



**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 . . . . .	24
Figura 2 – Cronograma do projeto . . . . .	25
Figura 3 – Cronograma do projeto . . . . .	26
Figura 4 – Mecanismos de transferência de calor . . . . .	28
Figura 5 – Modelo de um CMV . . . . .	30
Figura 6 – Modelo de um compressor . . . . .	30
Figura 7 – Modelo de um condensador . . . . .	31
Figura 8 – Modelo de um filtro secador . . . . .	31
Figura 9 – Modelo de um evaporador . . . . .	32
Figura 10 – TERMOVIDA - Caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes . . . . .	34
Figura 11 – Testes iniciais utilizando a célula Peltier . . . . .	38
Figura 12 – Diagrama esquemático do sistema com compressor . . . . .	39
Figura 13 – Tabela com os possíveis valores de K . . . . .	42
Figura 14 – Volume de controle aplicado ao evaporador e a indicação do processo .	43
Figura 15 – Estrutura do sistema de refrigeração . . . . .	45
Figura 16 – Especificações Técnicas do Compressor. . . . .	46
Figura 17 – Diagrama Elétrico Preliminar . . . . .	47
Figura 18 – Circuito de proteção . . . . .	48
Figura 19 – Layout do circuito de proteção . . . . .	49
Figura 20 – Circuito de proteção impresso . . . . .	49
Figura 21 – Exemplo de circuito dimmer entrada , pulso e saída. . . . .	52
Figura 22 – Exemplo de circuito dimmer entrada, pulso e saída. . . . .	53
Figura 23 – Exemplo de circuito dimmer entrada, pulso e saída. . . . .	54
Figura 24 – Exemplo de circuito dimmer entrada, pulso e saída. . . . .	54
Figura 25 – Diagrama Elétrico Preliminar . . . . .	55
Figura 26 – Simulação do Oscilador com proteus 8.0. . . . .	56
Figura 27 – Simulação do Oscilador com proteus 8.0. . . . .	57
Figura 28 – Simulação do Oscilador com proteus 8.0. . . . .	58
Figura 29 – Layout do banco de potência. . . . .	59
Figura 30 – Visão explodida . . . . .	60
Figura 31 – Visão externa lateral . . . . .	60
Figura 32 – Visão externa posterior . . . . .	61
Figura 33 – Desenho técnico da estrutura completa . . . . .	62
Figura 34 – Desenho técnico do compartimento de carga . . . . .	64
Figura 35 – Desenho técnico da câmara de resfriamento . . . . .	66

Figura 36 – Desenho técnico da estrutura . . . . .	68
Figura 37 – Carregamentos . . . . .	70
Figura 38 – Refinamento da Malha . . . . .	70
Figura 39 – Tensão Equivalente de Von Mises . . . . .	71
Figura 40 – Modo de Falha 7 . . . . .	72
Figura 41 – Modo de Falha 8 . . . . .	72
Figura 42 – Modo de Falha 9 . . . . .	73
Figura 43 – Modo de Falha 10 . . . . .	73
Figura 44 – Malha do compartimento de carga . . . . .	74
Figura 45 – Malha da câmara de resfriamento . . . . .	75
Figura 46 – Distribuição de temperatura no compartimento de carga . . . . .	75
Figura 47 – Distribuição de temperatura na câmara de resfriamento . . . . .	76
Figura 48 – Fluxo de calor na câmara de resfriamento . . . . .	76
Figura 49 – Vista superior da Raspberry . . . . .	77
Figura 50 – Circuito de proteção . . . . .	78
Figura 51 – Circuito responsável pelo controle PWN . . . . .	78
Figura 52 – Tabela de custos . . . . .	80
Figura 53 – Visão geral do sistema de comunicação . . . . .	81
Figura 54 – Arquitetura de Software . . . . .	82
Figura 55 – API do Sistema . . . . .	83
Figura 56 – Diagrama de classes . . . . .	84
Figura 57 – Arquitetura de Software . . . . .	85
Figura 58 – Listar usuários . . . . .	85
Figura 59 – Login no WebApp . . . . .	86
Figura 60 – Cadastro de Câmaras . . . . .	86
Figura 61 – Listar Câmaras . . . . .	87
Figura 62 – Iniciar Transporte . . . . .	87
Figura 63 – Câmara de transporte . . . . .	88
Figura 64 – Relatórios do sistema . . . . .	89
Figura 65 – Integração Contínua . . . . .	90
Figura 66 – Builds no Travis . . . . .	91
Figura 67 – Cobertura de Código . . . . .	91
Figura 68 – Diagrama Eletrônico de Controle de Temperatura. . . . .	92
Figura 69 – Circuito de proteção. . . . .	93
Figura 70 – Placas eletrônicas. . . . .	94
Figura 71 – Testes de bancada com as placas fabricadas. . . . .	95
Figura 72 – Circuito do inversor simulado no proteus . . . . .	96
Figura 73 – Circuito do inversor simulado no proteus . . . . .	96
Figura 74 – Layouts e placas de inversor anteriormente testadas . . . . .	97

Figura 75 – Inversor utilizado no projeto . . . . .	99
Figura 76 – Teste Sistema de Alimentação Implementado. . . . .	99
Figura 77 – Produto final do compartimento de carga. . . . .	101
Figura 78 – Câmara de resfriamento durante a fabricação e produto final. . . . .	103
Figura 79 – Estrutura principal sem o revestimento . . . . .	105
Figura 80 – Sistema de amortecimento . . . . .	105
Figura 81 – Produto final da estrutura . . . . .	106
Figura 82 – Conexões no modelo sem amortecimento. . . . .	107
Figura 83 – Conexões no modelo com amortecimento. . . . .	107
Figura 84 – Malha do utilizada no modelo. . . . .	108
Figura 85 – Restrição de deslocamento para modelo sem amortecimento. . . . .	108
Figura 86 – 6 primeiros modos de vibração. . . . .	109
Figura 87 – Restrição de deslocamento para modelo com amortecimento. . . . .	110
Figura 88 – 6 primeiros modos de vibração com amortecimento. . . . .	111
Figura 89 – Classe de dureza de acordo com a maciez da borracha. . . . .	112
Figura 90 – Coxim escolhido para o projeto. . . . .	112
Figura 91 – Forma geométrica cilíndrica. . . . .	113
Figura 92 – Solicitação da mola por compressão. . . . .	113
Figura 93 – Vibração transmitida em função da razão de vibração. . . . .	114
Figura 94 – Modelo de 1/4 de veículo. . . . .	115
Figura 95 – Resposta do sistema para alguns fatores de amortecimentos. . . . .	116
Figura 96 – Resultado de aceleração antes e depois da aplicação do amortecimento para teste em piso externo. . . . .	117
Figura 97 – Resultado de aceleração antes e depois da aplicação do amortecimento para teste em piso interno. . . . .	118
Figura 98 – Carregamentos . . . . .	119
Figura 99 – Refinamento da Malha . . . . .	120
Figura 100 – Tensão Equivalente de Von Mises . . . . .	120
Figura 101 – Malha do compartimento de carga . . . . .	121
Figura 102 – Malha da câmara de resfriamento . . . . .	122
Figura 103 – Distribuição de temperatura no compartimento de carga . . . . .	122
Figura 104 – Distribuição de temperatura na câmara de resfriamento . . . . .	123
Figura 105 – Fluxo de calor na câmara de resfriamento . . . . .	123
Figura 106 – Desenho técnico do compartimento de carga . . . . .	125
Figura 107 – Desenho técnico da câmara de resfriamento . . . . .	125
Figura 108 – Desenho técnico da base da estrutura . . . . .	126
Figura 109 – Desenho técnico da estrutura principal . . . . .	126
Figura 110 – Desenho técnico da estrutura completa . . . . .	127
Figura 111 – Vista explodida da estrutura . . . . .	127

Figura 112 – Renderizações do desenho técnico . . . . .	128
Figura 113 – . . . . .	129
Figura 114 – . . . . .	130
Figura 115 – . . . . .	131



# **Lista de tabelas**

Tabela 1 – Tempo máximo de preservação extracorpórea (ABTO, 2011) . . . . .	14
Tabela 2 – Tempo de isquemia por órgão(ABTO, 2009) . . . . .	15
Tabela 3 – Plano de comunicações . . . . .	19
Tabela 4 – Tecnologias de comunicação . . . . .	20
Tabela 5 – Riscos para todos os subsistemas . . . . .	20
Tabela 6 – Condutividade térmica dos materiais a 300K. Fonte: BENNETT, 2008	27
Tabela 7 – Sistema Web - requisito funcional 008 . . . . .	35
Tabela 8 – Sistema Web - requisito funcional 009 . . . . .	36
Tabela 9 – Sistema Web - requisito funcional 010 . . . . .	36
Tabela 10 – Sistema Web - requisito funcional 011 . . . . .	36
Tabela 11 – Sistema Web - requisito funcional 012 . . . . .	36
Tabela 12 – Sistema Web - requisito funcional 013 . . . . .	36
Tabela 13 – Sistema Web - requisito funcional 014 . . . . .	37
Tabela 14 – Sistema Web - requisito funcional 015 . . . . .	37
Tabela 15 – Consumo energético dos componentes . . . . .	50
Tabela 16 – Condições de Contorno da Análise Estrutural . . . . .	70
Tabela 17 – Resultados para análise estática . . . . .	71
Tabela 18 – Modos de falha e frequências de ressonância . . . . .	71
Tabela 19 – Resultados para os seis primeiros modos de vibração. . . . .	108
Tabela 20 – Resultados utilizando o modelo com amortecimento. . . . .	110
Tabela 21 – Resultados de vibração obtidos no teste . . . . .	118
Tabela 22 – Condições de Contorno da Análise Estrutural . . . . .	119
Tabela 23 – Resultados para análise estática . . . . .	120



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>Contexto</b>	<b>13</b>
<b>1.2</b>	<b>Justificativa</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>Escopo do projeto</b>	<b>16</b>
1.3.1	Premissas	16
1.3.2	Restrições	16
<b>1.4</b>	<b>Detalhamento do escopo</b>	<b>16</b>
1.4.1	Projeto	16
1.4.2	Produto	17
<b>1.5</b>	<b>Objetivos</b>	<b>17</b>
1.5.1	Objetivo Geral	17
1.5.2	Objetivos Específicos	17
<b>1.6</b>	<b>Metodologia de gerenciamento</b>	<b>18</b>
1.6.1	Plano de gerenciamento de comunicação	19
1.6.1.1	Agenda semanal/Reuniões	19
1.6.1.2	Tecnologia de comunicação	20
1.6.1.3	Monitoramento e Controle	20
1.6.2	Plano de gerenciamento de riscos	20
1.6.3	EAP	24
1.6.4	Cronograma	24
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>27</b>
<b>2.1</b>	<b>Fenômenos de Transporte de Calor</b>	<b>27</b>
2.1.1	Condução	27
2.1.2	Convecção	27
2.1.3	Radiação	28
<b>2.2</b>	<b>Calorimetria</b>	<b>28</b>
2.2.1	Calor Sensível e Latente	28
<b>2.3</b>	<b>Sistemas de Refrigeração</b>	<b>29</b>
2.3.1	Sistema de Compressão Mecânica de Vapor (CMV)	29
<b>2.4</b>	<b>Framework Django</b>	<b>32</b>
<b>2.5</b>	<b>Microframework Flask</b>	<b>32</b>
<b>2.6</b>	<b>Sistema interno</b>	<b>32</b>
<b>2.7</b>	<b>Ergonomia de carregamento de peso</b>	<b>33</b>

