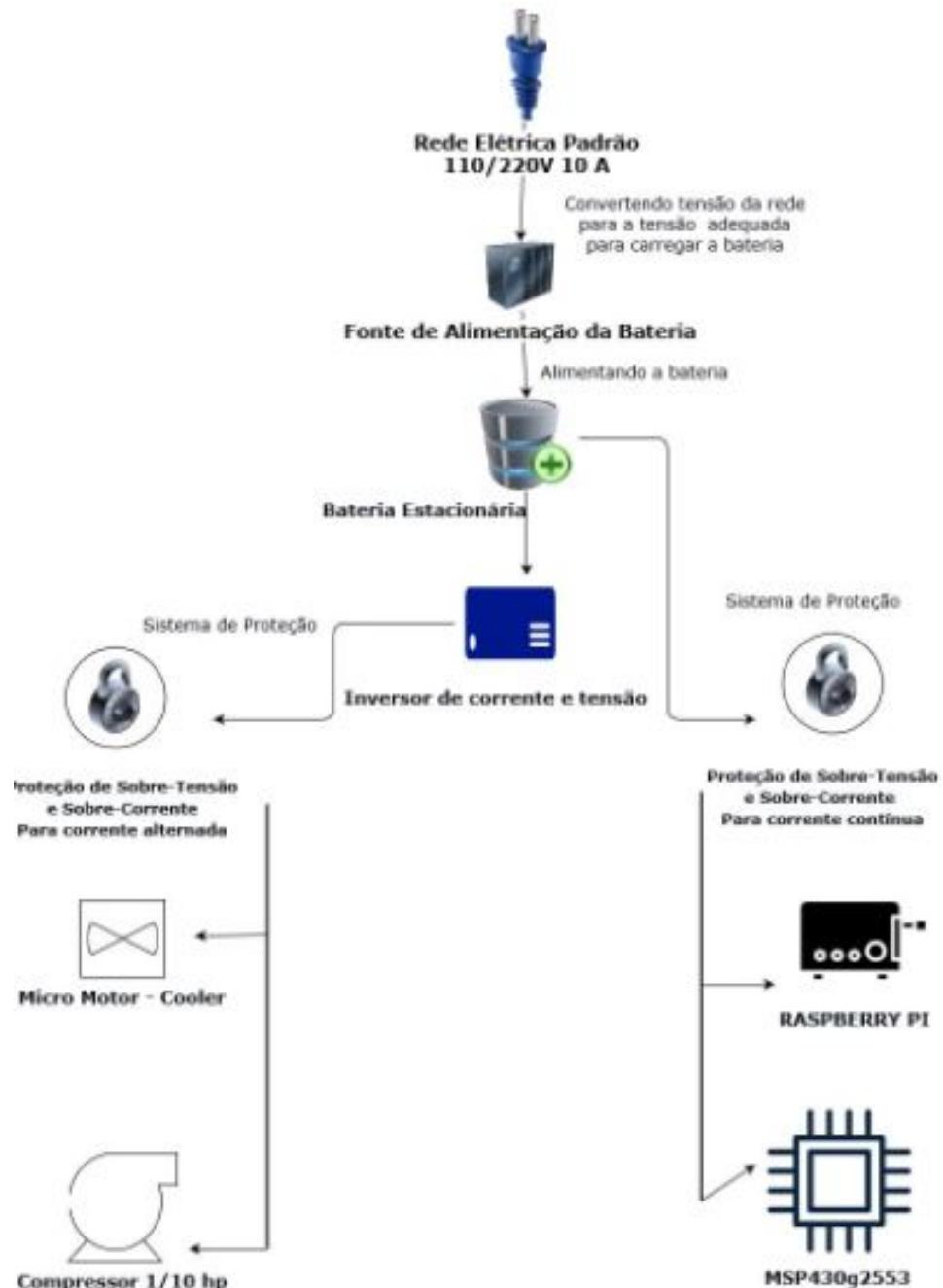


Figura 17 – Diagrama Elétrico Preliminar

O sistema foi dimensionado com um fator de segurança elevado, pois a proposta de projeto é de um sistema de acondicionamento de órgãos para transplante. Sendo assim, o nível de confiabilidade do produto deve ser extremamente alto, para isso todo o sistema de alimentação foi dimensionado relacionando o sistema ao tempo de operação necessário ao transporte e diretamente ao consumo de energia advinda da bateria.

3.4.2 Dimensionamento das Baterias

Baterias têm a finalidade de armazenar energia e liberá-la em determinada periodicidade, e de forma controlada. Sua escolha deve ser adequada às necessidades de consumo energético do projeto, e

considera os dados de corrente elétrica e tensão. Para a seleção da bateria adequada deve-se estudar se ela é capaz de armazenar a energia total demandada às necessidades do projeto, e se ela consegue entregar toda a energia necessária ao funcionamento do equipamento. O processo de dimensionamento do banco de baterias deve ser realizado inicialmente e depois sucessivamente aperfeiçoado, em função dos demais dimensionamentos e ajustado em função dos custos, disponibilidade de mercado, entre outros.

O processo de dimensionamento deve seguir algumas etapas, a primeira delas é definir o tipo de bateria a ser utilizado. Dentre as opções de bateria disponíveis no mercado, optou-se pela bateria estacionária. Sua vida útil é de aproximadamente 5 anos, devido à sua composição com materiais internos mais robustos se comparada às baterias automotivas, por exemplo. Podem, também, suportar descargas de até 80% de sua capacidade, sem prejudicar sua vida útil, e resistem a ciclos de carga ou descarga mais profundos. Tais características proporcionam maior confiabilidade ao funcionamento do projeto pelo uso da bateria estacionária.

Após a escolha do tipo de bateria, deve ser analisada a profundidade de descarga com que se vai trabalhar. Quanto mais profundos os ciclos de descarga-carga, menor a vida útil da bateria. Ou seja, reduzir-se a capacidade da bateria, gasta-se menos no início, porém as baterias durarão menos e os gastos com reposição serão maiores. Um valor usado para essa profundidade de descarga para ciclos diários com baterias de chumbo-ácido é de 10% a 20%. Para ciclos esporádicos, podem ser utilizados ciclos mais profundos, da ordem de 60%.

A capacidade do banco de baterias em Ah pode ser calculada conforme a expressão abaixo:

$$Capacidade(Ah) = \frac{Consumo(\frac{Wh}{dia}) \times Autonomia(dias)}{V_{Baterias}(V) \times profundidade(pu)} \quad (3.8)$$

O dimensionamento da bateria requer inicialmente a relação de potência demandada para suprir as necessidades dos componentes elétricos do projeto, como mostra a tabela a seguir:

Tabela 22 – Consumo energético dos componentes

| COMPONENTE | ALIMENTAÇÃO (V) | CORRENTE (A) | POTÊNCIA (W) |
|---------------------------------|-----------------|--------------|--------------|
| MSP430g2553 | 5 | 330μ | 1,65 mW |
| RASPBERRY PI | 5 | 2,5 | 12,5 |
| PROTETOR | 12 | 26,5m | 318m |
| COMPRESSOR $\frac{1}{10} HP$ | 12 | 2,4 | 28,33 |
| MICRO MOTOR | 12 | 260,9m | 3,6 |

Ao somar todas as cargas necessárias, o total foi de 229,819 Wh, já o consumo de corrente fica em 3,5365 A/h. O principal problema é o alto valor de partida do motor-compressor, o que é chamado de corrente de pico, no caso do motor-compressor utilizado, a corrente pode atingir um valor entre 2-3 Ampères, o que requer atenção ao dimensionar a bateria para que ela suporte esse aumento inicial.

Com relação a profundidade da descarga no final da autonomia (pu) - utilizamos 0,6 (descargas mais profundas significam vida útil menor para a bateria e menos profundas um investimento inicial maior). Sendo que o consumo total é obtido a partir do levantamento das cargas, a autonomia de 5 horas.

Logo,

$$Capacidade \approx 33,2439 Ah$$

3.4.3 Dimensionamento do Inversor

Inversores são conversores estáticos que, segundo Matakas Jr. E Komatsu (2011) transformam corrente ou tensão de forma contínua para a alternada. Muitos equipamentos operam em corrente/tensão contínua, sendo que a rede elétrica opera em corrente/tensão contínua. Portanto, a maneira mais simples de se trabalhar sem necessidade de mudanças drásticas em nenhum dos dois sistemas é se utilizar um inversor.

Este equipamento pode ser monofásico ou trifásico, sendo que o modelo utilizado no projeto será monofásico, e irá converter 12V da bateria que alimenta o sistema para 220V, valor de tensão que os outros componentes do sistema trabalham. Neste caso, com apenas duas chaves eletrônicas e uma fonte de tensão CC dividida é possível obter o inversor desejado.

Os inversores podem operar com duas tecnologias, senóide modificada ou senóide pura. No primeiro caso, formam uma onda quadrática, aproximando-se da senoidal AC, bom custo x benefício e pode ser aplicado na maioria dos casos, exceto para motores. O segundo caso pode ser usado como suprimento de energia AC em qualquer sistema, o que difere é o valor e o tamanho.

Um inversor bem dimensionado tem a potência maior que o consumo dos equipamentos para evitar que este trabalhe sempre em máxima potência, em suma um inversor é projetado em 3 estágios, oscilador, driver de corrente e transformador.



Figura 18 – Diagrama Elétrico Preliminar

Em primeiro lugar o oscilador transforma a corrente contínua em uma onda quadrada de 60Hz, que precisa ser adequada para uma onda senoidal, para isso é utilizado um filtro passa faixa centrado em 60Hz para eliminar as harmônicas indesejadas e obter uma onda senoidal mais eficaz possível. Entretanto, a saída do oscilador possui uma corrente muito baixa, por isso é necessário um ganho de corrente, para que seja entregue uma potência satisfatória na entrada do primário do transformador. Como a potência requerida é muito alta, se faz necessário que sejam inseridos vários transistores em paralelo para aumentar o ganho de corrente.

Na última fase o transformador faz a elevação da tensão para 220V que é a tensão necessária para ligar o compressor.

3.4.4 Requisitos

Com vistas à concepção e validação da solução, foram definidos os requisitos relativos ao subsistema de alimentação e refrigeração do produto:

3.4.4.1 Requisitos Funcionais

O sistema de alimentação deve ser capaz de:

- Armazenar energia elétrica;
- Fornecer energia para os componentes elétricos e eletrônicos de controle e monitoramento do produto;
- Fornecer energia para o sistema de refrigeração.

3.4.4.2 Requisitos Não Funcionais

O sistema de alimentação deve ser capaz de:

- Prover a energia necessária para o bom funcionamento do produto durante um período máximo de 48 horas, com armazenamento de energia em baterias;
- O sistema deve ser capaz de controlar a potência que será entregue as placas de peltier;
- Possuir eficiência energética aceitável, através de um controle de potência no sistema de refrigeração, escolha de componentes eletrônicos de baixa potência e sistemas de standby em determinados componentes não críticos do produto;
- Ser estável energeticamente, evitando picos de potência com componentes e segurança de circuitos.

3.5 Estrutura

Entende-se como o subsistema de estrutura as partes do sistema que possuem função estrutural. Este subsistema é responsável por comportar os demais subsistemas, seguindo os requisitos definidos pelo projeto.

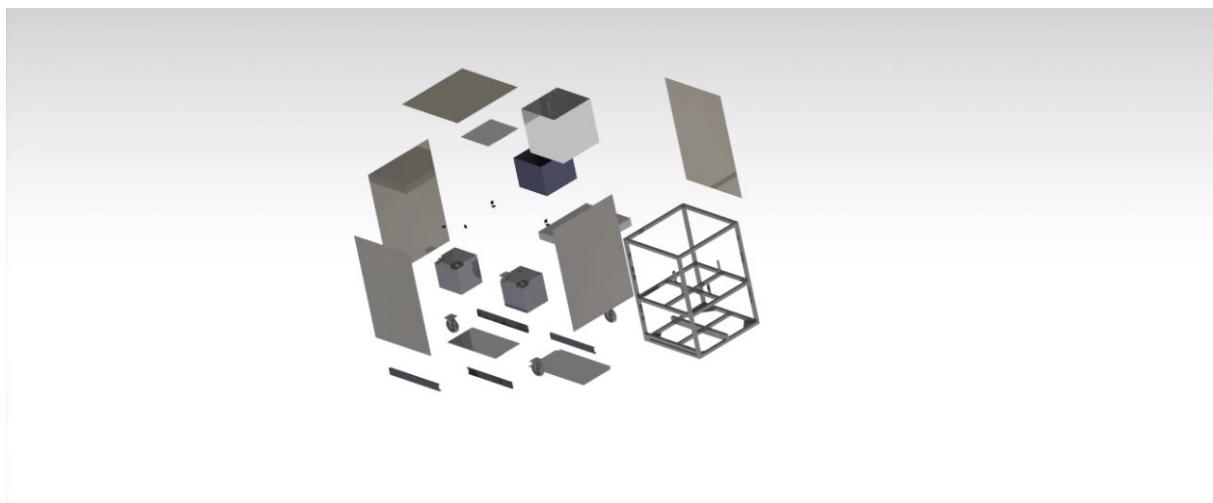


Figura 19 – Visão explodida



Figura 20 – Visão externa lateral

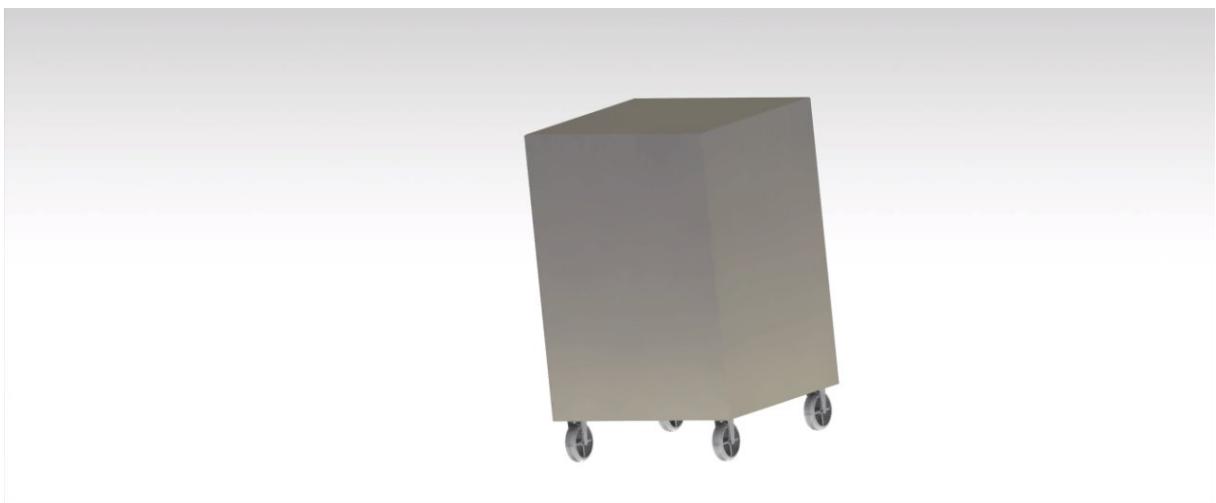
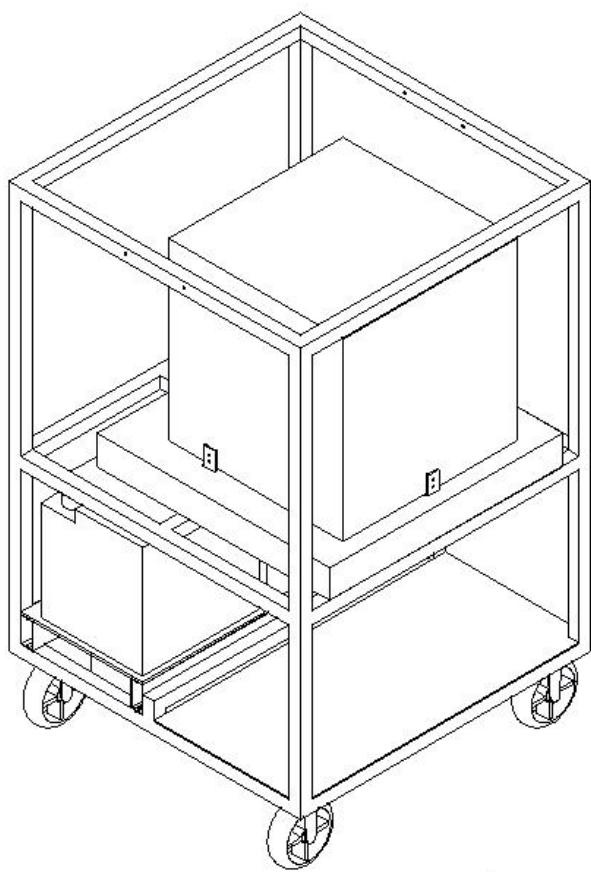


Figura 21 – Visão externa posterior



Vista Isométrica

Figura 22 – Desenho técnico da estrutura completa

3.5.1 Componentes Estruturais

Para fins de melhor compreensão, os componentes da estrutura foram separados em partes, de acordo com suas características e funções.