<b>2.8</b>	<b>TERMOVIDA – Caixa térmica para transporte de órgãos para transplantes . . . . .</b>	<b>34</b>
<b>3</b>	<b>SOLUÇÃO PROPOSTA . . . . .</b>	<b>35</b>
<b>3.1</b>	<b>Arquitetura de Software . . . . .</b>	<b>35</b>
3.1.1	Sistema Web . . . . .	35
3.1.1.1	Requisitos funcionais . . . . .	35
<b>3.2</b>	<b>Sistema de Refrigeração . . . . .</b>	<b>37</b>
3.2.1	Dimensionamento do Sistema . . . . .	39
3.2.1.1	Cálculo de Carga Térmica . . . . .	39
3.2.1.2	Cálculo da energia e potência térmica do órgão: . . . . .	40
3.2.1.3	Cálculo da energia e potência térmica da embalagem com solução Viaspan na qual o órgão está contido . . . . .	40
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) . . . . .	41
3.2.3	Evaporador . . . . .	42
3.2.4	Compressor . . . . .	44
<b>3.3</b>	<b>Estrutura do Conjunto de Refrigeração . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>3.4</b>	<b>Sistema de Alimentação . . . . .</b>	<b>46</b>
3.4.1	Diagrama do Sistema . . . . .	46
3.4.2	Sistema de proteção de componentes elétricos e eletrônicos . . . . .	47
3.4.3	Baterias . . . . .	49
3.4.4	Partida de Motor Compressor . . . . .	51
3.4.5	Dimmer Microcontrolado . . . . .	51
3.4.6	Inversor . . . . .	55
3.4.7	Oscilador de onda quadrada . . . . .	55
3.4.8	Transformador . . . . .	57
3.4.9	Filtro de 60Hz . . . . .	58
3.4.10	Driver de Potência . . . . .	58
<b>3.5</b>	<b>Estrutura . . . . .</b>	<b>59</b>
3.5.1	Componentes Estruturais . . . . .	63
3.5.1.1	Compartimento de carga . . . . .	63
3.5.1.2	Câmara de Resfriamento . . . . .	65
3.5.1.3	Estrutura . . . . .	67
3.5.2	Simulação Computacional . . . . .	69
3.5.2.1	Análise Estrutural . . . . .	69
3.5.2.2	Simulação de Transferência de Calor . . . . .	73
<b>3.6</b>	<b>Sistemas Eletrônicos . . . . .</b>	<b>76</b>
3.6.1	Servidor . . . . .	76

3.6.2	Círculo Preventivo . . . . .	77
3.6.3	Controle PWM . . . . .	78
3.6.3.1	Subsistema de Controle . . . . .	78
3.6.3.2	Subsistema de Proteção . . . . .	79
3.6.3.3	Subsistema de Comunicação e Análise . . . . .	79
<b>3.7</b>	<b>Tabela de custos . . . . .</b>	<b>79</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>81</b>
<b>4.1</b>	<b>Sistema de Comunicação . . . . .</b>	<b>81</b>
4.1.1	Visão Geral . . . . .	81
4.1.2	Arquitetura de Software . . . . .	82
4.1.3	API . . . . .	82
<b>4.2</b>	<b>Sistema WEB . . . . .</b>	<b>84</b>
4.2.1	Diagrama de classes . . . . .	84
4.2.2	Cadastro de Usuários . . . . .	84
4.2.3	Listar e Apagar Usuários . . . . .	85
4.2.4	Sistema de Login . . . . .	85
4.2.5	Cadastro de Câmaras . . . . .	86
4.2.6	Visualizar Todas as Câmaras . . . . .	86
4.2.7	Iniciar Novo Transporte . . . . .	87
4.2.8	Visualizar Transporte em Andamento . . . . .	87
4.2.9	Relatório . . . . .	88
4.2.9.1	Integração contínua . . . . .	89
<b>4.3</b>	<b>Sistema de Controle . . . . .</b>	<b>91</b>
4.3.1	Sistema de controle de temperatura . . . . .	91
4.3.2	Sistema de proteção de componentes elétricos e eletrônicos . . . . .	92
<b>4.4</b>	<b>Alimentação . . . . .</b>	<b>96</b>
4.4.1	Testes e Resultados do Sistema de Inversor . . . . .	96
4.4.2	Outros Testes Realizados . . . . .	96
4.4.3	Dificuldades do projeto do inversor . . . . .	97
4.4.4	Inversor Implementado . . . . .	98
4.4.5	Testes e Resultados do Sistema de Alimentação . . . . .	99
<b>4.5</b>	<b>Estrutura . . . . .</b>	<b>100</b>
4.5.1	Compartimento de carga . . . . .	100
4.5.1.1	Requisitos . . . . .	100
4.5.1.2	Design . . . . .	100
4.5.1.3	Fabricação . . . . .	100
4.5.1.4	Resultados . . . . .	101
4.5.2	Câmara de Resfriamento . . . . .	101
4.5.2.1	Requisitos . . . . .	101

4.5.2.2	Design . . . . .	102
4.5.2.3	Fabricação . . . . .	102
4.5.2.4	Resultados . . . . .	103
4.5.3	Estrutura . . . . .	103
4.5.3.1	Requisitos . . . . .	103
4.5.3.2	Design . . . . .	103
4.5.3.3	Fabricação . . . . .	104
4.5.3.4	Resultados . . . . .	105
4.5.4	Sistema de amortecimento . . . . .	106
4.5.4.1	Análise computacional de vibrações da estrutura . . . . .	106
4.5.4.2	Dimensionamento do coxim . . . . .	111
4.5.4.3	Teste e validação do sistema . . . . .	116
4.5.5	Simulação Computacional . . . . .	119
4.5.5.1	Análise Estrutural . . . . .	119
4.5.5.2	Simulação de Transferência de Calor . . . . .	120
<b>5</b>	<b>ANEXOS . . . . .</b>	<b>125</b>
5.1	Desenhos Técnicos . . . . .	125
<b>6</b>	<b>ORÇAMENTO DO PROJETO . . . . .</b>	<b>129</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>133</b>

# 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:

<b>Órgão/Tecido</b>	<b>Tempo máximo para retirada</b>	<b>Tempo máximo de preservação extracorpórea</b>
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.

<b>Órgão</b>	<b>Tempo de Isquemia Fria</b>
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.
<b>Eletrônica</b>				

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.
<b>Energia</b>				
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.
<b>Estrutura</b>				
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.
<b>Software</b>				
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.

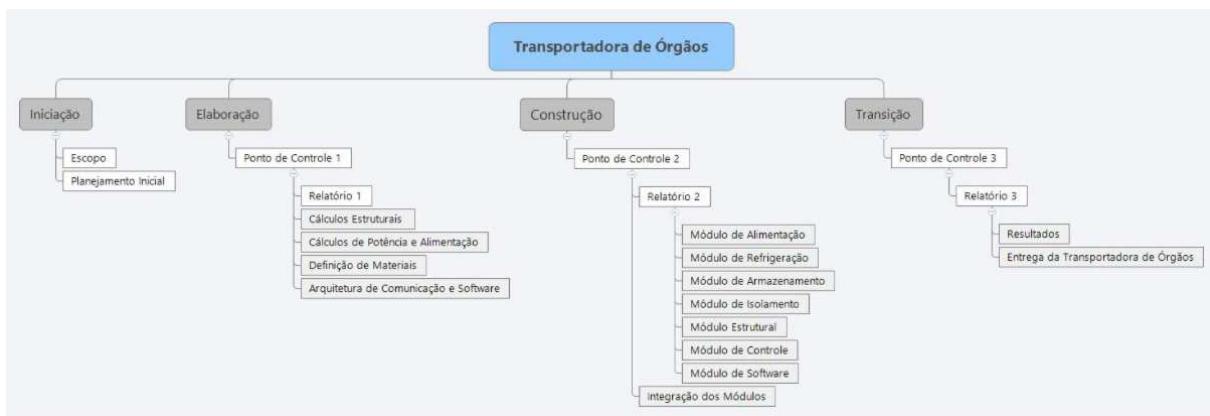


Figura 1 – EAP - estrutura analítica do projeto

### 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.

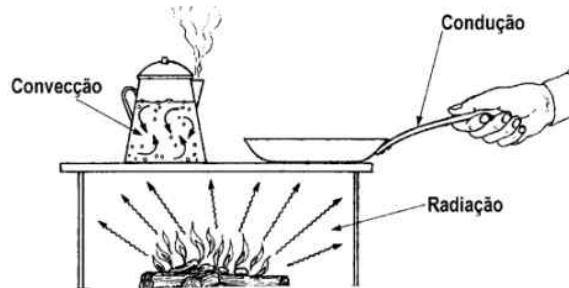


Figura 4 – Mecanismos de transferência de calor

## 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
- $\Delta T$  = 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  $-8^{\circ}\text{C}$  a  $-18^{\circ}\text{C}$  (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, açougués, laboratórios, entre outros. As suas temperaturas de congelamento e estocagem, são geralmente entre  $-5^{\circ}\text{C}$  e  $-30^{\circ}\text{C}$ .

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):

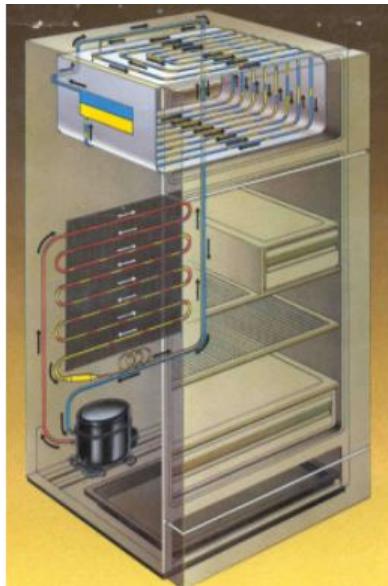


Figura 5 – Modelo de um CMV

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).

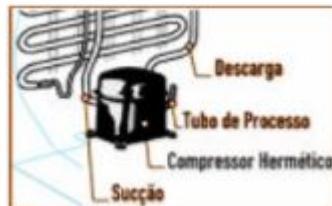


Figura 6 – Modelo de um compressor

- **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.

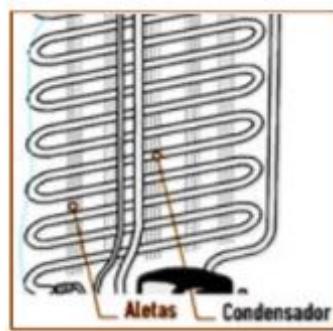


Figura 7 – Modelo de um condensador

- **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.

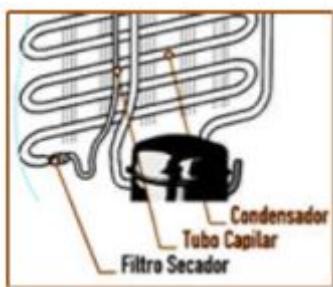


Figura 8 – Modelo de um filtro secador

- **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.

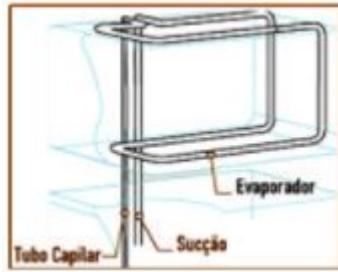


Figura 9 – Modelo de um evaporador

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 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.

#### 3.1.1.1 Requisitos funcionais

<b>Identificador</b>	RF008
<b>Nome</b>	Apresentar o nível de pressão da caixa transportadora
<b>Módulo</b>	Sistema Web
<b>Versão</b>	2 <b>Prioridade</b> Essencial
<b>Descrição</b>	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 7 – Sistema Web - requisito funcional 008

<b>Identificador</b>	RF009
<b>Nome</b>	Apresentar o nível de temperatura da caixa transportadora
<b>Módulo</b>	Sistema Web
<b>Versão</b>	2   <b>Prioridade</b>   Essencial
<b>Descrição</b>	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 8 – Sistema Web - requisito funcional 009

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

Tabela 9 – Sistema Web - requisito funcional 010

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

Tabela 10 – Sistema Web - requisito funcional 011

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

Tabela 11 – Sistema Web - requisito funcional 012

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

Tabela 12 – Sistema Web - requisito funcional 013

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

Tabela 13 – Sistema Web - requisito funcional 014

<b>Identificador</b>	RF015
<b>Nome</b>	Gerar relatório do processo de transporte do órgão
<b>Módulo</b>	Sistema Web
<b>Versão</b>	1 <b>Prioridade</b> Desejável
<b>Descrição</b>	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 14 – 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 foram obtidos 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.

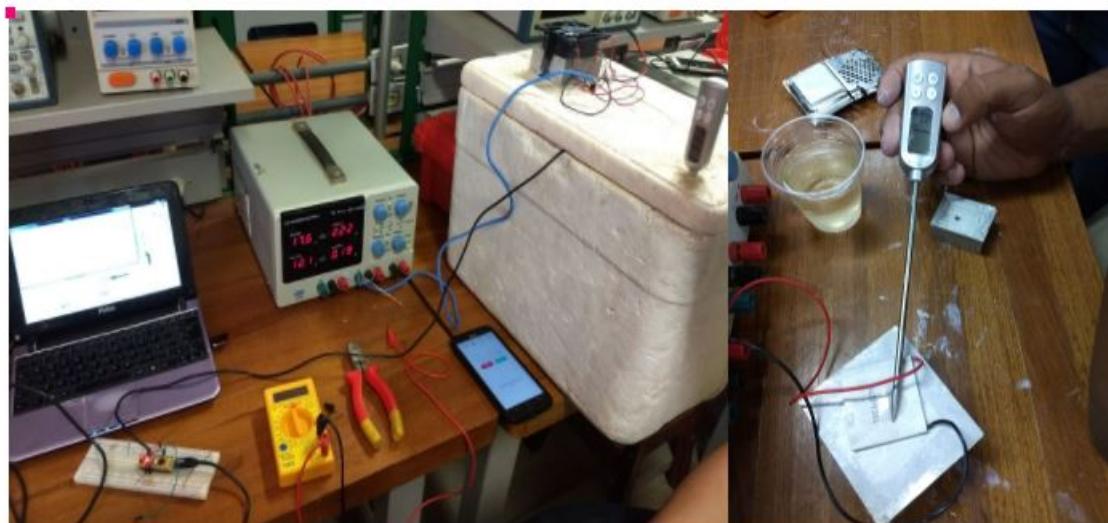


Figura 11 – Testes iniciais utilizando a célula Peltier

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:

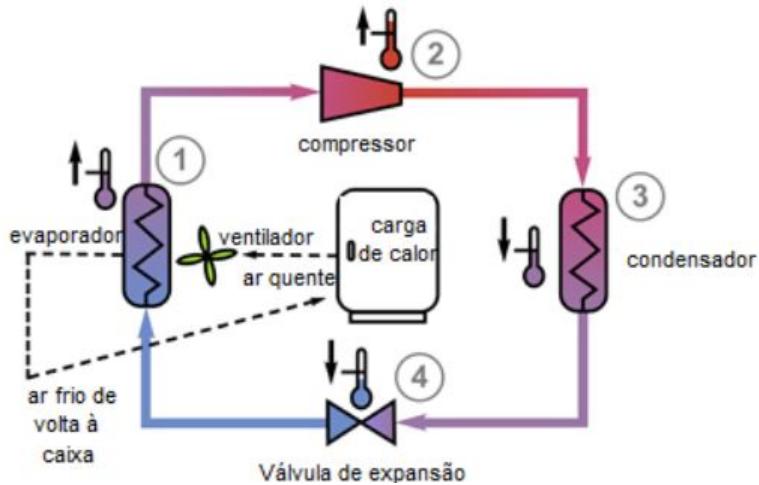


Figura 12 – Diagrama esquemático do sistema com compressor

### 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:  $2^\circ\text{C}$
5. Temperatura externa à caixa:  $35^\circ\text{C}$ .
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 ( $\frac{cal}{g^{\circ}C}$ )

$\Delta T$  = Variação da temperatura ( $^{\circ}C$ )

Logo, a energia térmica do órgão é:

$$Q_{órgão} = 13,8KJ = 13,1BTU$$

A potência térmica do órgão pode ser calculada a partir da equação a seguir:

$$P_{órgão} = \frac{Q_{órgão}}{\Delta t} \quad (3.2)$$

Sendo:

$P$  = potência térmica (W);

$Q$  = energia térmica (KJ);

$\Delta t$  = tempo de resfriamento (s)

Logo, a potência térmica do órgão é:

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

### 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:

$$Q = 500 \times 0,97 \times 33 \approx 67KJ \approx 63,5BTU$$

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

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

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

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

$$Q_{aluminio} = 3000g \times 0,22 \frac{cal}{g^{\circ}C} \times 33 \approx 91,2KJ \approx 86,4BTU$$

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

$$P_{aluminio} = \frac{91,2(KJ)}{2700s} \approx 33,8W$$

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, como mostra a equação a seguir:

$$P_{interna} = P_{órgão} + P + P_{Alumínio}$$

$$P_{interna}(W) = 5,1 + 24,8 + 33,8 = 63,7W$$

A caixa externa também está envolvida nos cálculos de potência térmica devido à 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  $\frac{m^2 K}{W}$

L = espessura (m)

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

Aplicando a equação, tem-se:

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

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

$$U = \frac{1}{R_t} \quad (3.3)$$

Aplicando a equação acima, tem-se:

$$U = \frac{1}{2} = 0,5 \frac{W}{m^2 K}$$

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

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (3.4)$$

Sendo:

Aplicando a equação, considerando-se a área total da caixa, tem-se: Q = quantidade de calor que atravessa a parede da caixa (W);

A = área da parede ( $m^2$ );

U = coeficiente global de transferência de calor ( $\frac{W}{m^2 K}$ )

$\Delta T$  = variação da temperatura ( $^{\circ}C$ )

Como a área da parede é dada por  $A = 0,09m^2 \times 6$ , temos a seguinte relação:

$$Q = 0,5 \times 0,54 \times 33K \approx 8,91W$$

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.

$$P_{total} = P_{interna} + Q \longrightarrow P_{total} \approx 63,7 + 8,91 \approx 72,61W$$

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:

$$Q = k \times A \times \Delta T_{ln} \quad (3.5)$$

Onde:

$Q$  - taxa de transferência térmica

$K$  - coeficiente de transferência de calor global

$A$  - área de superfície de transferência de calor

$\Delta T_{ln}$  - diferença de temperatura média logarítmica (K)

Utilizando as seguintes determinações para as temperaturas:

*Fluido quente(Ar):  $T_e = 25^{\circ}C$  e  $T_S = 2^{\circ}C$*

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

Descrição	K (kcal/m <sup>2</sup> .h.°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  $48,83 \frac{kcal}{m^2 \times h \times ^\circ C}$  para um evaporador de serpentina e carcaça, que é o nosso caso.

Formulando, obtemos a seguinte equação:

$$Q = K \times A \times \frac{\Delta T_s - \Delta T_e}{\ln \left( \frac{\Delta T_s}{\Delta T_e} \right)}$$

De forma que se obtém:

$$72,61 = 48,83 \times A \times \frac{2 - 35}{\ln \left( \frac{2}{35} \right)}$$

Como  $A = \pi \times D \times L$  e  $D = 0,007$  m, é possível encontrar  $L = 5,7$  m.

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:

$$Q = m_f \times (h_1 - h_4) \quad (3.6)$$

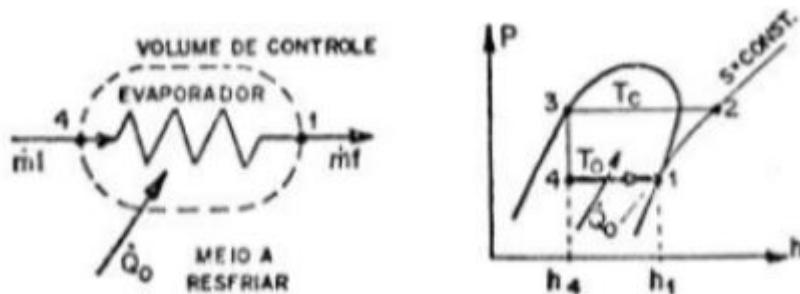


Figura 14 – Volume de controle aplicado ao evaporador e a indicação do processo

$Q_0$  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 :

$$EF = h_1 - h_4 \quad (3.7)$$

Sendo,  $T_C = 30^\circ C$  e  $T_0 = 22^\circ C$ , para o gás refrigerante R134a, obtemos  $h_1 = 180,5$  kJ/kg e  $h_4 = 173,1$  kJ/kg, logo

$$E.F = 180,5 - 173,1 = 7,4$$

Então, substituindo pelos dados coletados:

$$72,61 = m_f \times 7,4 \longrightarrow m_f = 9,81 \frac{Kg}{h}$$

### 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:

$$W_c = m_f \times (h_2 - h_1) \quad (3.8)$$

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;

$$W_c = 9,81 \times (194,8 - 180,5) \approx 140,28$$

## 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:

<b>embraco</b>		<b>COMPRESSOR TECHNICAL DATA</b>	
<b>COMPRESSOR DEFINITION</b>			
Designation	EM I28HER		
Nominal Voltage/Frequency	220-240 V 50-60 Hz		
Engineering Number	513303821		
<b>A - APPLICATION / LIMIT WORKING CONDITIONS</b>			
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		<b>Operating voltage range</b>	
		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 <sup>2</sup> ] (230 psig)	/ °C - °F
9.2 Peak (gauge)	20.6	[kgf/cm <sup>2</sup> ] (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.