3.5.1.1 Compartimento de carga

O compartimento de carga, é a caixa mais interna da estrutura, na qual o órgão, dentro das embalagens apropriadas, é transportado.

Requisitos

O compartimento de carga deve ser:

- Hermeticamente fechado, ou seja, vedado.
- Facilmente removido ou posicionado na câmara de resfriamento.

Design

- **Caixa:** De acordo com o tamanho do órgão que será carregado e as embalagens e líquido que estão envolvendo o órgão, e com os requisitos de portabilidade do sistema, o compartimento foi projetado com um design cúbico, para melhor fabricação, dimensionado para ter 24,7 x 24,7 x 20 cm.
- **Tampa:** O formato escolhido para a tampa da caixa foi um prato quadrado de 24,7 x 24,7 cm. Deste modo, o compartimento pode ser vedado com a aplicação de tiras de borracha nas bordas da caixa e da tampa. Uma alça posicionada no centro e topo da tampa serve para manusear o compartimento.
- **Fixadores:** Para que o compartimento seja hermético, a tampa deve ser bem fixada na caixa. Por isso, foram adicionados 6 presilhas distribuídas ao redor da caixa para prender a tampa.

O material escolhido para o compartimento foi alumínio, devido a sua propriedade de alta condutividade térmica, de modo a facilitar o resfriamento do interior do compartimento.

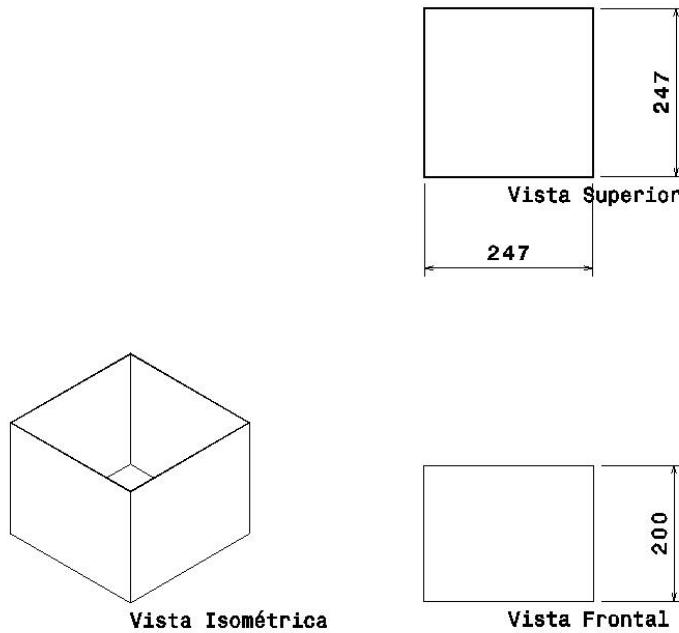


Figura 23 – Desenho técnico do compartimento de carga

Fabricação

Os materiais utilizados foram:

- Chapa de alumínio série 5000 1m X 1m de 2mm espessura
- Borrachas
- Presilhas
- Alça

Procedimentos:

1. Inicialmente, a chapa de alumínio foi cortada utilizando cortadora de chapas.
2. Em seguida, a chapa foi dobrada com 90 graus utilizando a dobradora de chapas.
3. para finalizar a caixa foi soldada utilizando o processo TIG (tungstênio inert gás).
4. Foi aplicado pasta de silicone nas bordas da caixa e da tampa para ajudar na vedação. Foi fixada então a borracha utilizando cola instantânea.
5. As presilhas foram
6. Enfim, a alça foi posicionada no centro da tampa e rebitada para sua fixação.

3.5.1.2 Câmara de Resfriamento

A câmara de resfriamento é a parte da estrutura resfriada pelo sistema de refrigeração e onde se encontra o compartimento de carga.

Requisitos

A estrutura da câmara de resfriamento deve ser:

- Isolada termicamente.
- Capaz de comportar o compartimento de carga e parte interna do sistema de refrigeração.
- Capaz de apoiar o compartimento de carga de modo fixo, para que este não se movimente com o deslocamento da transportadora.
- Fixa na estrutura principal, porém seu topo deve ser acessível do lado externo.

Design

- **Caixa:** Similarmente ao compartimento de carga, a câmara de resfriamento foi projetada com formato cúbico, porém o fundo da caixa é arredondado ao invés de plano para que a água gerada pelo sistema de refrigeração escoe para uma saída localizada no centro do fundo. Foram escolhidas as dimensões de 30 x 30 x 30 cm para a caixa. O material escolhido foi aço inox devido às suas excelentes propriedades de resistência e isolamento térmico.
- **Tampa:** A tampa da caixa é composta por uma seção quadrada de 30 x 30 cm de aço inox, contornada com borracha e conectada à caixa por dobradiças em um dos lados. Para abrir a câmara, a tampa possui uma alça.
- **Isolamento térmico:** Para que a câmara seja isolada termicamente, esta é cercada por uma camada de 5 cm de isopor comum em todas as faces da caixa.
- **Apoios do compartimento de carga:** Para gerar melhor estabilidade para o compartimento de carga, a câmara de combustão possui 4 encaixes em 'L' no fundo e 2 apoiadores na tampa para manter a o compartimento em uma posição fixa quando a câmara se encontrar fechada.
- **Fixadores:** Assim como o compartimento de carga, a tampa da câmara de resfriamento é fechada por presilhas. Na câmara são utilizadas 4 presilhas, sendo 2 no lado oposto das dobradiças e 1 em cada lado restante.

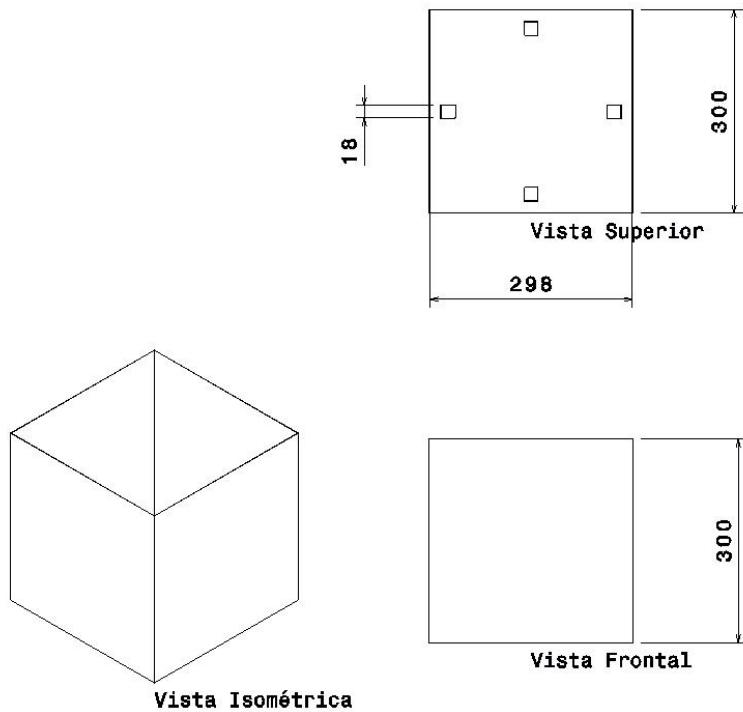


Figura 24 – Desenho técnico da câmara de resfriamento

Fabricação

Materiais Utilizados:

- Chapa de aço inox 304L 2m X 1m de 1.2mm espessura
- Placa de Isopor de 5 cm de espessura
- Borrachas
- Dobradiças
- Presilhas
- Chapa de aço Metalon de 2 mm de espessura

Procedimentos:

1. A chapa de aço foi cortada utilizando cortadora de chapas.
2. Depois, a chapa foi dobrada em ângulos de 90 graus utilizando a dobradora de chapas.
3. A solda foi realizada utilizando o processo TIG (tungstênio inert gás).
4. Em seguida, o fundo da caixa foi amassado para tomar um formato arredondado e foi feito um furo no centro do fundo para escoamento de água.

5. Foram cortadas e soldadas partes de chapa de aço Metalon para formar os apoiadores e estes foram furados e rebitados no fundo da caixa. Foi colado com cola instantânea pedaços de borracha no topo dos apoiadores.
6. As tampas depois de cortadas foram furadas para a colocação das presilhas e as dobradiças de metal. Após a furação foi feita fixação das peças na tampa com rebites.
7. A placa de isopor foi fixada com cola para isopor e silicone industrial transparente na estrutura e na câmara de resfriamento.

3.5.1.3 Estrutura

Define-se aqui como estrutura a parte que de estrutura básica da transportadora, que engloba as demais partes e é responsável pela maior parte da sustentação de forças.

Requisitos

A estrutura deve:

- Ser capaz de sustentar as forças atuantes sem sofrer deformação considerável.
- Ter espaço interno capaz de comportar, no mínimo, a câmara de resfriamento, o sistema de refrigeração, duas baterias e os subsistemas eletrônicos.

Design

- **Estrutura:** Foi projetada uma estrutura composta por barras de aço de seção quadrada de 20 x 20 mm e 1,2mm de espessura. Uma configuração de duas partes foi adotada, na qual a parte superior comporta a câmara de resfriamento e os sistemas eletrônicos, e a inferior comporta o compressor e as baterias.
- **Fixadores:** Para fixar a câmara de resfriamento em seu lugar na estrutura, 4 peças em formato "L" foram posicionadas de modo que um lado do fixador será preso na estrutura, e o outro lado na câmara.
- **Base:** Para sustentar a parte externa do sistema de refrigeração e a bateria, uma placa de alumínio será fixada no fundo da parte inferior da estrutura.
- **Rodas:** Para a movimentação da transportadora, o sistema tem 4 rodas, com travas, fixas embaixo da estrutura por placas triangulares soldadas nas barras inferiores.

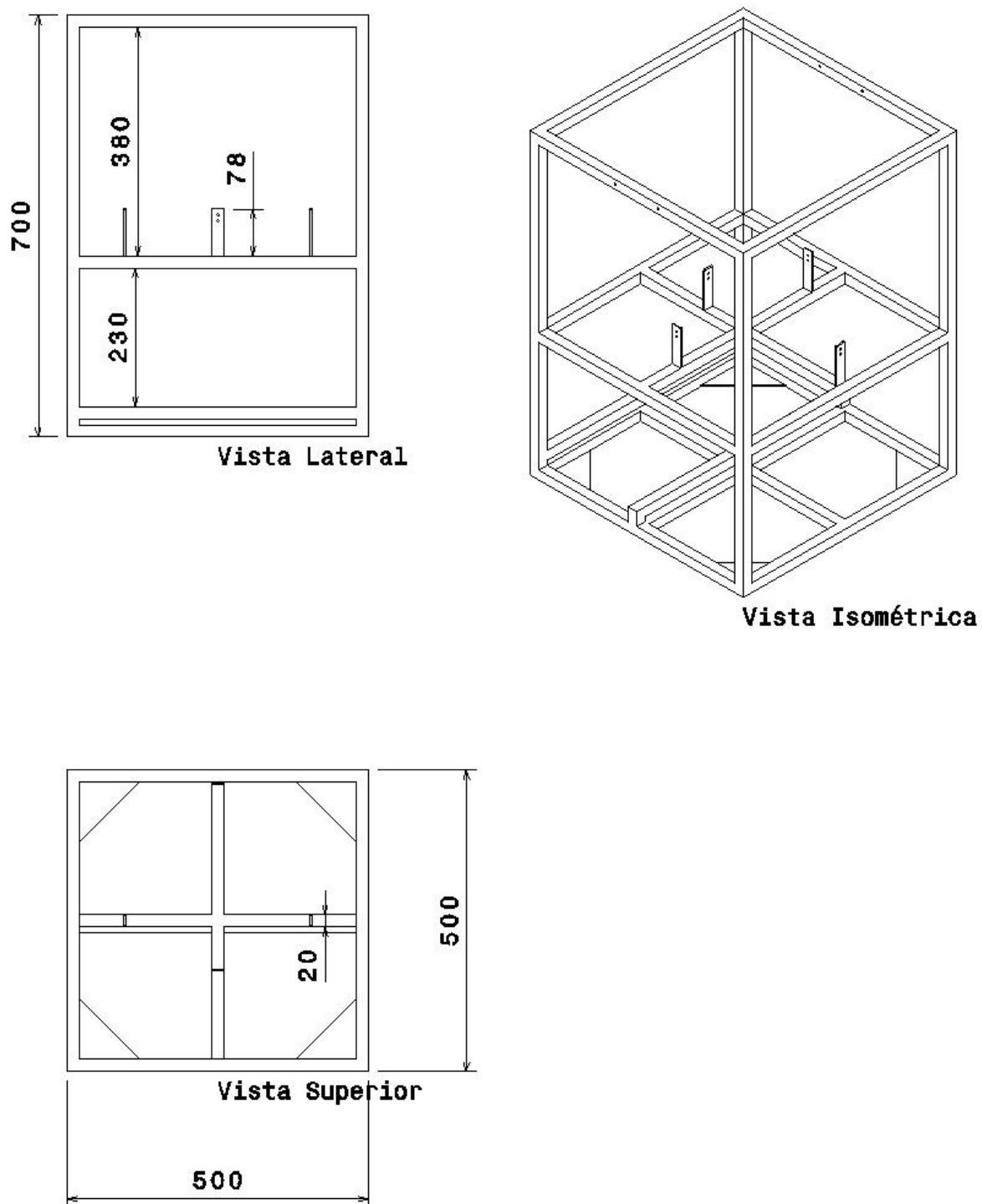


Figura 25 – Desenho técnico da estrutura

Fabricação

Materiais Utilizados:

- Aço estrutural Metalon 20 x 20 x 1,2 mm
- Chapa de aço carbono de 20x20 1,2 mm de espessura
- Chapa de aço de 2 mm de espessura

Procedimentos:

1. As barras foram cortadas com a esmerilhadora utilizando um disco próprio para corte do metal. Após cortadas foram corrigidas e acabadas com um esmeril fixo.
2. A solda foi realizada utilizando o processo MIG (metal inert gás) e desbastadas com a máquina esmerilhadora utilizando o disco esmerilhador.
3. Os fixadores da caixa de refrigeração foram soldados na estrutura com um ângulo de 90 graus e esmerilhados para o acabamento da solda.
4. A placa de aço carbono de fixação do sistema compressor foi fixada com rebites nos buracos feitos na estrutura com uma furadeira.
5. As rodas foram fixadas em placas de aço triangulares de 2 mm de espessura soldadas na parte inferior do metalon estrutural. Há borrachas de 3mm de espessura entre a estrutura das rodas e o metalon onde foi fixado com parafusos.

3.5.2 Simulação Computacional

3.5.2.1 Análise Estrutural

O Método dos Elementos dos Elementos Finitos (MEF) é considerado como um método matemático capaz de resolver problemas complexos de forma eficiente e rápida. Lotti (2006), define o MEF como sendo um modelo matemático em meio contínuo que é discretizada em elementos, mantendo as propriedades do objeto em análise. Qualquer falha em componentes estruturais é iniciada após a tensão aplicada exceder o limite de escoamento do material naquele local, Beer e Johnston (1982). Com base nisso utilizaremos o MEF para analisar a viabilidade estrutural do projeto.

Para análise estática cada elemento utilizado na geração da malha é interpretado como uma mola com uma dada rigidez e tamanho determinado. Esta consideração faz com que possamos construir matrizes em termos de carregamento, deslocamentos e rigidez, onde a rigidez depende das propriedades dos materiais e da geometria da peça em análise.

Condições de Contorno

Tabela 23 – Condições de Contorno da Análise Estrutural

| Peça | Restrição | Carregamento [N] |
|------------------------|---|------------------|
| Estrutura | Engaste na extremidade inferior | 120+120 |
| Compartimento de Carga | Contato fixo nos apoios da câmara de resfriamento | 100 |
| Câmara de Resfriamento | Contato fixo nos apoios da estrutura | - |

Resultados

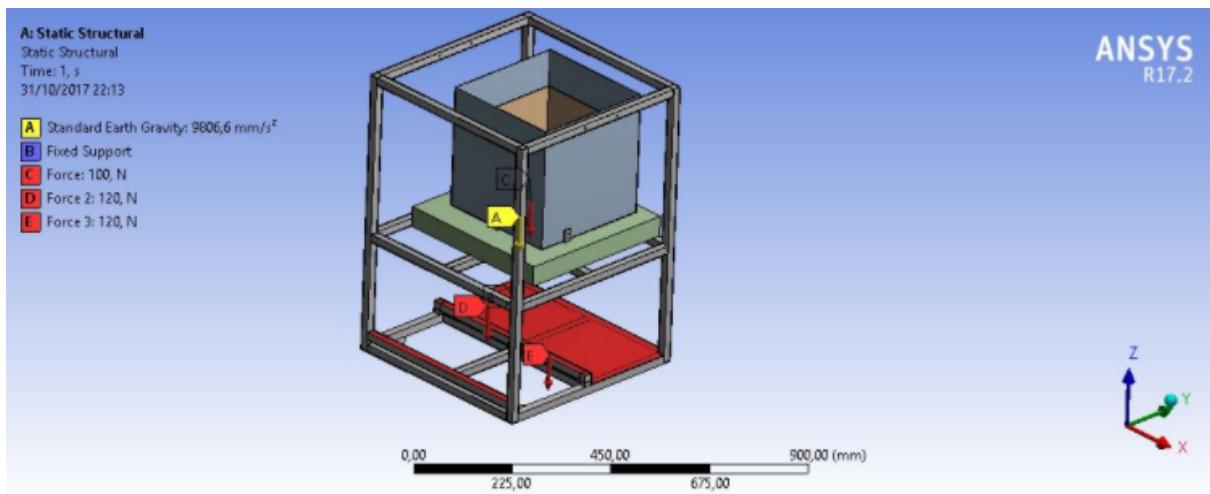


Figura 26 – Carregamentos

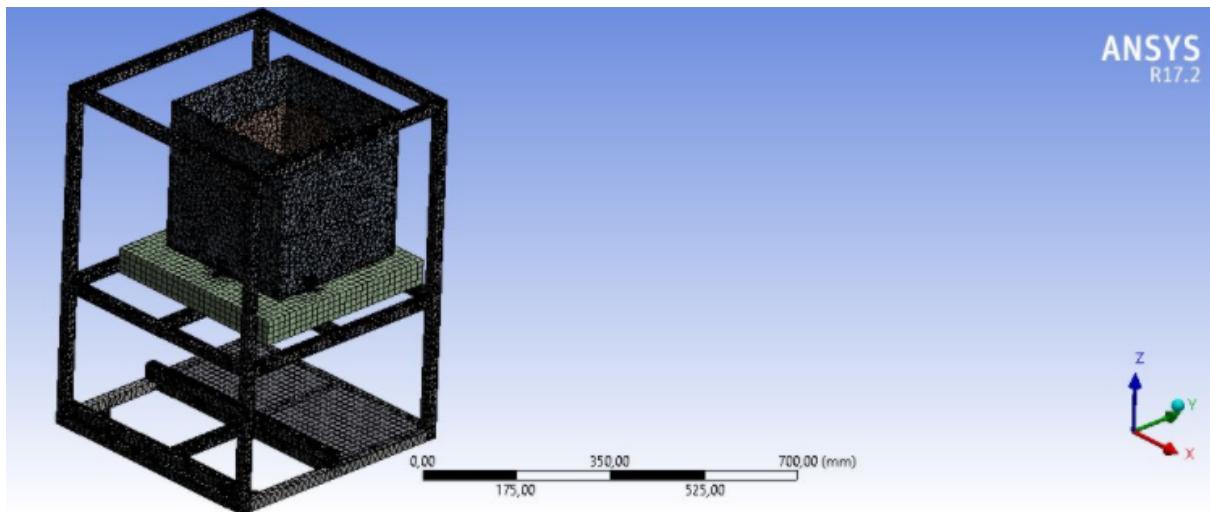


Figura 27 – Refinamento da Malha

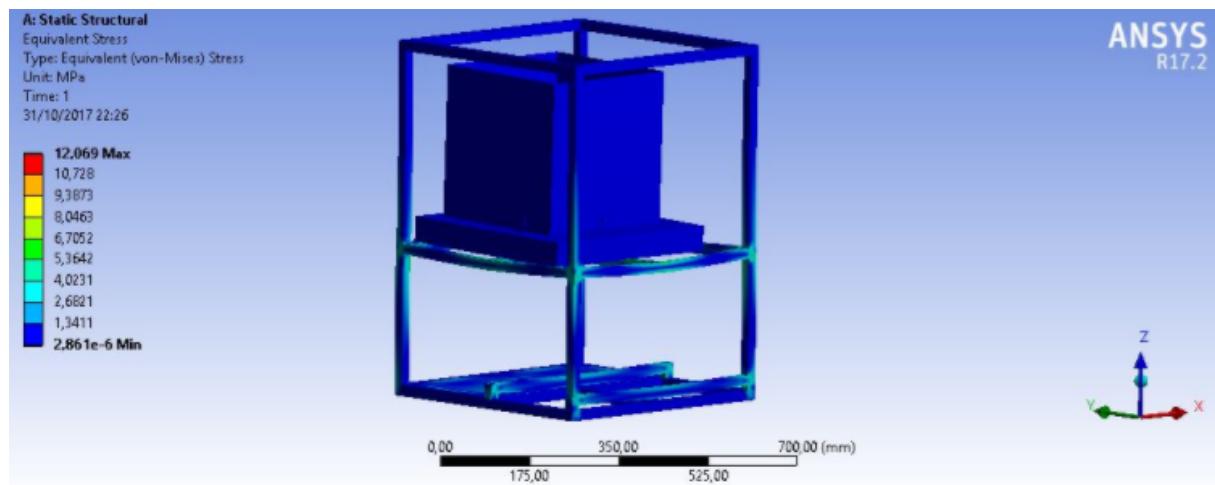


Figura 28 – Tensão Equivalente de Von Mises

Tabela 24 – Resultados para análise estática

| Peça | Material | Máxima Tensão Equivalente [MPa] |
|------------------------|----------|---------------------------------|
| Estrutura | Metalon | 8,000 |
| Compartimento de Carga | Alumínio | 12,069 |

Tabela 25 – Modos de falha e frequências de ressonância

| Modo | Frequência [Hz] |
|------|-----------------|
| 1 | 40,348 |
| 2 | 41,746 |
| 3 | 63,886 |
| 4 | 79,741 |
| 5 | 86,600 |
| 6 | 100,14 |
| 7 | 101,15 |
| 8 | 117,9 |
| 9 | 118,43 |
| 10 | 122,59 |
| 11 | 143,65 |
| 12 | 150,92 |