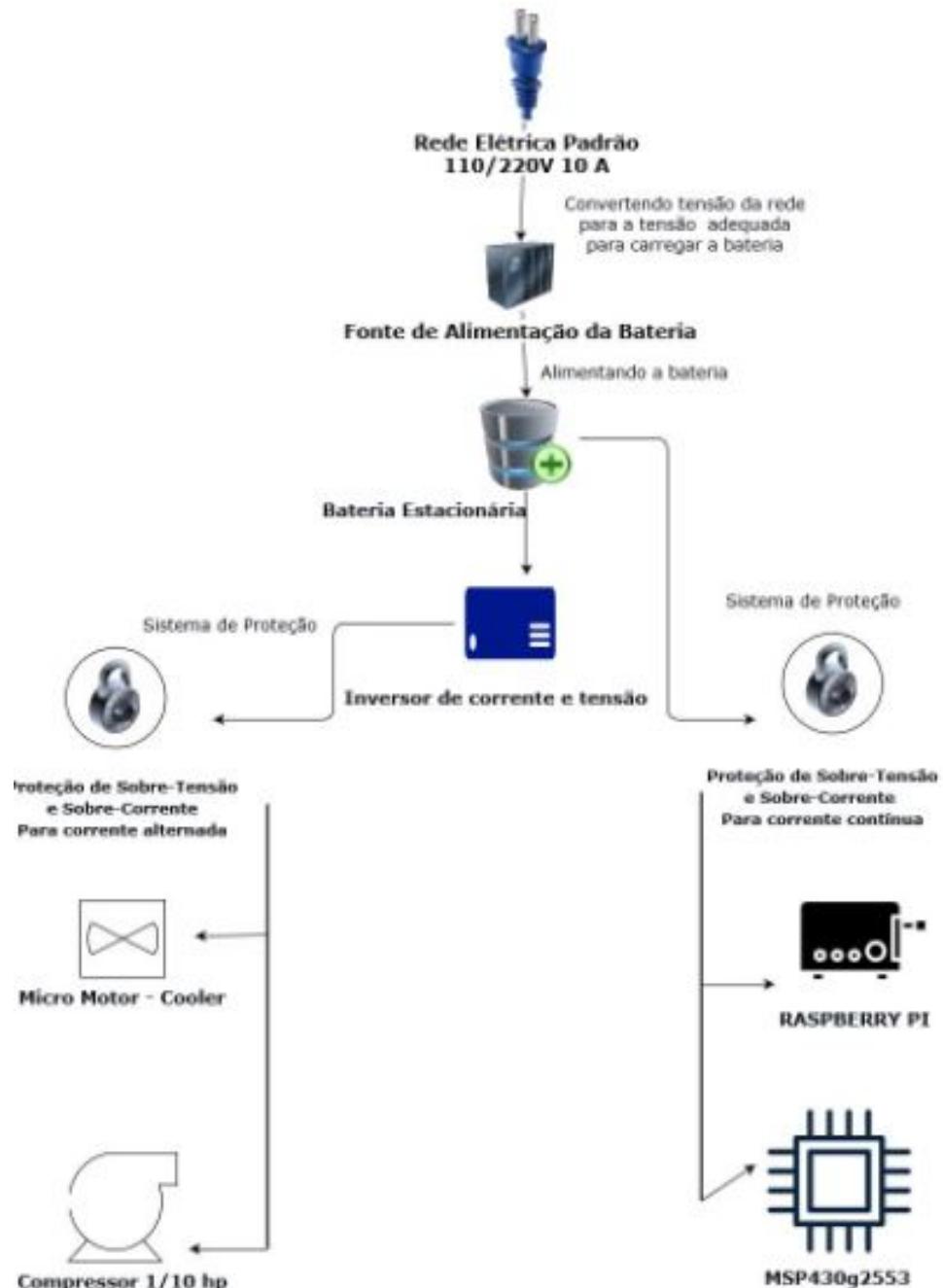


Figura 17 – Diagrama Elétrico Preliminar

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 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 foi 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:

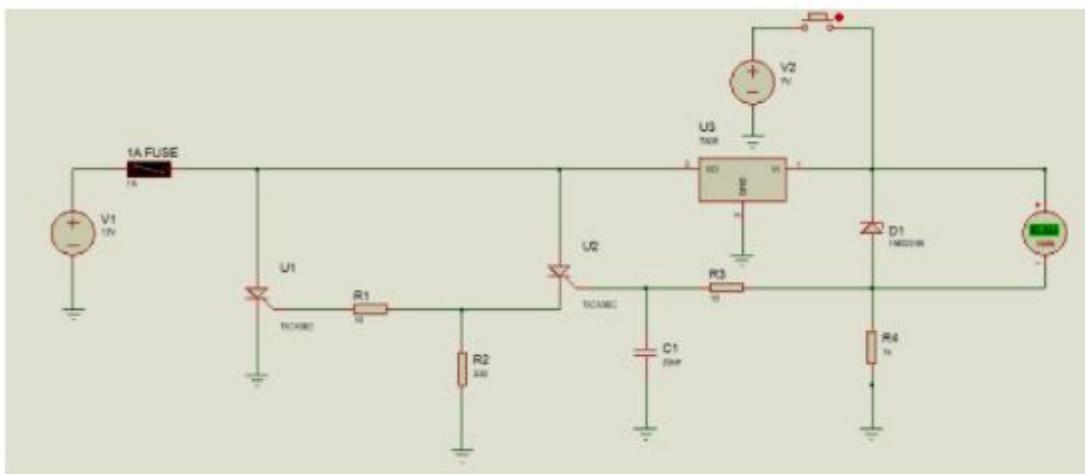


Figura 18 – Circuito de proteção

Neste caso, pode-se observar uma fonte de 7V acoplada a um botão que simula uma sobrepressão, 2 SRCs que são ativados quando o zener sobre uma sobrepressão causando a abertura do SRC U1 e consequentemente ativando o fusível. Desta forma, garantimos a proteção dos componentes, o diodo zener funciona como um sensor de corrente, caso a tensão ultrapasse os 5.1 V, o diodo passará a conduzir corrente, ativando a base do transistor quando essa corrente chegar a 10mA, abrindo o circuito e consequentemente acionando o fusível.

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. A seguir, ilustram-se o layout da placa e o circuito já impresso.

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 5.1V suficiente para alimentar tanto a raspberry PI quanto o MSP430

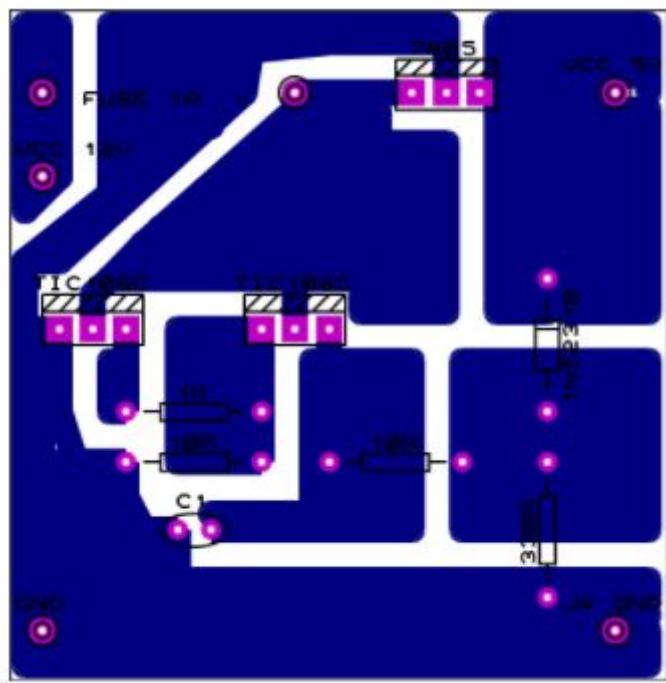


Figura 19 – Layout do circuito de proteção

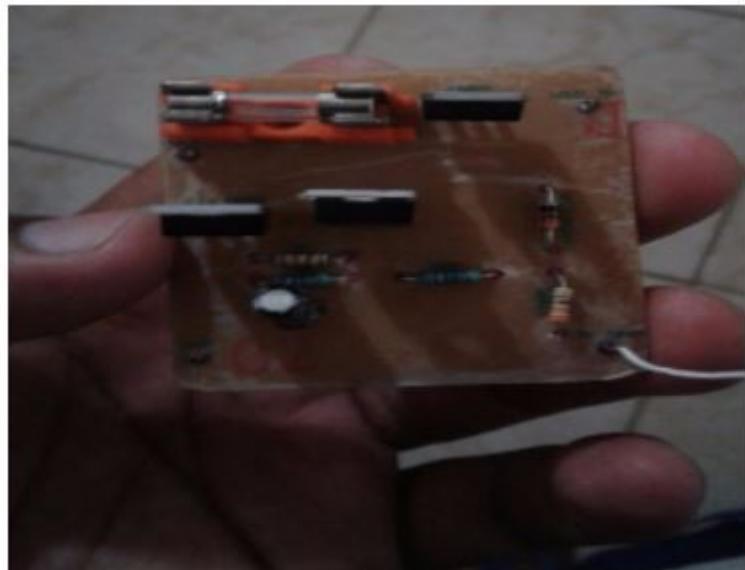


Figura 20 – Circuito de proteção impresso

### 3.4.3 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:

$$Capacidade(Ah) = \frac{Consumo(\frac{Wh}{dia}) \times Autonomia(dias)}{V_{Baterias}(V) \times profundidade(pu)} \quad (3.9)$$

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 15 – Consumo energético dos componentes

COMPONENTE	ALIMENTAÇÃO (V)	CORRENTE (A)	POTÊNCIA (W)
Microcontroladores	5	240 $\mu$	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
INVERSOR GI-GAL (stabd by)	12	400m	4,8

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,

$$Capacidade \approx 33,2439 Ah$$

### 3.4.4 Partida de Motor Compressor

Os motores de indução monofásicos, como é o caso de um compressor, são aplicáveis em sistemas que são alimentados diretamente por uma fonte monofásica. São vários os tipos desses motores, e suas aplicações dependem basicamente do tipo de sistema a ser acionado. No caso da transportadora de órgãos, foi utilizado um motor de indução monofásico de potência de 1/10 HP.

No momento do acionamento de um motor de indução, este se comporta como um transformador, em que o enrolamento secundário corresponde ao do rotor parado e curto-circuitado. Como o circuito do rotor apresenta uma baixa impedância, têm-se um alto valor de corrente induzida no enrolamento do secundário que se reflete para o circuito do estator que está conectado diretamente à fonte de alimentação em tensão nominal. Sendo assim, em alguns casos um motor de indução requer aproximadamente seis vezes a sua corrente nominal para a partida a tensão nominal.