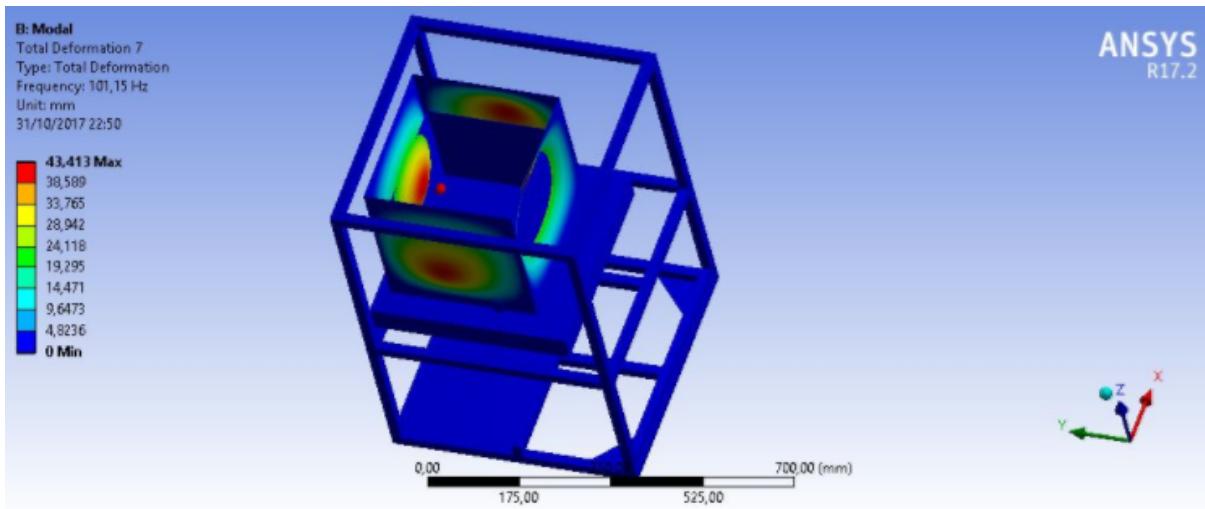


Figura 29 – Modo de Falha 7

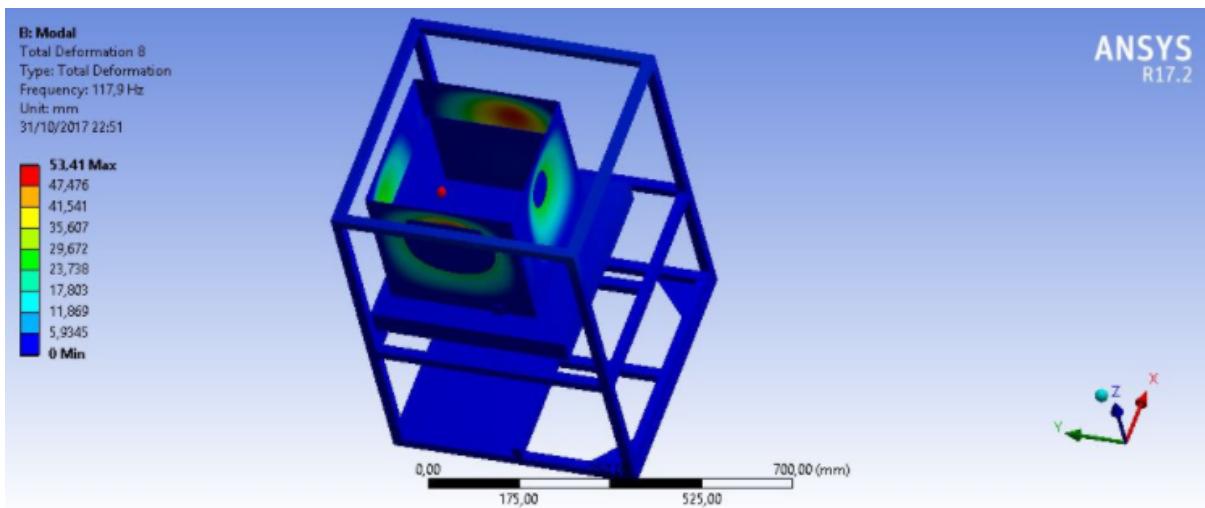


Figura 30 – Modo de Falha 8

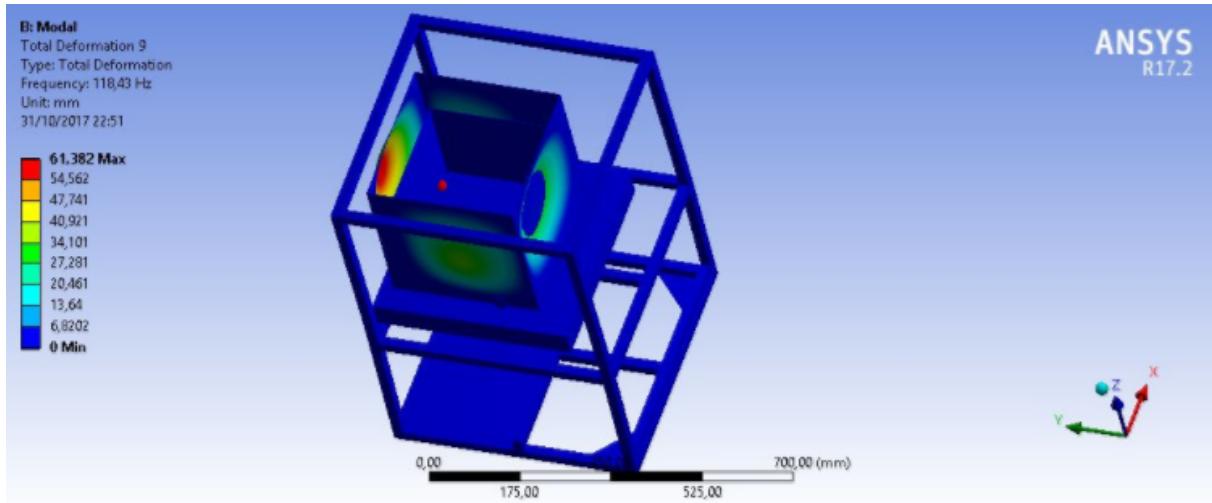


Figura 31 – Modo de Falha 9

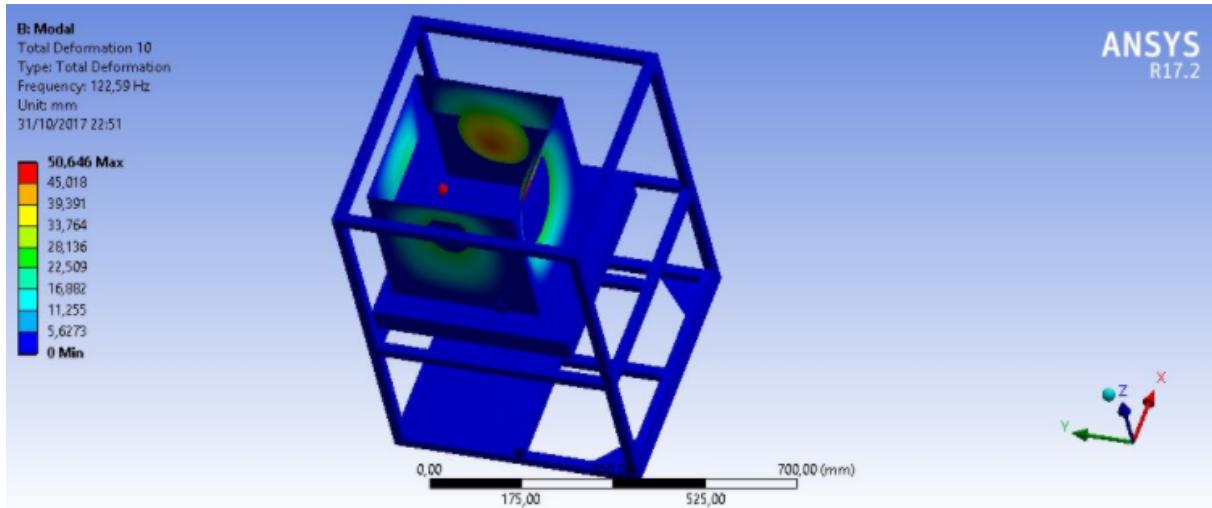


Figura 32 – Modo de Falha 10

3.5.2.2 Simulação de Transferência de Calor

O principal objetivo do projeto é o transporte seguro de órgãos, dentro das condições necessárias. Portanto, um dos pontos mais importantes é a refrigeração do órgão para que este esteja sempre em um ambiente com temperatura dentro dos limites aceitáveis.

É interessante portanto, simular a transferência de calor principalmente no compartimento de carga e na câmara de resfriamento. Para isto, foi desenhado um modelo simplificado desses componentes da estrutura em CAD e foi feita uma simulação em ANSYS Steady Thermal.

O modelo utilizado para a simulação é composto de um cubo representando o compartimento de carga e uma caixa representando a câmara de resfriamento, dentro da qual está a serpentina do sistema de refrigeração.

Condições de contorno

- Temperatura inicial do compartimento de carga: 2 graus C.
- Temperatura inicial da câmara de resfriamento: 0 graus C.
- Temperatura dos ambientes de convecção: 0 graus C.
- Temperatura na entrada da serpentina: -10 graus C.
- Temperatura na saída da serpentina: 0 graus C.

A transferência de calor é feita da serpentina para a caixa por convecção com coeficiente de convecção $h = 48,83W/m^2K$ e da câmara de resfriamento para o compartimento de carga com coeficiente $h = 40W/m^2K$.

Resultados

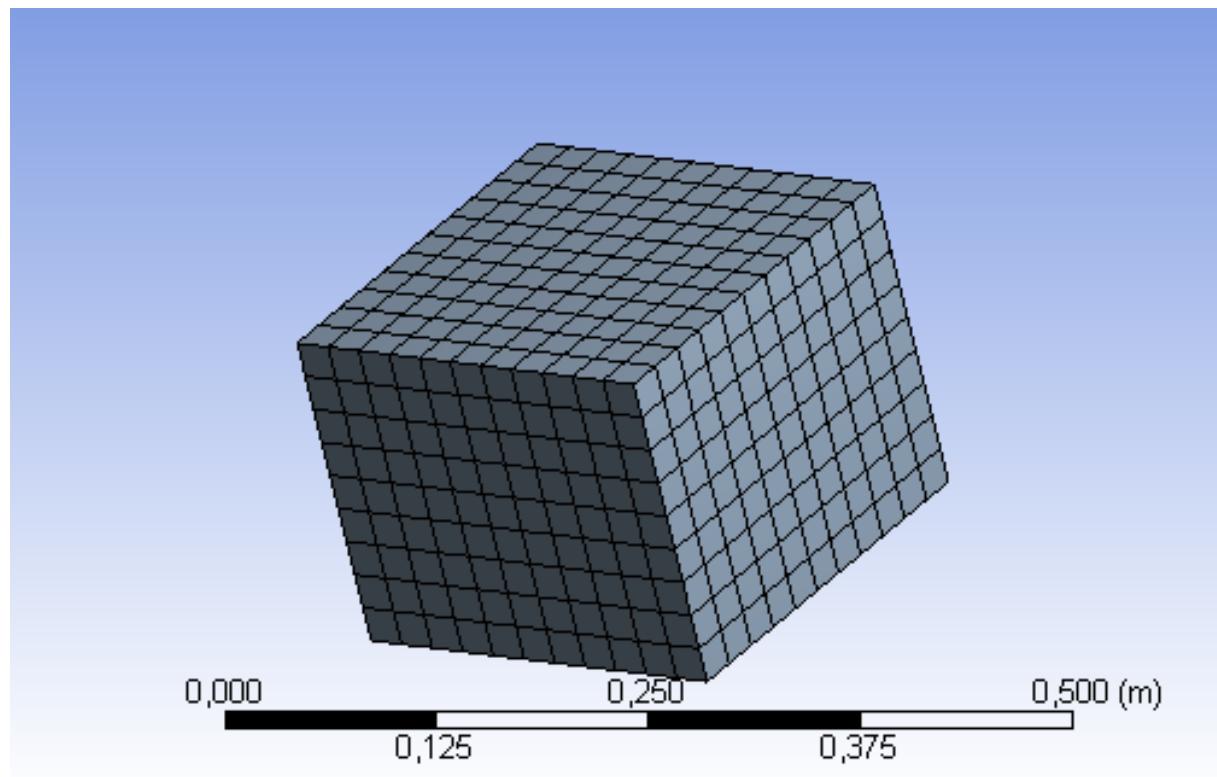


Figura 33 – Malha do compartimento de carga

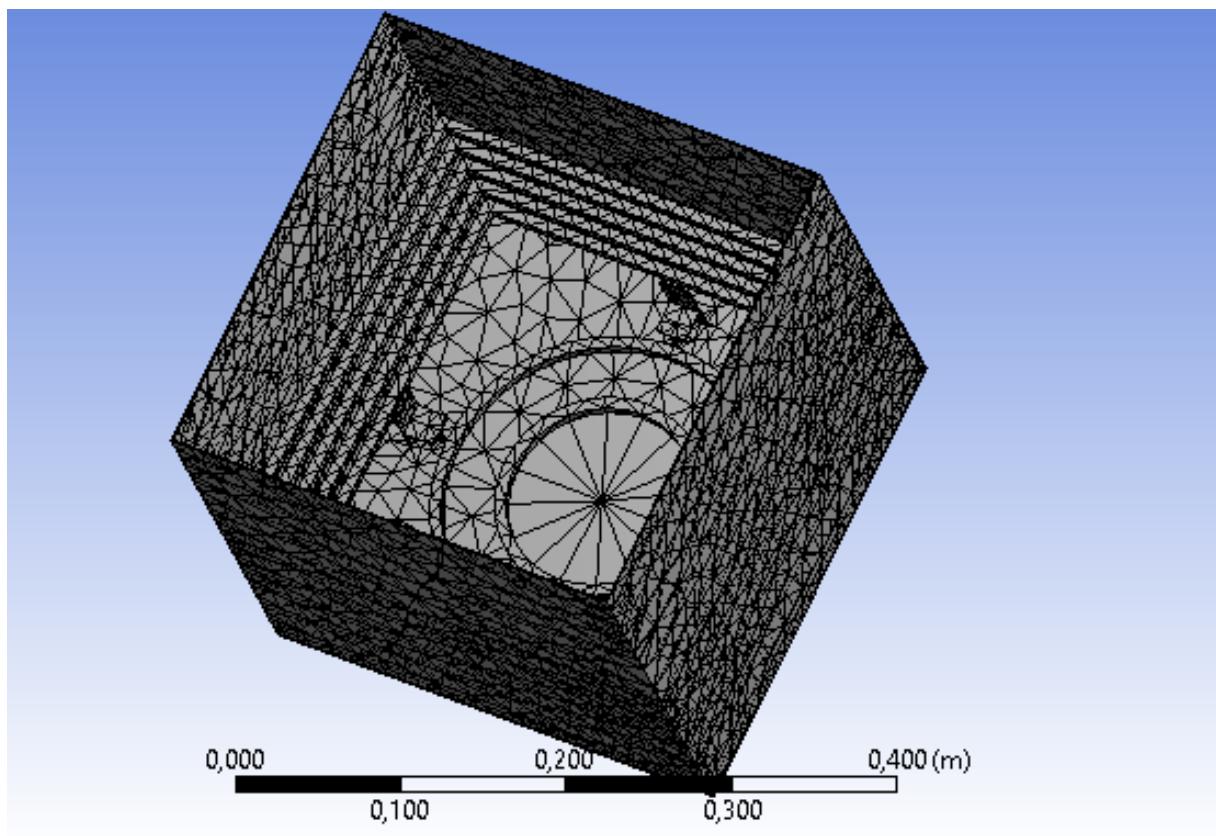


Figura 34 – Malha da câmara de resfriamento

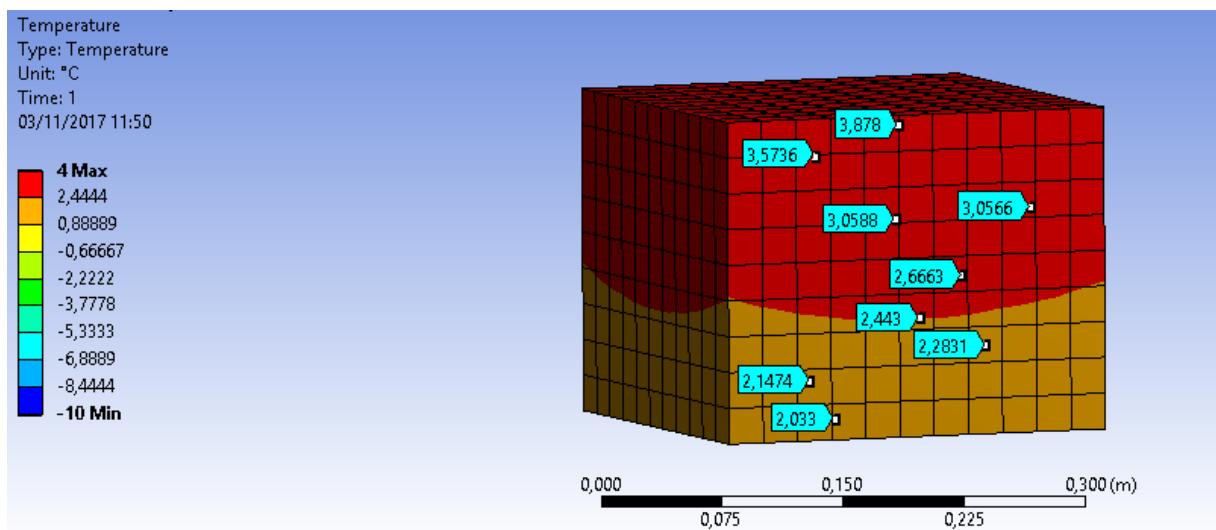


Figura 35 – Distribuição de temperatura no compartimento de carga

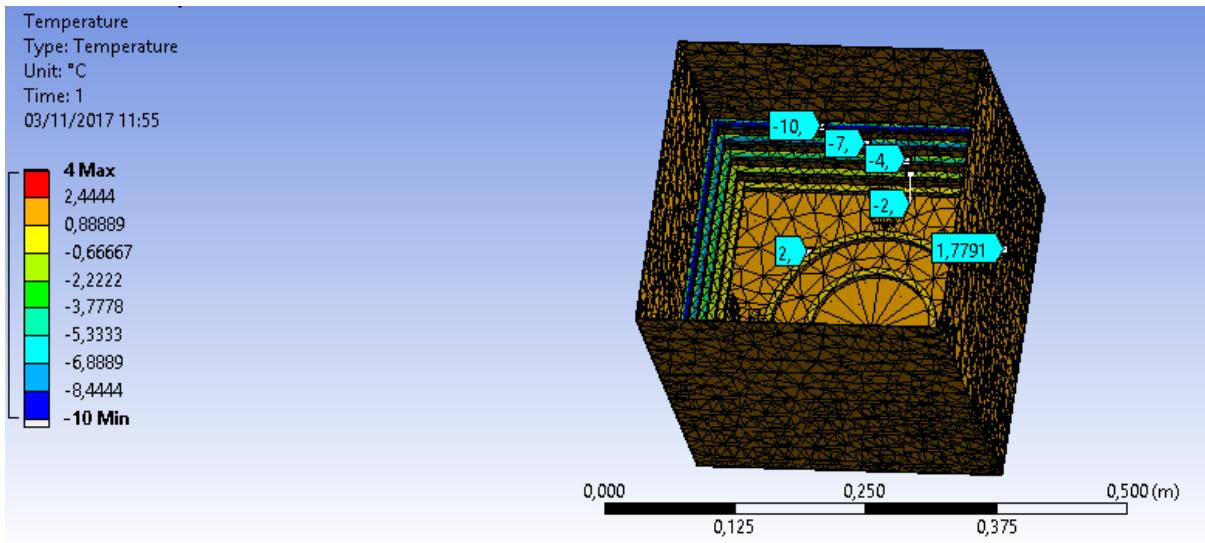


Figura 36 – Distribuição de temperatura na câmara de resfriamento

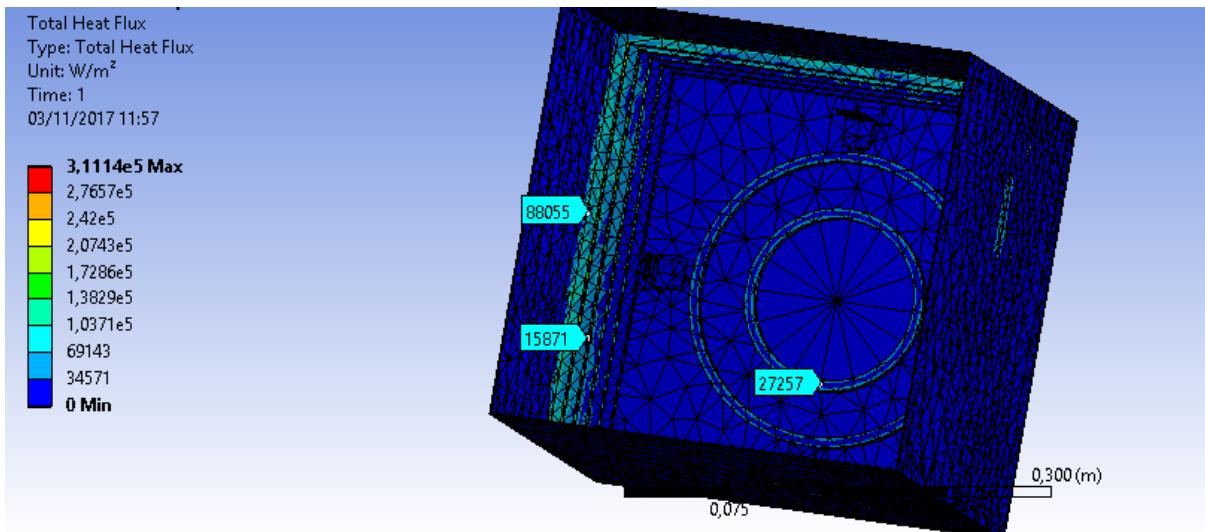


Figura 37 – Fluxo de calor na câmara de resfriamento

3.6 Sistemas Eletrônicos

Com vistas à concepção e validação da solução, foram definidos os requisitos relativos ao subsistema de alimentação e refrigeração do produto:

3.6.1 Servidor

O servidor será construído com auxílio do Raspberry Pi, que é um computador que praticamente o tamanho de um cartão de crédito. Ele foi desenvolvido primeiramente com o intuito de se aprender

programação. Pode ser usado como um substituto para grandes computadores, pois ele permite a instalação de um sistema operacional, baseado em Linux, como o Raspbian. Com a sua boa capacidade de processamento ele permite inclusive que se possa jogar certos jogos e ver vídeos em alta definição. Os pinos de propósito geral de entrada/saída (GPIO, general purpose input/output) permitem que ela seja usada pra uma grande variedade de várias aplicações. Esses pinos são pinos de entrada e saída digitais.

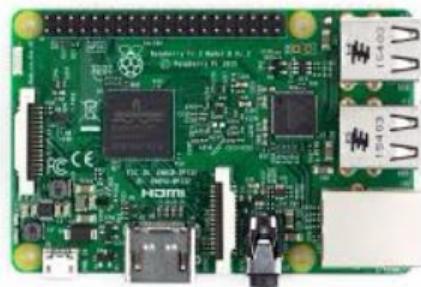


Figura 38 – Vista superior da Raspberry

A Raspberry Pi 3 possui um processador quad core de 1.2GHz, 64 bits, uma placa de rede wireless, módulo Bluetooth, 4 portas USB, 40 pinos de entrada e saídas digitais, GPIOs, porta HDMI, por Ethernet, conector de áudio 3.5mm, P2, um slot para cartão micro SD. Para a sua alimentação, é necessário uma fonte de 5V e de 2A, totalizando um gasto de energia de 10W. Se a fonte não consegue fornecer uma tensão e essa corrente especificada, a placa de desenvolvimento pode funcionar de uma maneira inadequada e não conseguindo tomar todas as ações necessárias comprometendo o funcionamento do sistema que depende dela como um todo.

A sua utilização, será feita conjunto com outros microcontroladores, pois mesmo havendo uma alta capacidade de processamento, ela não é muito adequada para situações em que se necessite processamento quase em tempo real. Isso ocorre pois ela está em amplo funcionamento com um sistema operacional, o que consome muitos recursos do processamento.

Para a sua utilização em conjunto, será necessária o uso de um protocolo de comunicações, como o I2C, SPI ou UART, essa escolha será feita para que se tenha um melhor aproveitamento da velocidade de comunicação. I2C e SPI, levam uma vantagem, pois ela permite que seja feito uma rede de comunicação com vários dispositivos. Isso é permitido, pois se pode haver um mestre, que determina a velocidade de transmissão, e vários escravos que vão se comunicando com o mestre.

3.6.2 Circuito Preventivo

O circuito preventivo visa proteger o sistema como um todo da ocorrência de sobretensão, evitando assim que se danifique o produto. Ele é feito tendo como base um relé e um diodo Zener. Sua função é interromper a passagem de corrente no momento em que a tensão de entrada ultrapassa um valor limiar. O circuito está ilustrado logo abaixo:

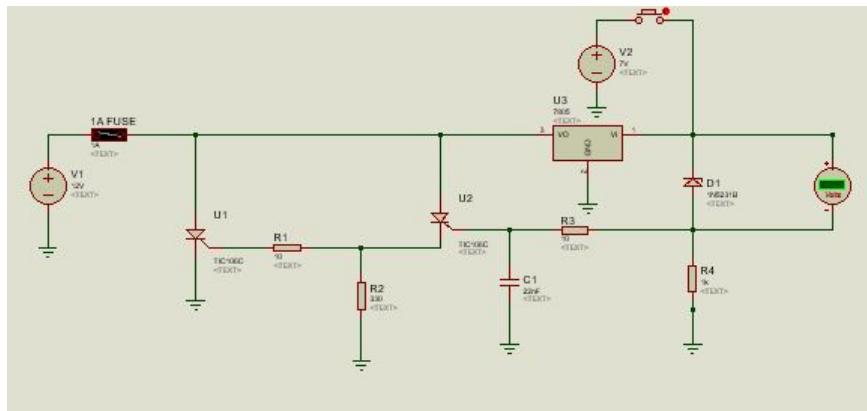


Figura 39 – Circuito de proteção

3.6.3 Controle PWM

O controle PWM — tanto o que agirá sobre o cooler quanto o que agirá sobre a célula peltier — está ilustrado na figura logo abaixo:

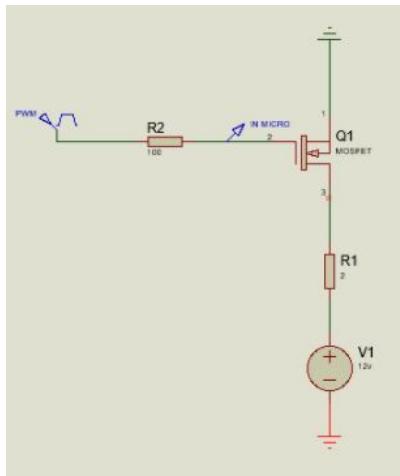


Figura 40 – Circuito responsável pelo controle PWN

Ligado a esse circuito, está o controlador MSP430, responsável por utilizar um dos seus pinos como saída PWM para que o circuito acima o amplifique com auxílio do MOSFET. Conforme o datasheet, o pino PWM do MSP430 é o P1.6

3.6.3.1 Subsistema de Controle

O sistema de controle deve ser capaz de:

- Realizar a aquisição de dados através de sensores;
- Realizar o controle de potência fornecida para os coolers e placa peltier;
- Transmitir os dados dados recebidos para outra placa;
- Tomada de decisão de acordo com os dados.

3.6.3.2 Subsistema de Proteção

O sistema de proteção deve ser capaz de:

- Proteger o circuito de sobretensão;
- Proteger o circuito de sobrecorrente.

3.6.3.3 Subsistema de Comunicação e Análise

O sistema de proteção deve ser capaz de:

- Analisar todos os dados advindos de sensores e outros componentes;
- Transmitir dados para um servidor WEB;
- Transmitir dados usando algum tipo de rede sem fio.

3.7 Tabela de custos

| ESTIMATIVA DE CUSTOS DO PROJETO | | | | | | | |
|---|-------|------------|---------------|---------------------|----------|--------------|---------------------|
| Custos Alimentação e Refrigeração | | | | | | | |
| MATERIAL UTILIZADO | QUANT | Unitário | Fornecedor | Total | FRETE | Desconto (%) | V. Final |
| Bateria estacionária Freedom Df1000 70 Ah | 3 | R\$ 303,90 | Americanas | R\$ 911,70 | COMBINAR | | R\$ 911,70 |
| Fonte | 1 | R\$ 80,00 | Contato | R\$ 80,00 | COMBINAR | | R\$ 80,00 |
| Dissipadores de Calor | 2 | R\$ 10,00 | Contato | R\$ 20,00 | COMBINAR | | R\$ 20,00 |
| Cooler | 2 | R\$ 10,00 | Contato | R\$ 20,00 | COMBINAR | | R\$ 20,00 |
| Pasta Térmica CDA 15g | 2 | R\$ 5,00 | Mercado Livre | R\$ 10,00 | COMBINAR | | R\$ 10,00 |
| Cabos e conectores em geral | | | Contato | R\$ 60,00 | COMBINAR | | R\$ 60,00 |
| SOMA | | | | R\$ 1.101,70 | | | R\$ 1.101,70 |
| CUSTOS DE ELETROÔNICA | | | | | | | |
| MATERIAL UTILIZADO | QUANT | Unitário | Fornecedor | Total | FRETE | Desconto (%) | V. Final |
| lm7805 | 2 | R\$ 3,00 | Contato | R\$ 6,00 | COMBINAR | | R\$ 6,00 |
| lm7812 | 2 | R\$ 3,00 | Contato | R\$ 6,00 | COMBINAR | | R\$ 6,00 |
| TIC106C | 4 | R\$ 7,50 | Contato | R\$ 30,00 | COMBINAR | | R\$ 30,00 |
| Fusíveis | 10 | R\$ 1,00 | Contato | R\$ 10,00 | COMBINAR | | R\$ 10,00 |
| Resistores variados | 10 | R\$ 1,50 | Contato | R\$ 15,00 | COMBINAR | | R\$ 15,00 |
| apacitores variados | 10 | R\$ 1,00 | Contato | R\$ 10,00 | COMBINAR | | R\$ 10,00 |
| módulo PWM | 3 | R\$ 30,00 | Contato | R\$ 90,00 | COMBINAR | | R\$ 90,00 |
| DIODO ZENER 1N4733 (5,1V/1W) | 2 | R\$ 0,40 | Contato | R\$ 0,80 | COMBINAR | | R\$ 0,80 |
| DIODO ZENER 1N4742 (12V/1W) | 2 | R\$ 0,40 | Contato | R\$ 0,80 | COMBINAR | | R\$ 0,80 |
| SENSOR DE TEMPERATURA | 1 | R\$ 22,00 | Mercado Livre | R\$ 22,00 | COMBINAR | | R\$ 22,00 |
| Display Touchscreen Raspberry | 1 | R\$ 54,00 | Mercado Livre | R\$ 54,00 | COMBINAR | | R\$ 54,00 |
| MSP430 | 1 | R\$ 60,00 | Mercado Livre | R\$ 60,00 | COMBINAR | | R\$ 60,00 |

| Raspberry Pi 3 | 1 | R\$ 200,00 | Mercado Livre | R\$ 200,00 | COMBINAR | | R\$ 200,00 |
|---|----------|------------|---------------|--|--------------|--------------|-------------------|
| Módulo Gsm Gprs Sim 800I C/ Antena Raspberry Pi | 1 | R\$ 46,00 | Mercado Livre | R\$ 46,00 | COMBINAR | | R\$ 46,00 |
| kit refrigeração | 1 | R\$ 85,90 | Mercado Livre | R\$ 85,90 | COMBINAR | | R\$ 85,90 |
| SOMA | | | | R\$ 636,50 | | | R\$ 636,50 |
| CUSTOS DE ESTRUTURA | | | | | | | |
| MATERIAL UTILIZADO | QUANT | Unitário | Fornecedor | Total | FRETE | Desconto (%) | V. Final |
| METALON BARRA DE 6m | 2 | R\$ 14,00 | Mercado Livre | R\$ 28,00 | COMBINAR | | R\$ 28,00 |
| CHAPA DE PVC 2m X 1m X 1mm | 4 | R\$ 36,00 | Mercado Livre | R\$ 144,00 | COMBINAR | | R\$ 144,00 |
| RODINHA COM FREIO | 4 | R\$ 18,00 | Mercado Livre | R\$ 72,00 | COMBINAR | | R\$ 72,00 |
| METRO QUADRADO DE ACO INOX 1mm | 1 | R\$ 600,00 | Mercado Livre | R\$ 600,00 | COMBINAR | | R\$ 600,00 |
| CHAPA DE ALUMINIO 170mm X 53mm X 2mm | 2 | R\$ 15,00 | Mercado Livre | R\$ 30,00 | COMBINAR | | R\$ 30,00 |
| ESPUMA EXPANSIVA DE POLIURETANO | 2 | R\$ 20,00 | AMERICANAS | R\$ 40,00 | COMBINAR | | R\$ 40,00 |
| SOMA | | | | R\$ 914,00 | | | R\$ 914,00 |
| CUSTOS DE SOFTWARE | | | | | | | |
| CATEGORIA | PREÇO | MOEDA | TEMPO (ANOS) | Total | | | V. Final |
| HOSPEDAGEM DE SERVIDOR | \$100,00 | DOLAR | 1 ANO | R\$ 316,75 | | | R\$ 316,75 |
| SOMA | | | | | | | R\$ 316,75 |
| ESTIMATIVA TOTAL DO PROJETO | | | | - + | R\$ 2.968,95 | | |

Figura 41 – Tabela de custos

4 Resultados

4.1 Software

4.1.1 Mudanças no escopo

Algumas informações e diretrizes do projeto foram modificadas desde a concepção da ideia do projeto de software. A seguir apresentamos as mudanças realizadas no projeto para esta entrega.

4.1.1.1 Sistema Interno

A principal mudança de escopo na implementação do sistema interno, após refinamento de requisitos, se dá pela remoção do controle e apresentação da pressão interna da caixa transportadora, com isso afeta diretamente os Requisitos Funcionais RF001, RF004, RF006, aos quais são destinados às funções descritas previamente.

4.1.1.2 Sistema WEB

Assim como o sistema interno, as principais mudanças em relação ao escopo planejado para o webapp se dá pela remoção da apresentação de dados da pressão interna da caixa transportadora, removendo assim o Requisito Funcional RF008. Outra mudança de escopo definido durante a implementação do sistema se dá na mudança de controle usuários e seus devidos acessos, ao quais não só “Médicos” serão os usuários do sistema, mas sim definidos 3 tipos de usuários, a serem descritos posteriormente, com isso serão atualizados os Requisitos Funcionais RF011 e RF013.

| | |
|----------------------|--|
| Identificador | RF011 |
| Nome | Cadastrar Usuários |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deve permitir o cadastro de usuários aos quais irão interagir com o sistema web. |

Tabela 26 – Sistema Web - requisito funcional 011

| | |
|----------------------|---|
| Identificador | RF013 |
| Nome | Definir nível de autorização dos usuários |
| Módulo | Sistema Web |
| Versão | 2 Prioridade Essencial |
| Descrição | O web app deverá possuir um nível de acesso diferenciado para os 3 níveis definidos. Seja eles: Administrador, Transportador e Usuário. |

Tabela 27 – Sistema Web - requisito funcional 013

4.1.1.3 Arquitetura de Software

Em relação à Arquitetura de Software proposta não houve mudanças de escopo. A arquitetura implementada consiste no modelo cliente-servidor, aos quais o serverside (Lado do Servidor) foi implementado uma API, webservice, em linguagem Python conjunto ao framework Flask, que consiste na recepção e partilhamento dos dados advindos tanto do sistema web, quanto do sensoriamento da caixa transportadora, persistindo os dados e mantendo a segurança do sistema. O clientside (Lado do Cliente) consiste na aplicação web ao qual o usuário interagir com o sistema, de acordo com seu nível de autorização. Foi implementado em linguagem Python + framework Django, seguindo o modelo de desenvolvimento MTV: Model - View - Template.