Essa alta corrente de partida de motores de indução pode ocasionar alguns problemas como a queda de tensão na rede de alimentação, o aumento da bitola dos condutores de alimentação e a necessidade de transformadores de maior potência. O que dificulta a partida por meio de um método que não seja o de ligação direta à rede, sem que se verifiquem quedas na tensão de suprimento e sem um grande aumento do período de aceleração, desde o repouso até o alcance da velocidade nominal. Portanto, deve-se dispor de algum tipo de dispositivo que limite a corrente de partida.

### 3.4.5 Dimmer Microcontrolado

A partida direta no motor de indução de 1/10 de HP gera uma corrente de pico de 4.8A (valor obtido experimentalmente com alicate amperímetro MINIPA), essa exige uma corrente no primário do transformador de aproximadamente 88A desprezando as perdas por corrente de focault e as perdas por efeito Joule no aquecimento dos fios.

Por este motivo foi escolhido utilizar a partida em rampa, sendo esta aplicado por um dimmer microcontrolado, realizando o controle de potência AC. Desta forma, pode-se variar a potência de entrada para que a partida seja mais suave, ou seja, uma entrada em rampa diferentemente do Degrau, diminuindo a corrente de pico do regime transitório e consequentemente demandando menor esforço e potência de pico pelo inversor.

A fim de detectar a passagem por 0 e disparar um pulso para o microcontrolador foi inserida uma ponte retificadora para rebater a onda e torná-la positiva, fazendo com que a passagem por 0 seja de possível detecção por um microcontrolador através de um circuito optoacoplador. Foi escolhido o chip optoacoplador 4N25 para que fosse possível detectar a passagem por fase 0, pela sua característica de emissão de luz suficiente para polarizar o gate do fototransistor a partir de uma tensão senoidal de 10Vpp ou superior.

A saída do fototransistor foi ligada a um resistor de pull-up e conectada ao microcontrolador, para que assim seja detectada a passagem por 0 para então disparar o fototriac.

Para controlar através do microcontrolador, é necessário um circuito de isolamento do circuito de baixa tensão para com o circuito de alta tensão, por isso utilizamos um fototriac MOC3021 que é capaz de ser acionado através de uma tensão de entrada da ordem de 3.3V, tensão de saída do próprio microcontrolador para realizar o disparo do pulso que controla a passagem da onda através do triac.

Com base nessas capacidades do Triac, o microcontrolador desliga brevemente a tensão da rede, durante uma parte de cada um dos ciclos. Isso acontece 120 vezes por segundo (ou 2 vezes por ciclo), causando apenas uma redução da potência, equivalente à que acontece quando há uma queda de tensão

da rede elétrica, embora causada por outro princípio (o mecanismo aqui descrito não modifica a tensão, apenas o tempo durante o qual ela fica disponível).

O gráfico a seguir mostra o que acontece durante cada um dos ciclos AC (ou seja: a senóide apresentada se repete 60 vezes por segundo):

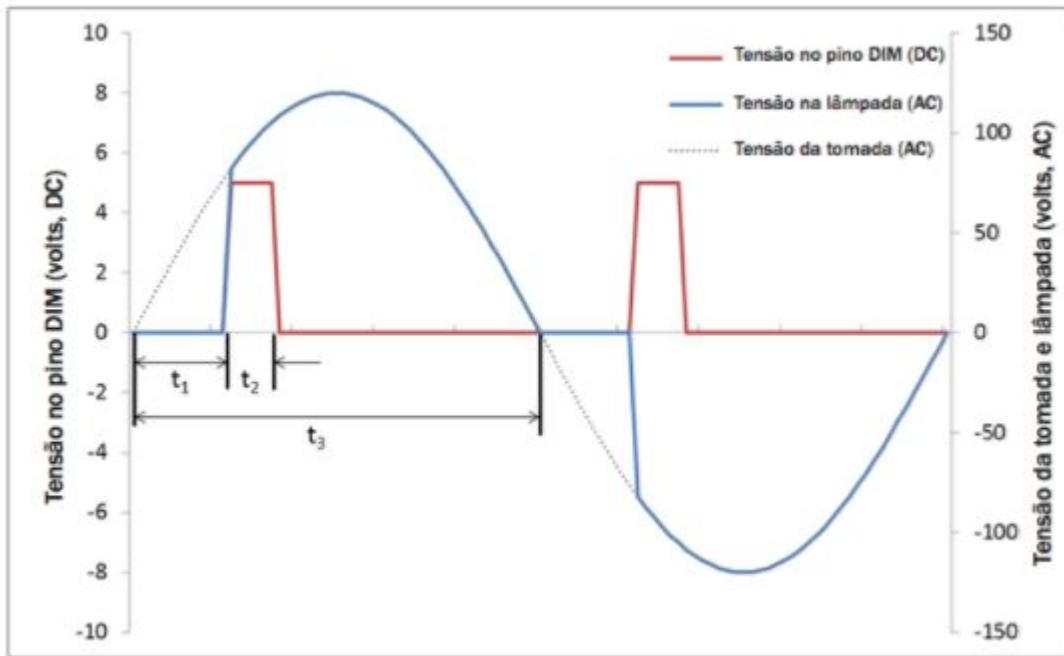


Figura 21 – Exemplo de circuito dimmer entrada , pulso e saída.

O eixo X é o tempo, e o gráfico inteiro se repete 60 vezes por segundo, ou seja, a linha horizontal representada no gráfico equivale a 1/60 de segundo.

Note que o eixo Y tem 2 escalas: a da esquerda, de -10V a +10V, vale apenas para a linha vermelha, que indica a tensão ativada pelo microcontrolador no pino DIM do módulo, e a da direita, que vai de -150V a +150V, e vale para a linha pontilhada (que indica a tensão recebida da tomada pelo módulo) e para a linha azul (que indica a tensão fornecida à lâmpada pelo módulo).

A linha pontilhada é visível apenas em 2 pequenos trechos, porque nos demais ela é sobreposta pela linha azul.

A linha vermelha geralmente está fixa em 0 volts, exceto em 2 breves momentos, que ocorrem após o tempo  $t_1$  (que começa a contar sempre que a tensão da tomada passa pelo 0V) e cuja duração equivale ao tempo  $t_2$ , que correspondem aos pulsos positivos (HIGH) que o microcontrolador envia para o pino DIM do nosso módulo, indicando que ele pode liberar a passagem entre a tomada e a lâmpada.

Note também que, no mesmo momento em que a linha vermelha começa a estar HIGH, a linha azul passa de 0V para o mesmo valor da tensão recebida da tomada (linha pontilhada) naquele momento: é o momento em que a lâmpada acende.

Foi realizado o cálculo, com base no valor da variável volátil potência (que deve variar entre 0 e 100), qual será a duração do tempo  $t_1$  - quanto menor a potência desejada, maior deve ser o tempo  $t_1$ , até um limite próximo a 1/160 de segundos, ou aproximadamente 6.25 milissegundos.

Foi utilizado o valor de 8200 (e não 8333) como o limite máximo, para evitar que a soma de  $t_1 +$

$t_2$  (mais o tempo que leva para executar os comandos da `zeroCross()`) ultrapasse os 8333 microsegundos que temos entre cada chamada. O valor de  $t_2$  ficou fixado (logo abaixo) em 6 microsegundos.

Com  $t_1$  e  $t_2$  definidos nos registradores a seguinte sequência é seguida:

- Aguardar  $t_1$  microsegundos;
- Mover HIGH para o pino DIM;
- Aguardar  $t_2$  microsegundos;
- Mover LOW para o pino DIM

E assim termina a função `zeroCross()`. Com isso, a interrupção INT0 se encerra (até que outra aconteça), e a execução retorna ao ponto em que o programa "normal" foi interrompido.

Além disto, o que temos é uma função `loop()` que executa, a cada vez, um loop `for` que move valores de 5 até 95 para a variável volátil `potencia`, aguardando 150ms em cada valor, e depois aguardando 1 segundo inteiro (1000ms) antes de recomeçar.

Logo abaixo podemos ver a simulação com o software Proteus 8.0 do nosso programa:

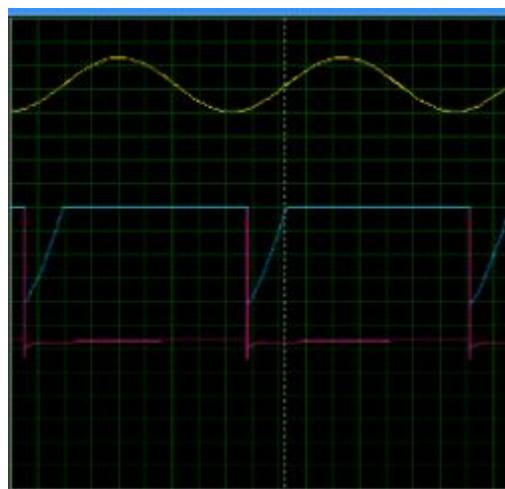


Figura 22 – Exemplo de circuito dimmer entrada, pulso e saída.

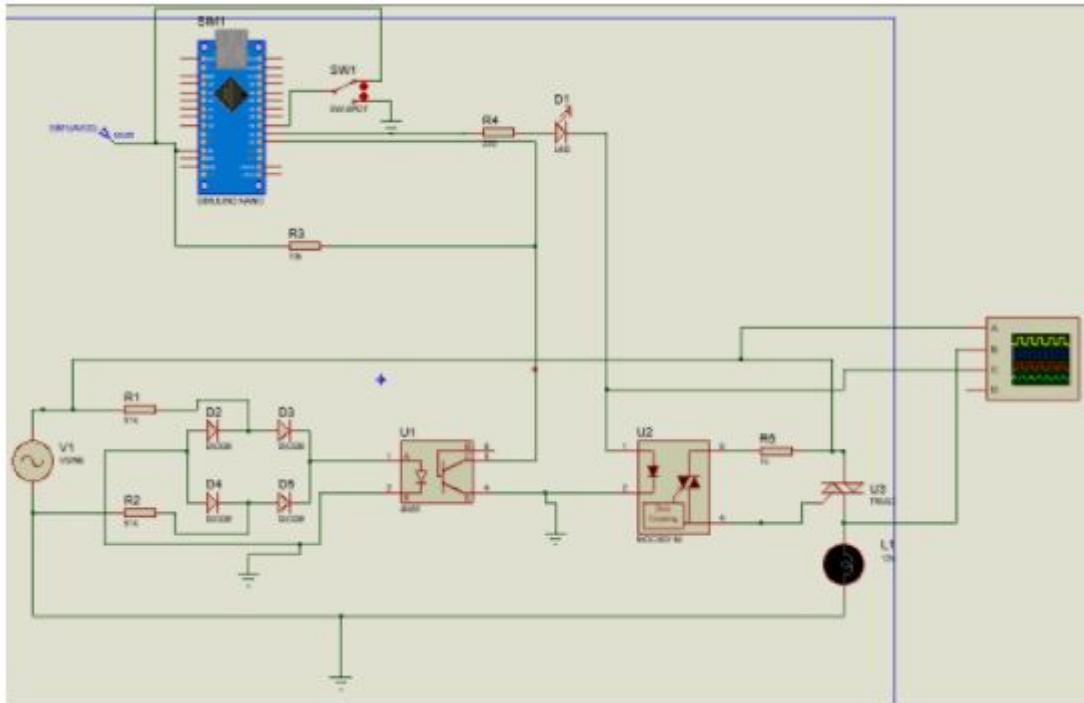


Figura 23 – Exemplo de circuito dimmer entrada, pulso e saída.