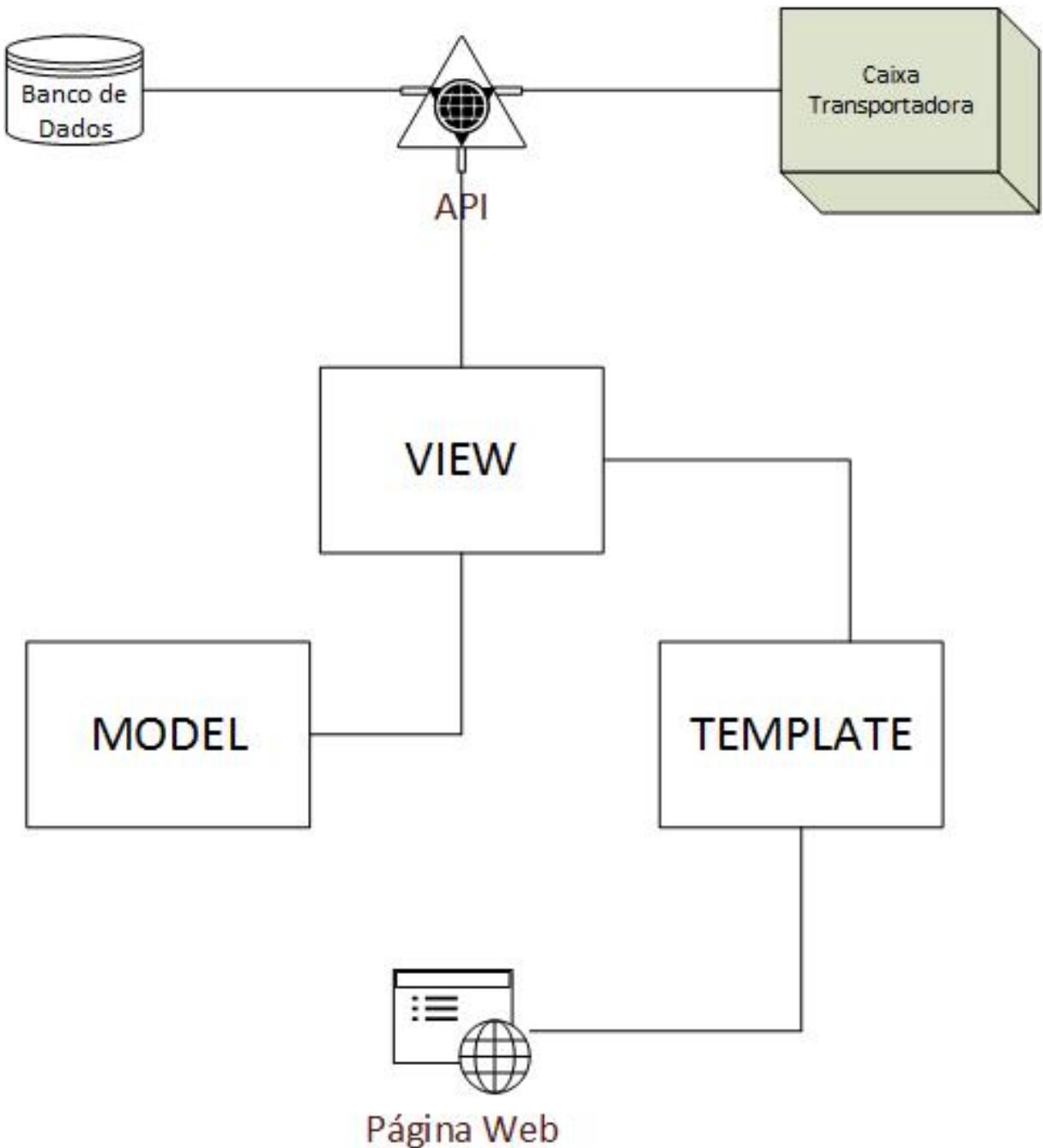


Figura 42 – Arquitetura de Software

4.1.1.4 Integração

A integração com as outras áreas de engenharias deste projeto consiste na comunicação do sistema interno e webapp com os dispositivos eletrônicos e sensoriamento disposto na caixa transportadora. O sistema interno está atuando em conjunto com o microcontrolador para recepção dos dados dos sensores de temperatura, trava e controle on/off, e com a raspberry pi para transmissão dos dados para a API, com isso a equipe de desenvolvimento de software está a trabalhar ativamente com a equipe de eletrônica a fim de atingir os objetivos específicos relacionados à esses temas.

4.1.2 Requisitos Implementados

4.1.2.1 Cadastro de Usuários

Foi implementado um sistema de cadastro de usuários, aos quais estes serão classificados e cadastrados em três diferentes tipos de acordo com seu nível de autorização.

- Administrador: Terá controle total sobre a aplicação; somente usuário administrador terá acesso aos cadastros de usuários e novas câmaras de transporte;
- Transportador: Terá autorização para iniciar um novo transporte e visualizar o andamento do mesmo;
- Usuário: Poderá apenas visualizar as informações de um transporte em andamento.

Para o cadastro serão necessários informar os dados de nome de usuário, email, senha e nível de acesso. A seguir a tela de cadastro:

Figura 43 – Arquitetura de Software

4.1.2.2 Listar e Apagar Usuários

O sistema irá dispor de uma página específica para listar todos os usuários cadastrados juntamente com a opção de deletar os mesmos. A seguir a tela de listagem de usuários:

| Nome | Email | Apagar? |
|-------|-------------------|---------|
| teste | teste@hotmail.com | |

Figura 44 – Listar usuários

4.1.2.3 Sistema de Login

O sistema de autenticação se dará por meio do envio dos dados das credenciais à API, composto por nome de usuário e senha, e caso estas informações estejam corretas a API retorna um token de acesso ao qual é guardado em uma sessão, onde para acesso às páginas, o sistema sempre verificará se consta na sessão o token correto, caso contrário retornará à página de login.

A seguir a tela de Login:

Figura 45 – Login no WebApp

4.1.2.4 Cadastro de Câmaras

O sistema dispõe de um cadastro de novas câmaras, onde é solicitado o nome da mesma para seu cadastro. Internamente é criada junto ao webservice com seu id relacionado. A partir de sua criação, esta câmara já fica disponível para transporte no sistema.

A seguir a tela de cadastro de câmaras:

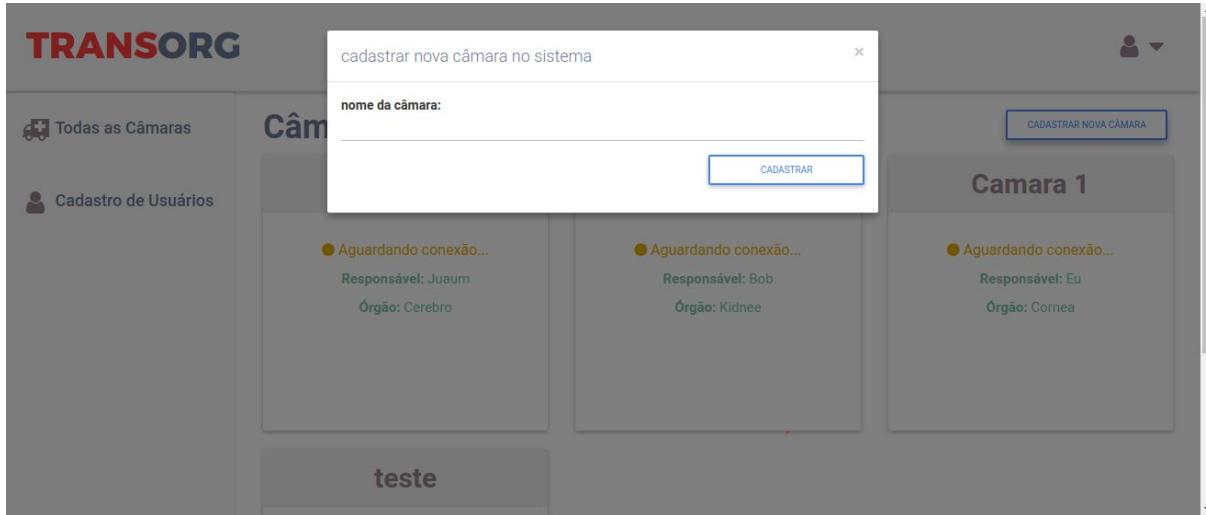


Figura 46 – Cadastro de Câmaras

4.1.2.5 Visualizar Todas as Câmaras

A tela principal do sistema se dará pela visualização das câmaras disponíveis e em uso, a partir dela será possível iniciar novas solicitações de transporte. Câmaras disponíveis e fora de uso também há a opção de deleção.

A seguir tela de visualização de câmaras:



Figura 47 – Listar Câmaras

4.1.2.6 Iniciar Novo Transporte:

A partir da seleção de uma câmara disponível o usuário é redirecionado à página de início de um novo transporte onde é solicitado informar o responsável pelo transporte e o órgão ao qual será

transportado.

A seguir a tela de início de um novo transporte:

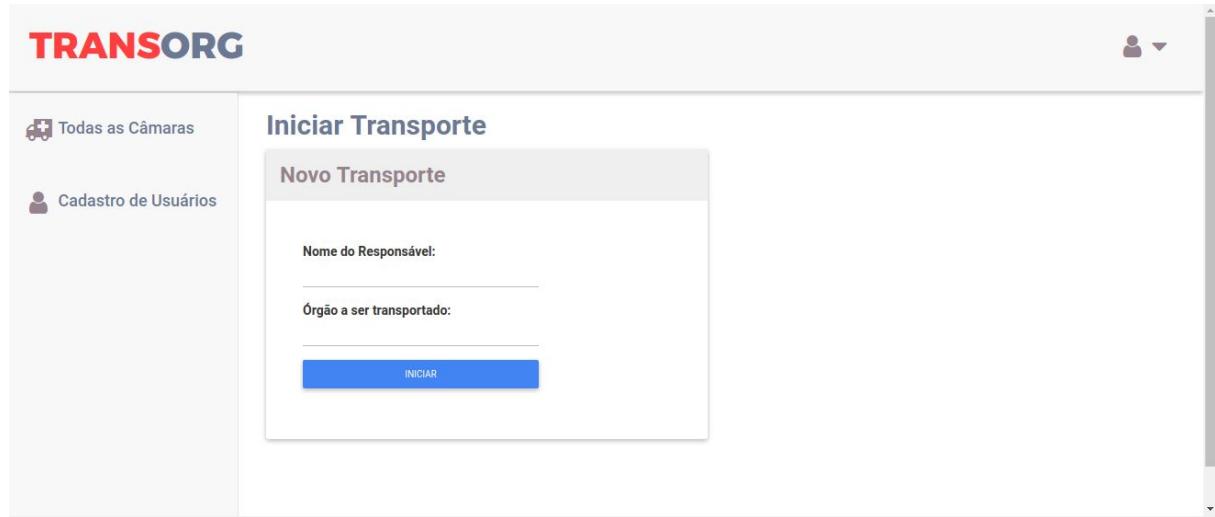


Figura 48 – Iniciar Transporte

4.1.2.7 Visualizar Transporte em Andamento:

A principal funcionalidade do sistema, onde se é possível visualizar todas as informações de um transporte em andamento. As informações apresentadas são: gráfico de temperatura, temperatura atual, localização atual, responsável pelo transporte, órgão transportado, status da trava de segurança e data e hora destes dados.

A seguir tela de visualização de andamento de um transporte ativo:

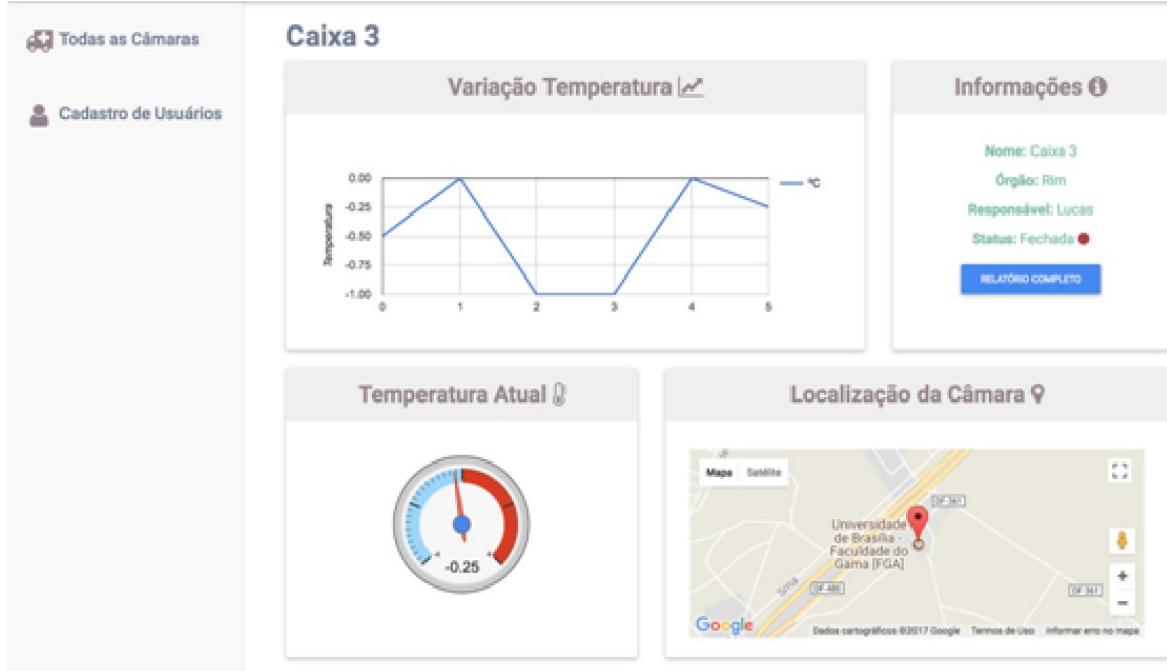


Figura 49 – Câmara de transporte

4.1.2.8 Relatório

O sistema dispõe de uma funcionalidade de relatório, ao qual o usuário irá visualizar as informações dos transportes realizados, com opção de exportação em PDF. A seguir tela de relatório:

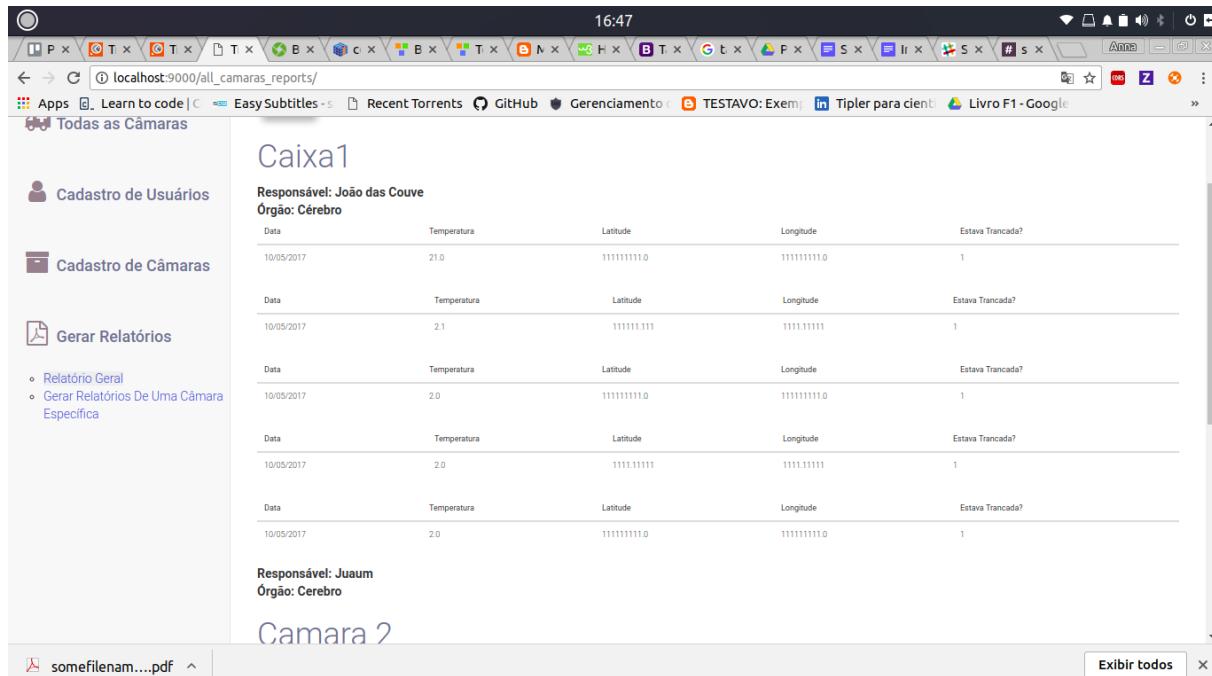


Figura 50 – Relatórios do sistema

4.1.2.9 API

A API é o intermediário entre os sistemas e o banco de dados, uma forma de garantir que todos os dados sejam inseridos e recuperados através de um sistema em comum. Dessa forma podemos trabalhar com qualquer meio de visualização de dados e métodos de inserção, que se torna imprescindível para o funcionamento de um sistema onde temos uma interface WEB e um equipamento eletrônico que irá inserir dados no banco de dados.

A caixa transportadora acessará a API para fornecer as leituras dos sensores de localização, temperatura, fechamento e os dados do transporte. A API tratará de armazenar esses dados no banco através dos endpoints configurados. A partir daí o sistema WEB pode recuperar esses dados com chamadas nos endpoints da API.

Portanto a caixa transportadora servirá somente como interface de inserção de dados enquanto o WEB app funcionará como inserção e recuperação.

A API foi documentada na plataforma POSTMAN que automatiza e testa os endpoints configurados.

A seguir a tela da ferramenta com a api configurada:

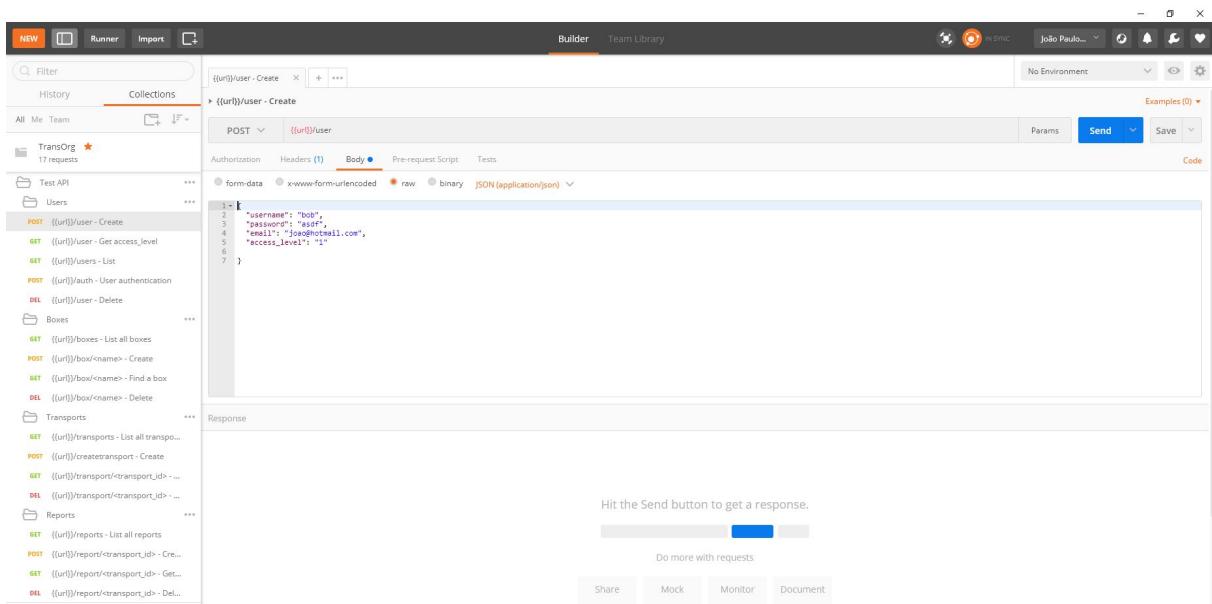


Figura 51 – API do Sistema

4.2 Eletrônica

4.2.1 Sistema de controle de temperatura

Como é demanda do projeto a utilização de um sistema de refrigeração mecânico à vapor e o compressor é um de seus componentes, o qual necessita de uma alta corrente de partida e de um sistema complexo para implementar o controle PID, este mesmo foi retirado do sistema de controle. Sendo assim, o controle será realizado por um termostato digital capaz de ligar e desligar o sistema, este elemento será implementado por um módulo relé com a finalidade de isolar o sistema de baixa tensão e baixa potência.

Utilizando a saída de 5V do sistema de alimentação será implementado o seguinte circuito:

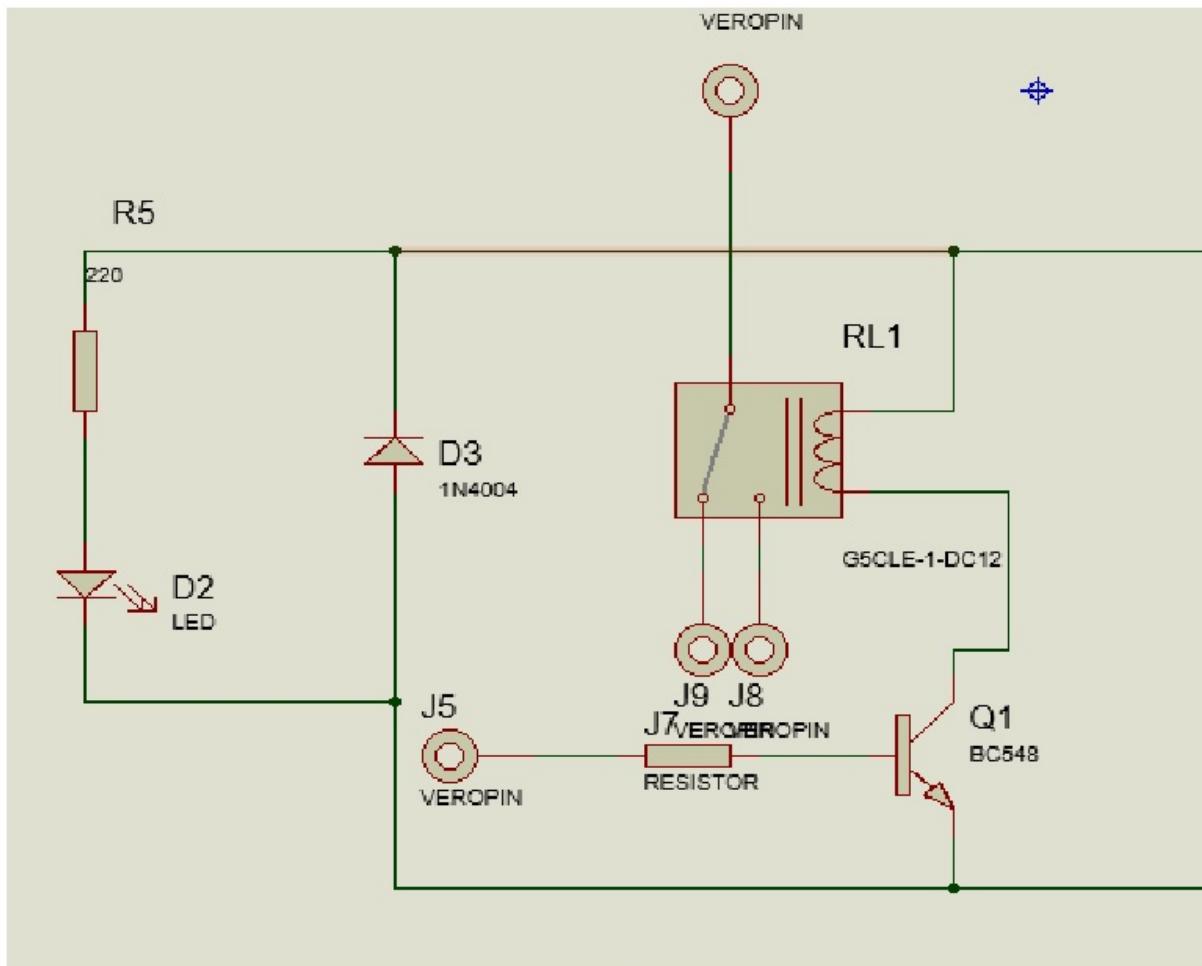


Figura 52 – Diagrama Eletrônico de Controle de Temperatura.

O transistor BC548 atua como uma chave, que por sua vez é ativada com uma corrente advinda do MSP430, o que faz com que o caminho da corrente seja liberado e a corrente percorra o indutor presente no relé, gerando um fluxo magnético capaz de acionar o mesmo. Será utilizado também um Light Emitting Diode (LED), afim de indicar quando o sistema está ligado e um diodo de silício para que uma corrente reversa seja evitada. Quando o sistema estiver a uma temperatura acima de 4°C, o compressor é ligado e quando o sistema atingir uma temperatura de 2°C ou menor, o compressor é desligado, mantendo essa temperatura entre 2°C e 4°C.

4.2.2 Sistema de proteção de componentes elétricos e eletrônicos

Devido ao grau de confiabilidade que o produto construído demanda, por ser um sistema de transporte de órgãos para transplante, têm-se que instalar diversos circuitos de proteção de componentes, garantindo assim o perfeito estado e funcionamento dos componentes internos.

Para isso será utilizado um circuito de proteção contra sobretensão com base em um SRC ou diodo controlado de silício. Este componente é muito importante em aplicações que possuem o objetivo de controlar cargas de potência de altos valores a partir da rede de energia.

Sendo assim, desenvolveu-se uma topologia de circuito utilizando o regulador de tensão LM7805 para estabilizar em 5Vdc e utilizar um diodo zener de proteção para estabilizar a tensão abaixo de 5.1Vdc. Caso ocorra uma sobrecarga de tensão no circuito, o diodo zener passará a conduzir corrente acionando os 2 SRCs e consequentemente queimando o fusível de proteção.

Pode-se observar na imagem abaixo o esquemático do circuito a ser implementado:

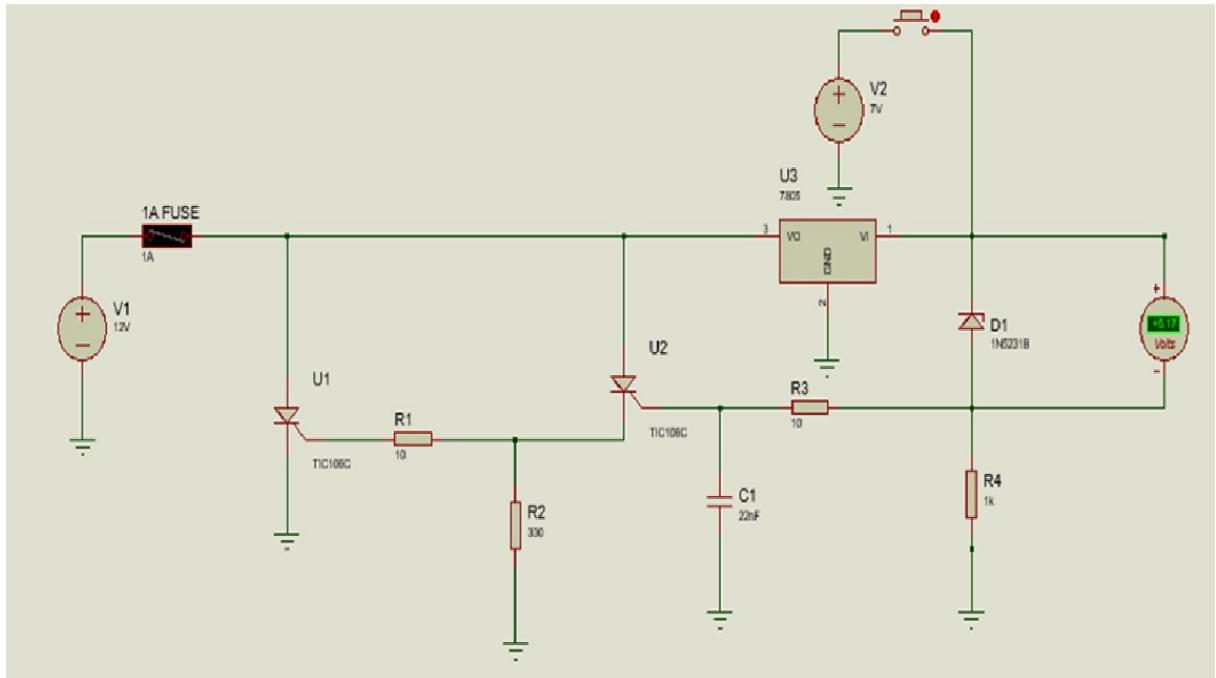


Figura 53 – Circuito de proteção.

Neste caso, pode-se observar uma fonte de 7V acoplada a um botão que simula uma sobretensão, 2 SRCs que são ativados quando o zener sobre uma sobretensão causando a abertura do SRC U1 e consequentemente ativando o fusível. Desta forma, garantisce a proteção satisfatória dos componentes

Após a simulação, foram realizados testes de prototipagem em protoboard. Em seguida, depois da verificação da funcionalidade do sistema a nível de prototipagem, foi dimensionado o layout do circuito para realizar a confecção da PCB por meio de serigrafia e corrosão no percloro de ferro.