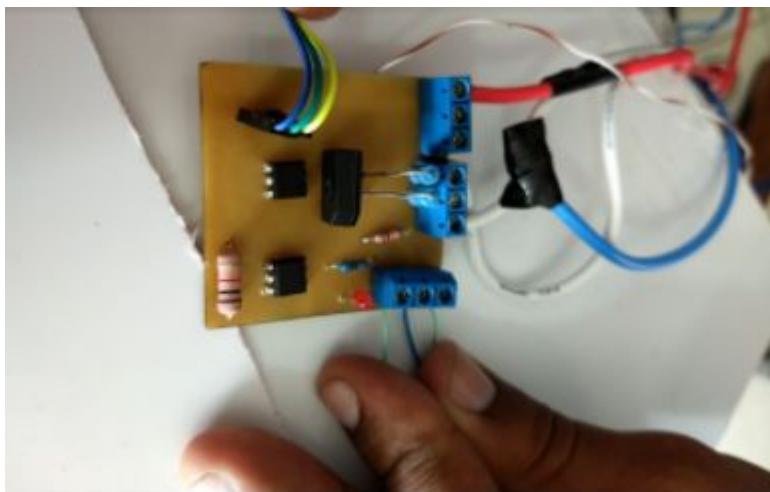


Figura 24 – Exemplo de circuito dimmer entrada, pulso e saída.

O circuito de dimmer mostrou resultados satisfatórios quando conectado a rede elétrica e a uma lâmpada para verificar seu funcionamento através da intensidade luminosa, já que não dispunhamos de um cabo atenuador de tensão para o osciloscópio.

Utilizando o multímetro digital MINIPA fomos capazes de observar que a tensão aumentava de acordo com o valor setado pelo microcontrolador, variando entre 0V e 216V, o sistema também foi capaz de dar a partida suave no motor, porém quando o sistema foi desligado o motor gerou uma corrente reversa que acabou por danificar o sistema.

### 3.4.6 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 25 – 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.

### 3.4.7 Oscilador de onda quadrada

Para que o inversor possa partir de uma corrente DC e por fim passe por um transformador para que seja elevada, é necessário que haja uma oscilação entre as entradas do transformador, a maneira mais viável de realizar essa oscilação é criando duas ondas quadradas defasadas em exatamente 180°.

Para criar as duas ondas de oscilação defasadas em  $180^\circ C$  e quadradas, foram escolhidos os circuitos 555 no modo astável e um flip-flop tipo D, como desejamos uma saída de 120Hz para que sua borda de subida provoque uma oscilação de 60Hz nos flip flops.

Para que a frequência do CI 555 fica-se centrada em 60Hz foi utilizado o circuito no modo astável, onde um divisor resistivo entre os pinos threshold(6) discharge(7) e o capacitor de trigger(2) determinam a frequência de saída de acordo com a seguinte equação:

$$f = \frac{1,44}{(R_1 + 2R_2) \times C}$$

Onde  $R_1$  é o resistor entre os pinos 6 e 7  $R_2$  é o resistor entre os pinos 6 e 2 e C é a capacitância do capacitor entre o pino 2 e o GND do circuito Arbitramos um capacitor comercial de 22uF e um resistor de baixo valor 100Ω para  $R_1$  e calculamos o outro valor e obtemos um valor de 330 Ω no resistor  $R_2$ .

A saída do circuito 555 que corresponde a uma onda quadrada de 120Hz é conectada a um flip flop tipo D com saida Q e Q barrado realizamos uma conexão da entrada de dados com a saída de Q dessa forma temos um loop infinito entre 0 e 1 afinal o dado de Q passa para Q barrado e assim por diante eternamente, criando duas saídas defasadas uma da outra, o circuito simulado no software proteus 8.0.

Foi escolhido utilizar um flip flop tipo D HEF4013 que apresenta uma defasagem entre Q e Q barrado de 200uS desta forma podemos utilizar esse chip para implementar o tempo morto do sistema, ou seja, um tempo de segurança para evitar que as duas ondas entrem em funcionamento causando um curto circuito nos transistores levando a sua danificação.

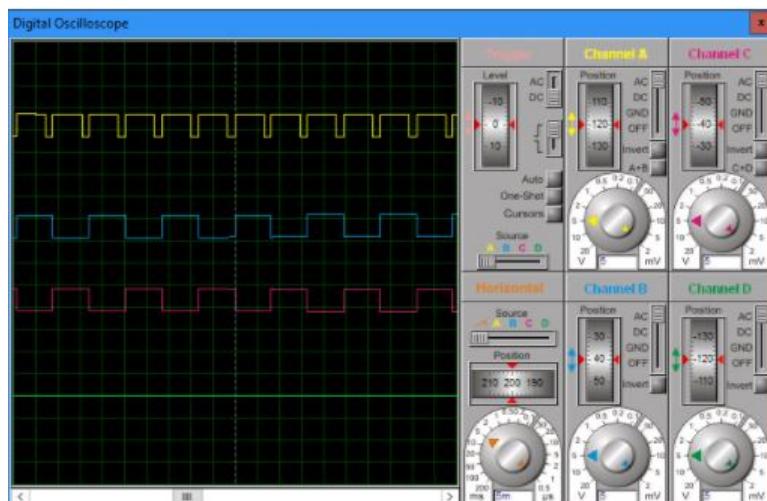


Figura 26 – Simulação do Oscilador com proteus 8.0.

Onde o canal 1 representa a saída do circuito 555, ou seja, a entrada do clock do circuito flip flop, e os canais 2 e 3 representam as duas saídas do flip flop.



Figura 27 – Simulação do Oscilador com proteus 8.0.

### 3.4.8 Transformador

O transformador utilizado nos testes possui os seguintes dados:

- Tensão de Entrada: 12 Volts;
- Tensão de Saída: 220 Volts;
- Corrente de Saída: 5 Amperes.

Para dimensioná-lo foram realizados alguns cálculos de características importantes, os quais são demonstrados os resultados abaixo:

- Potência de Saída: 1100 Watts
- Seção do Núcleo:  $3979 \text{ mm}^2$
- Carretel:  $50 \times 80$  (seção:  $4000 \text{ mm}^2$ )
- Chapa: 50 mm
- Empilhamento: 80 mm
- Espiras/volt: 15.015015015015
- Espiras no Enrolamento Primário: 180.18018018018
- Espiras no Enrolamento Secundário: 3468.46846846847
- Corrente no Enrolamento Primário: 33.4782608695652 Ampéres
- Potência no Enrolamento Primário: 401.739130434783 Watts
- Densidade de corrente:  $2.2 \text{ A/mm}^2$
- Seção do fio Primário :  $15.2173913043478 \text{ mm}^2$
- Seção do fio Secundário :  $2.27272727272727 \text{ mm}^2$
- Fio do Primário: 6 AWG (Diâmetro: 4.1 - Secção  $13 \text{ mm}^2$ )
- Fio do Secundário: 15 AWG (Diâmetro: 1.5 - Secção  $1.7 \text{ mm}^2$ )

Cálculo de ajuste para montagem:

- Fio do Primário: 8 AWG (Diametro: 3.3 - Secção 8.4 mm<sup>2</sup>)
- Fio do Secundário: 18 AWG (Diametro: 1 - Secção 0.82 mm<sup>2</sup>)

A montagem sugerida acima não é comercializada, portanto realizou-se uma montagem sob medida,a figura abaixo, apresenta este transformador.



Figura 28 – Simulação do Oscilador com proteus 8.0.

Uma consequência da utilização desse transformador seria o aumento do peso do sistema de maneira considerável. Sendo assim, pelo fato de um dos requisitos do sistema ser a mobilidade da transportadora de órgãos, sua utilização prejudicaria este requisito, tornando-se praticamente inviável.

### 3.4.9 Filtro de 60Hz

Foi utilizado um filtro LC para filtrar os harmônicos indesejados e deixar o circuito o mais otimizado possível para 60Hz, setando a frequência de ressonância do circuito em 60Hz. Os filtros RC e RLC foram descartados pois estes dissiparam muita potência devido a presença do resistir como existe uma grande dificuldade em encontrar indutores apropriados para alta tensão, foram confeccionados indutores para o maior valor de indutância possível e que fossem de um tamanho que não compromete-se a viabilidade do sistema, desta forma conseguimos obter um valor de indutância de 1,4uH.

A equação do filtro passa baixa com RL é a seguinte:

$$f_c = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}} \quad (3.10)$$

Onde  $f_c$  é frequência de corte L é a indutância e C é a capacitância do circuito, assim calculando, é necessário um capacitor de 5.03uF para uma frequência de corte de 60Hz.

### 3.4.10 Driver de Potência

Em primeiro lugar foi utilizado um buffer e amplificador com transistores TBJ tipo TIP41 para isolar o circuito oscilador do driver de potência e evitar danos da parte de baixa corrente para a parte de

alta corrente, como estamos trabalhando com ondas quadradas os transistores são mantidos em saturação durante todo o tempo, afinal a tensão do coletor é muito alta em relação a tensão do source, dessa forma o transistor atua em modo de saturação.

Essa mesma saída entra em um banco de transistores de potência com o transistor IRFZ3205 que possui tensão de gate source V<sub>gs</sub> de 20V e tensão V<sub>ds</sub> de 55V máximo, capacidade de suportar corrente de I<sub>gs</sub> de até 100A e capacidade de dissipação de potência de até 200W, por este motivo escolhemos este transistor em especial, pois este seria o melhor e mais viável modelo comercial para suportar altas correntes, afinal para acionar um motor de indução de 1/10HP, que apresentou tensão de pico de 4.8A medidos com alicate amperímetro através de uma partida direta é necessário uma corrente de 88A na entrada do transformador, desprezando as perdas do transformador.

A valor da corrente para cada transistor é dado pela corrente total dividida pelo número de transistores que são colocados em paralelo, em cada lado do circuito, dessa forma utilizamos 7 transistores de cada lado para que pudéssemos ter uma dissipação máxima de 1400W potência suficiente para ligar o motor de 1/10HP, sem exigir muito das características do transistor evitando o seu aquecimento.