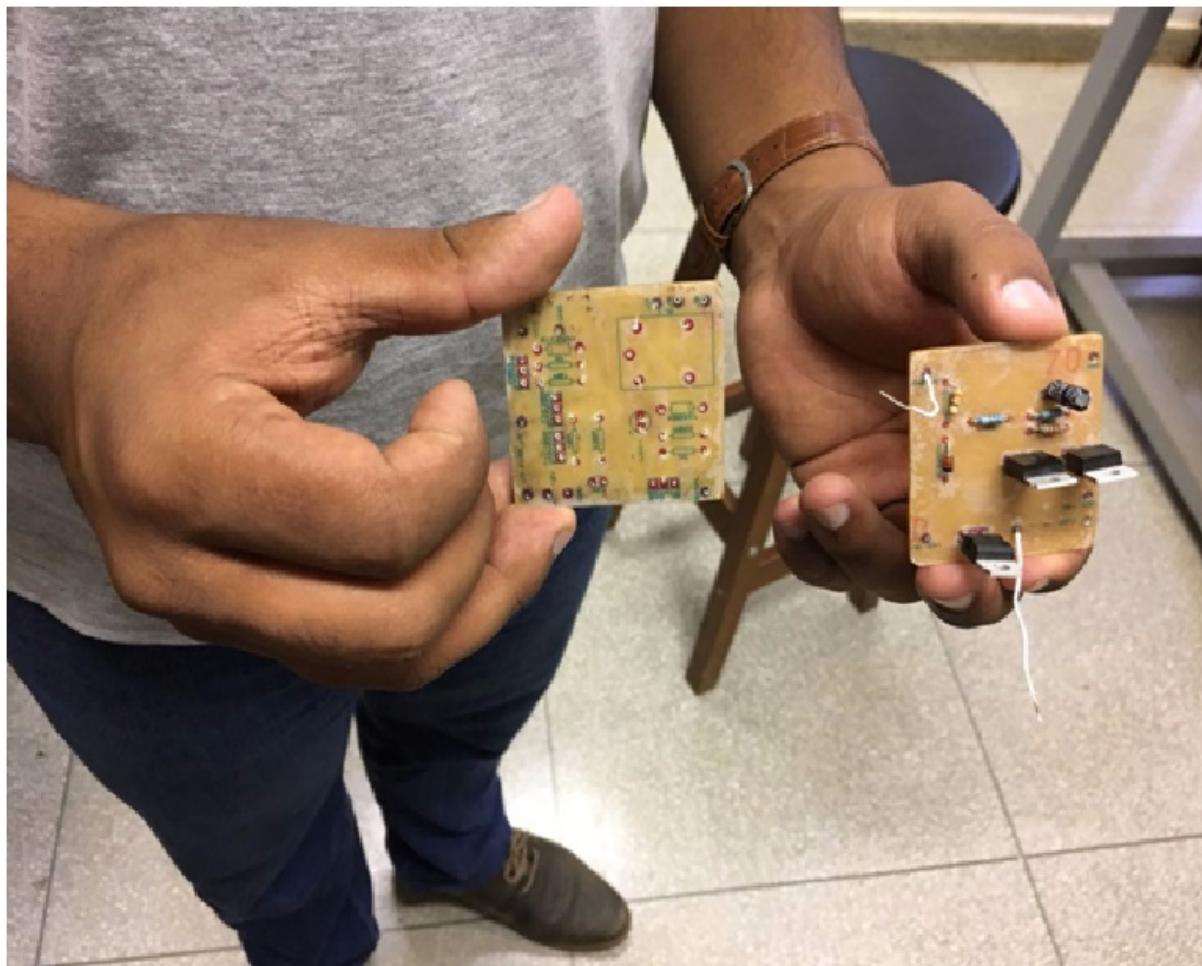


Figura 54 – Placas eletrônicas.

Por fim foram realizados testes utilizando uma fonte de bancada e setando sua entrada em 12 V DC, neste caso foi observada uma saída de 4.71V suficiente para alimentar tanto a raspberry PI quanto o MSP430.

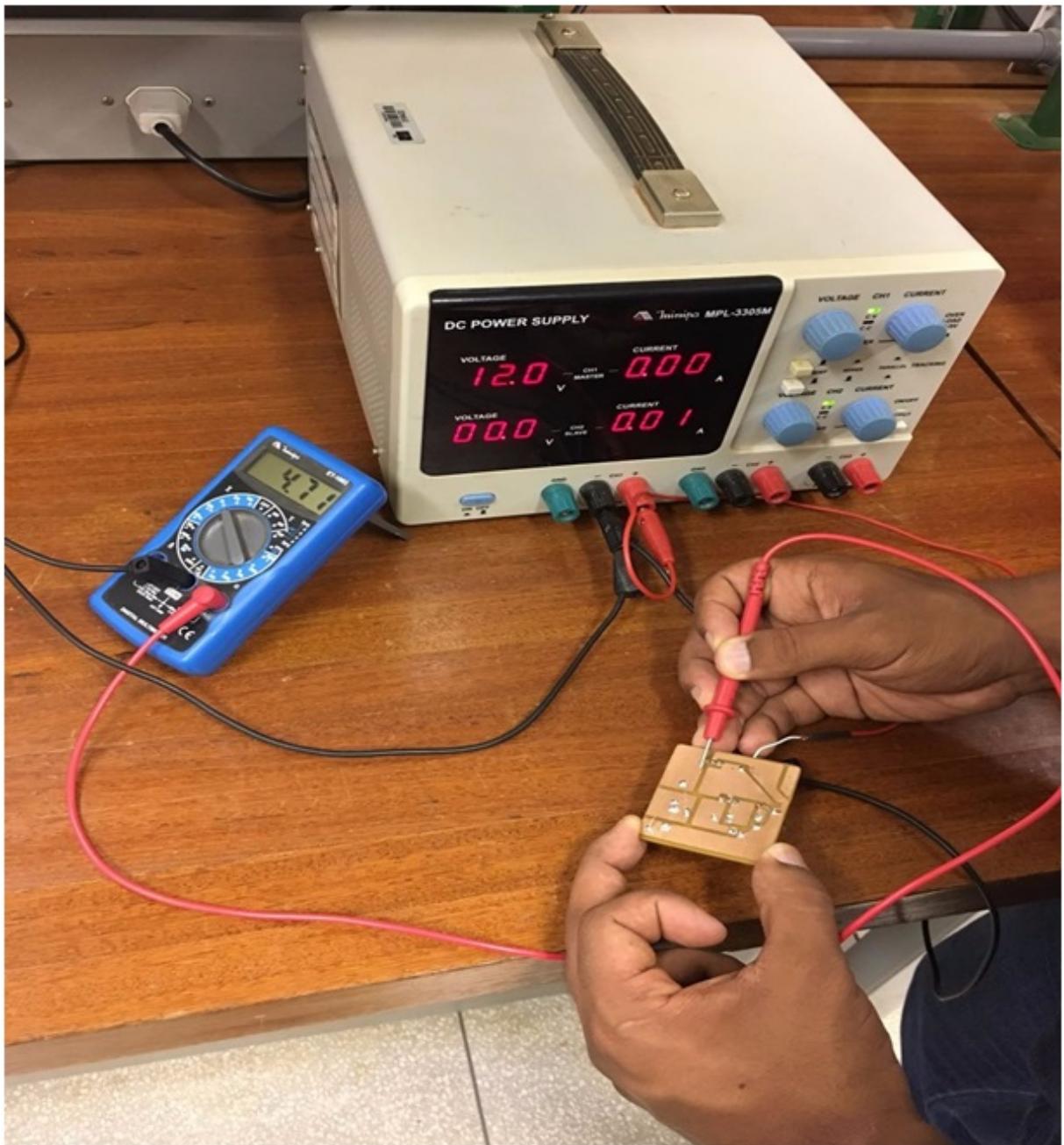


Figura 55 – Testes de bancada com as placas fabricadas.

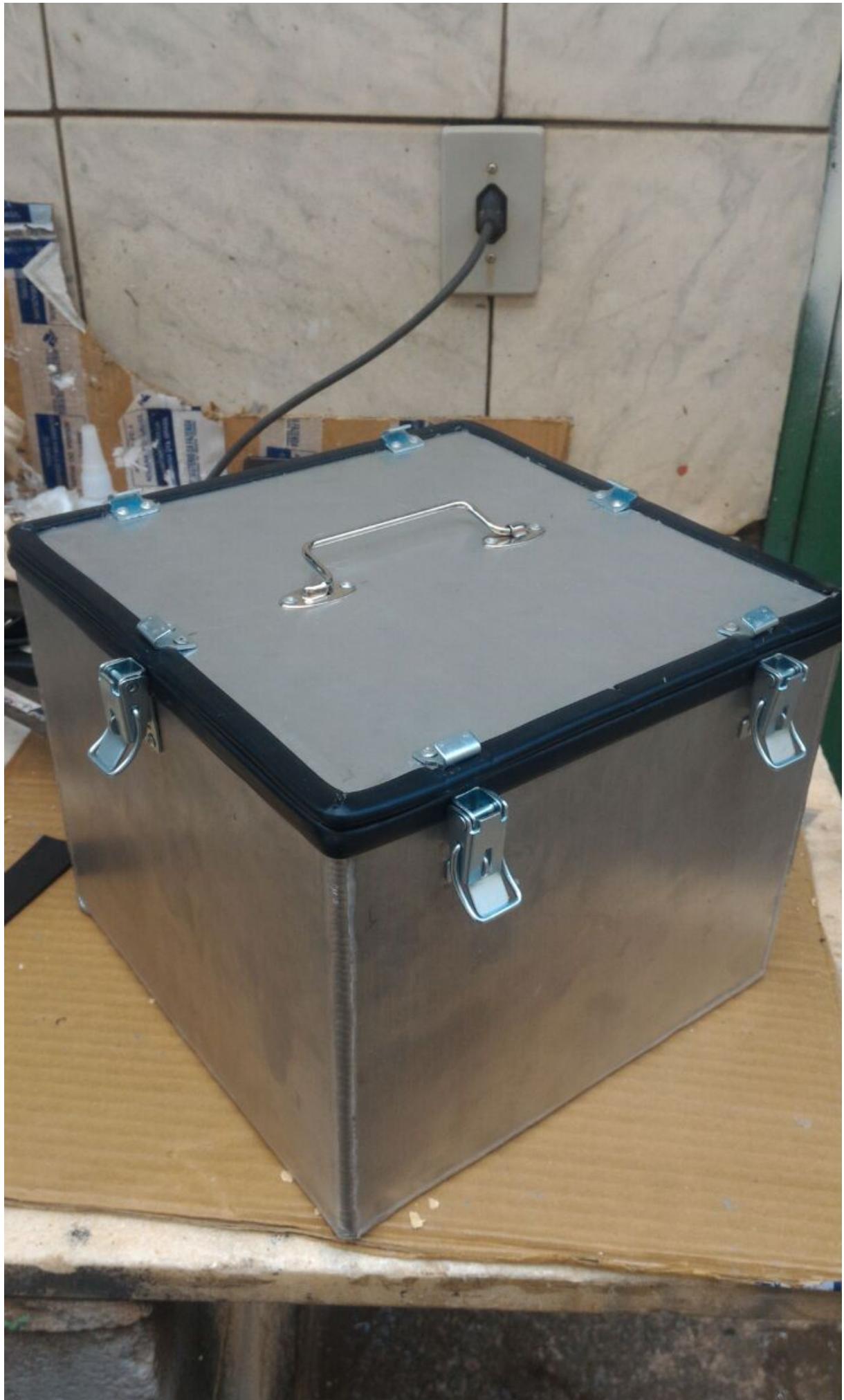
4.3 Refrigeração

4.4 Alimentação

4.5 Estrutura

4.5.1 Estrutura

Foram fabricados os principais componentes estruturais e integrado o sistema de refrigeração na estrutura.





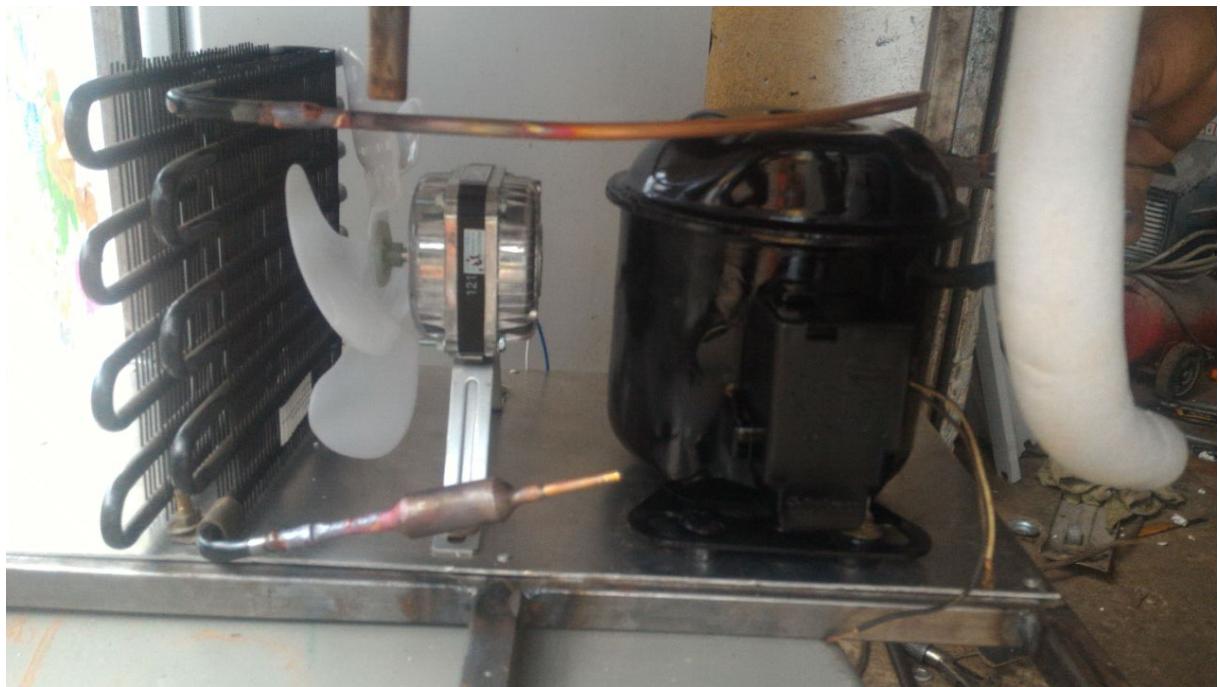


Figura 58 – Parte externa do sistema de refrigeração





Referências

ALEXANDRE, O. *Qual é o Limite de Peso Recomendado: Legislação, Conceitos, NIOSH e 5 Dicas*. 2016. Disponível em: <<http://www.ergotriade.com.br/single-post/2016/07/29/Qual-%C3%A9-o-Limite-de-Peso-Recomendado-Legisla%C3%A7%C3%A3o-Conceitos-NIOSH-e-5-Dicas>>. Citado na página 31.

NETO, B.-h. F.; AFONSO, R. C.; THOMÉ, T. *Curso prático de extração, perfusão e acondicionamento de múltiplos órgãos para transplante*. 2017. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/7523519-Curso-pratico-de-extracao-perfusao-e-acondicionamento-de-multiplos-orgaos-para-transplante.html>>. Acesso em: 24 out. 2017. Citado na página 11.