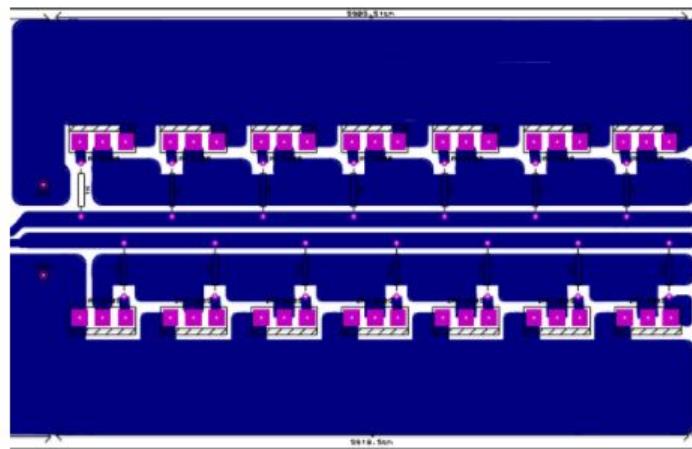


Figura 29 – Layout do banco de potência.

### 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.

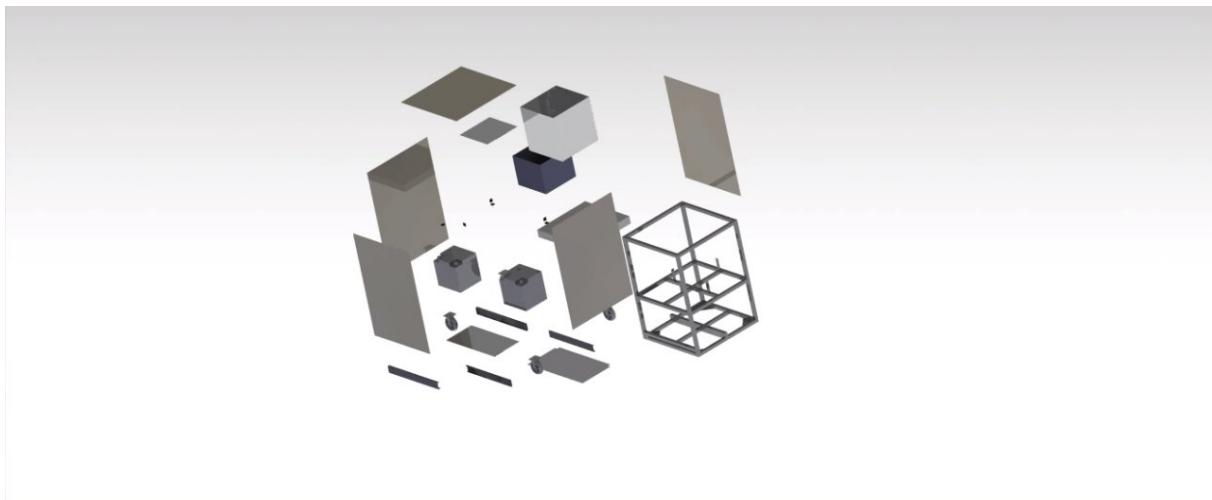


Figura 30 – Visão explodida



Figura 31 – Visão externa lateral

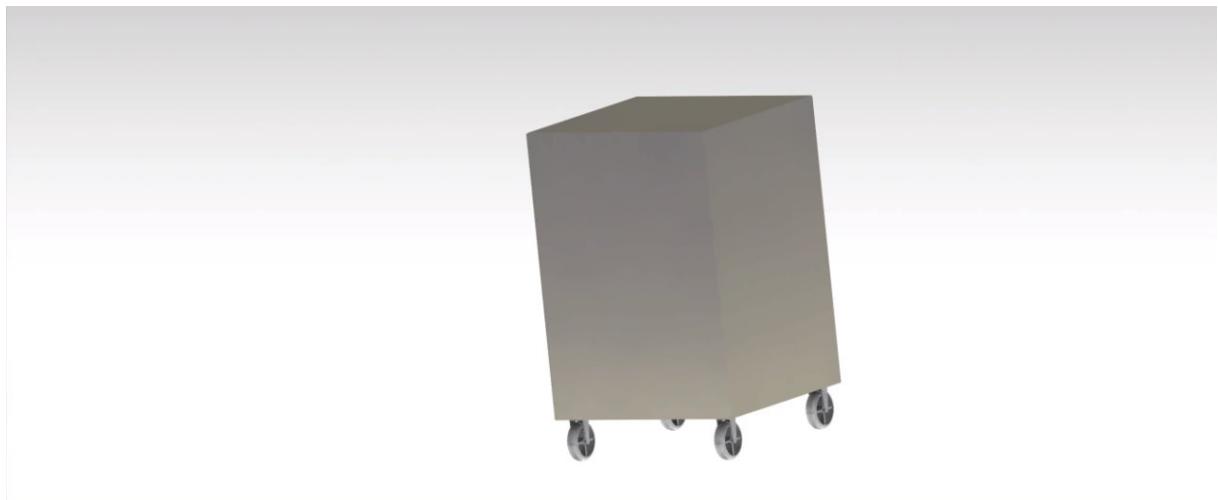
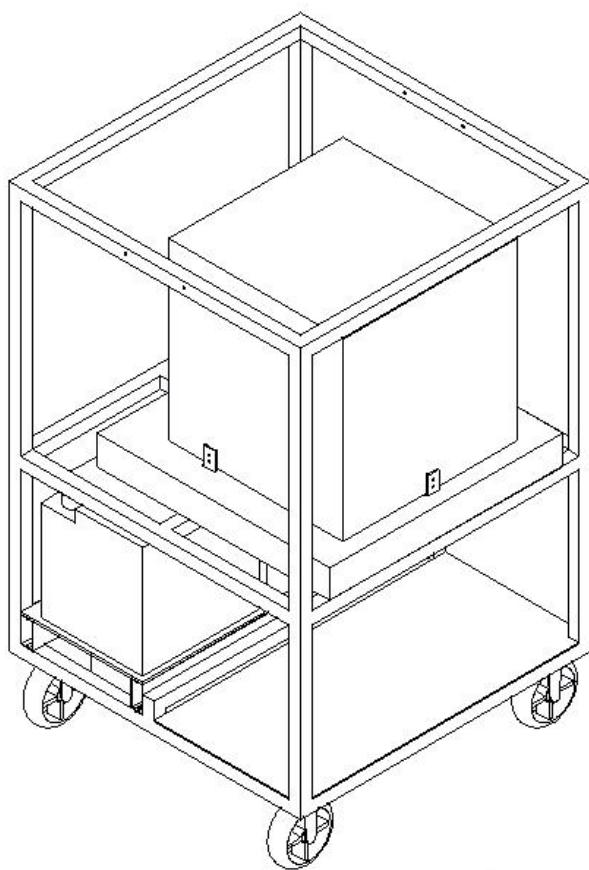


Figura 32 – Visão externa posterior



**Vista Isométrica**

Figura 33 – 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.

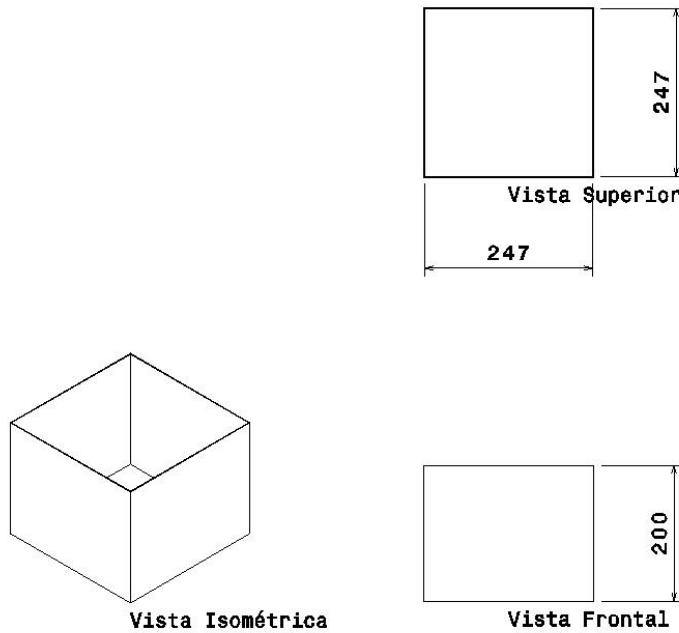


Figura 34 – Desenho técnico do compartimento de carga

## 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.

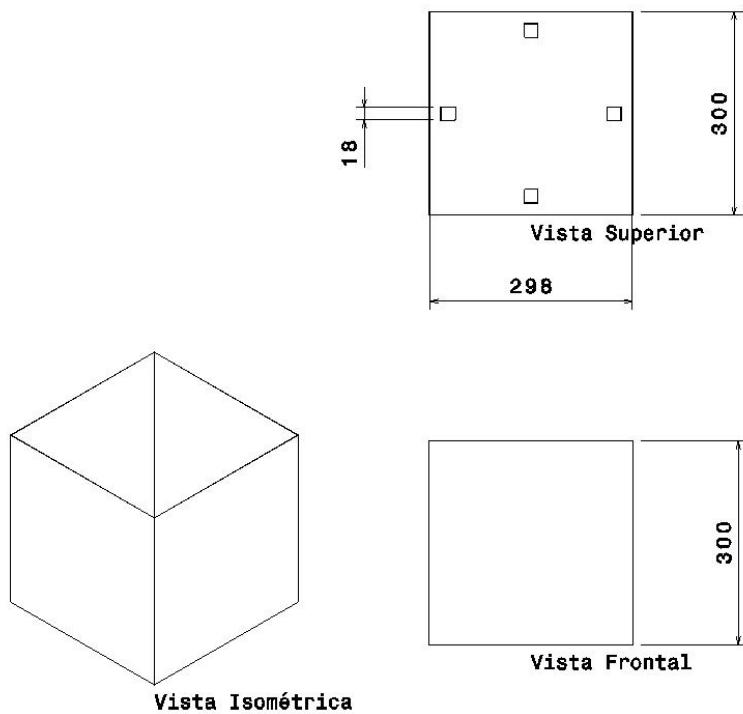


Figura 35 – Desenho técnico da câmara de resfriamento

## 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.

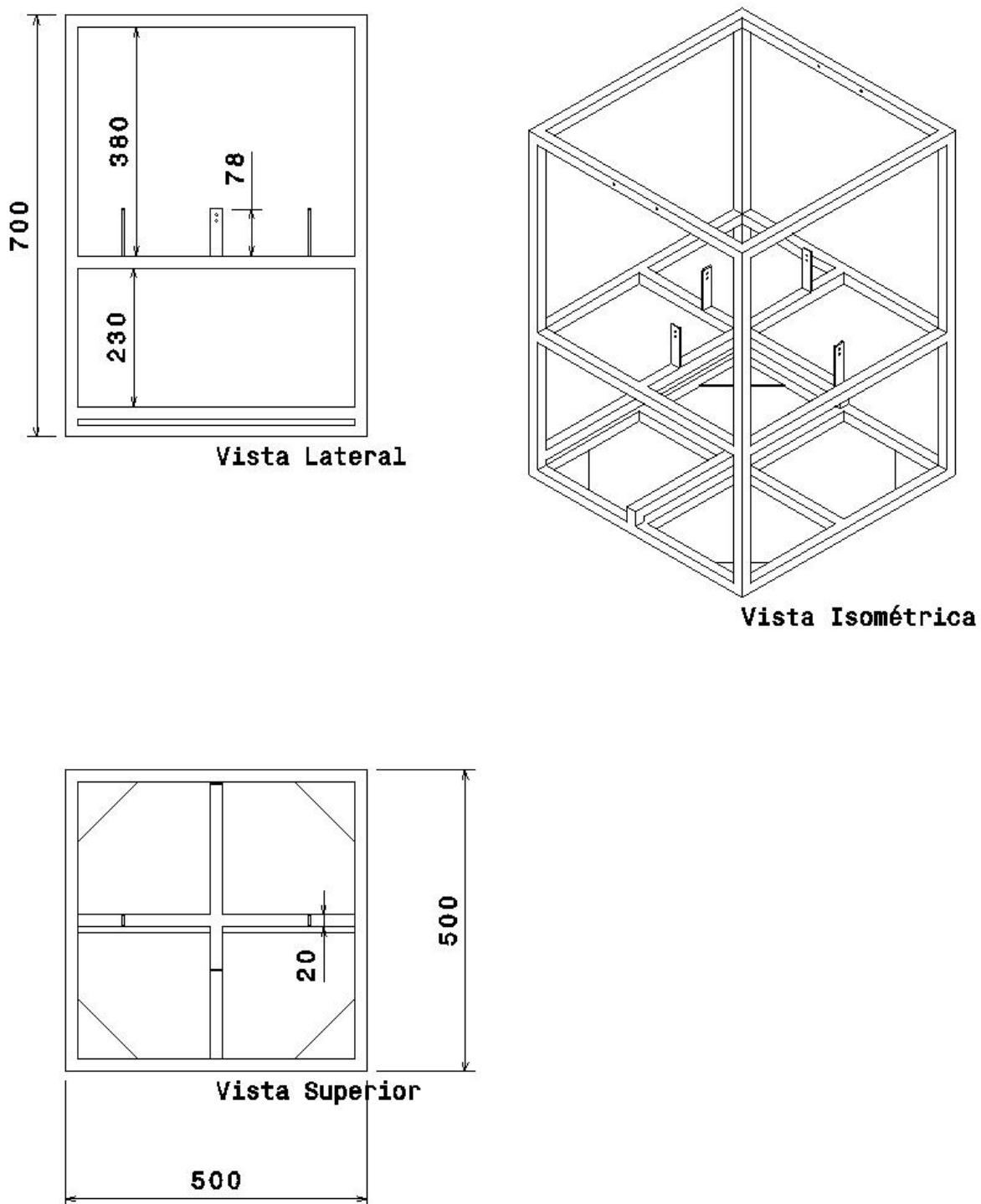


Figura 36 – Desenho técnico da estrutura

## 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 16 – 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

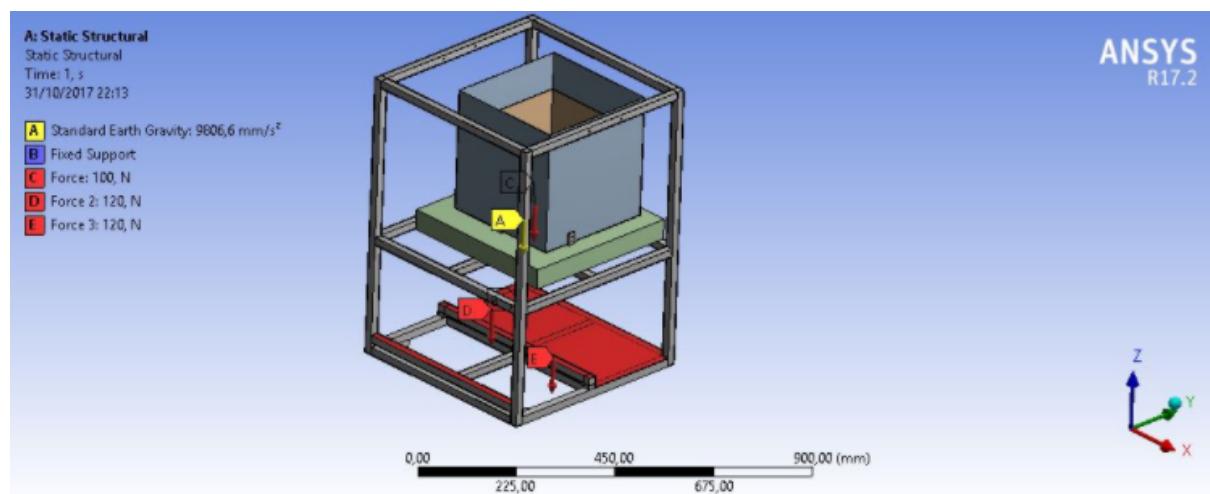


Figura 37 – Carregamentos

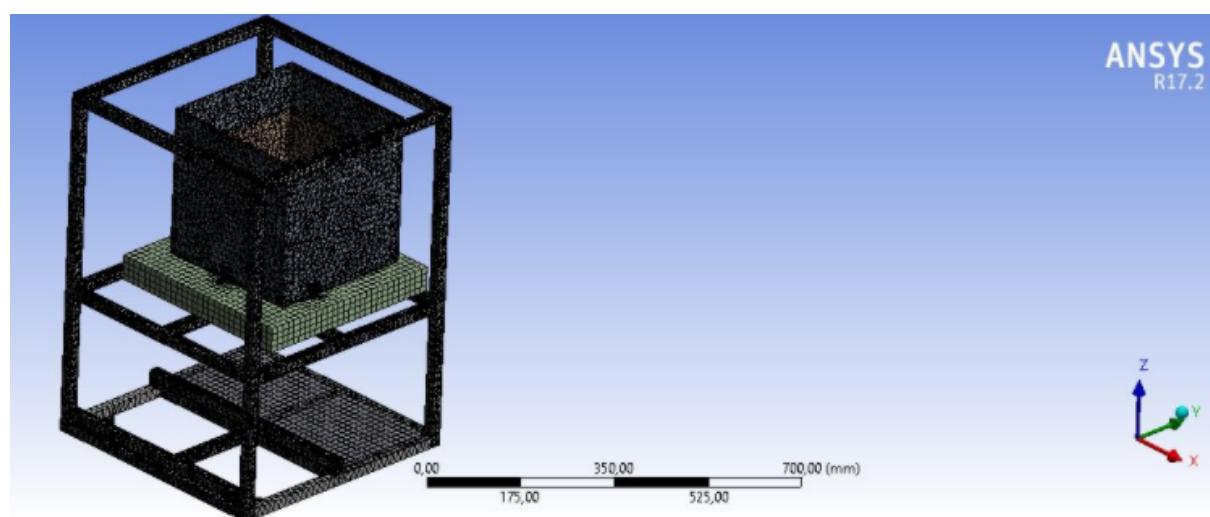


Figura 38 – Refinamento da Malha

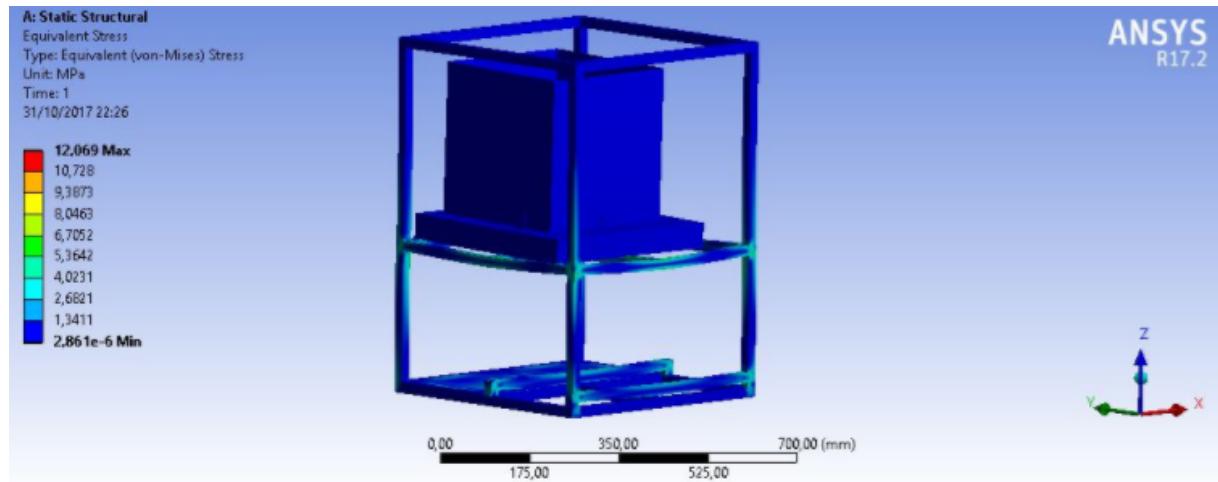


Figura 39 – Tensão Equivalente de Von Mises

Tabela 17 – Resultados para análise estática

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

Tabela 18 – 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

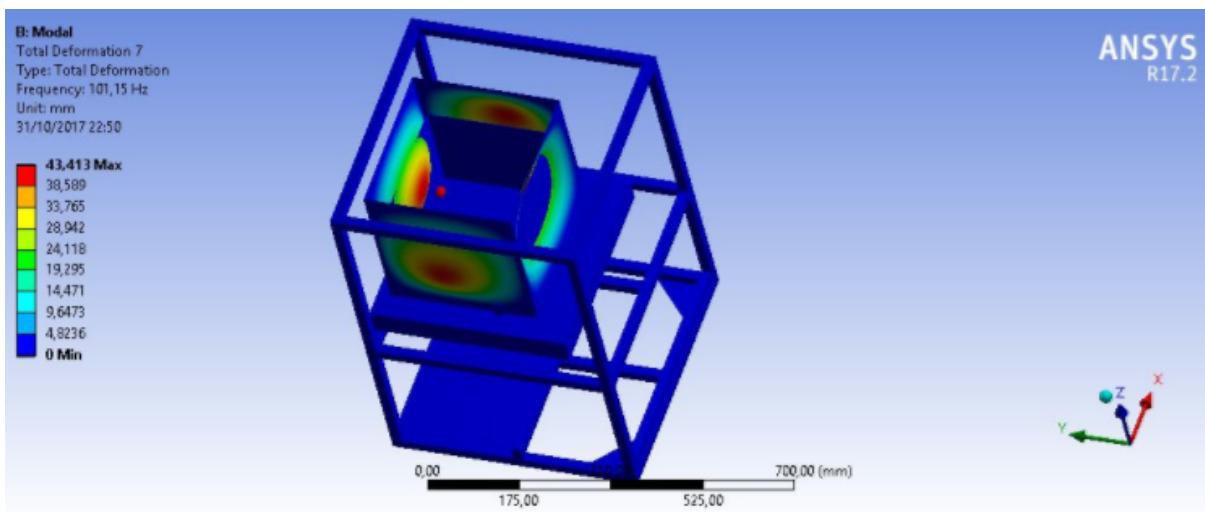


Figura 40 – Modo de Falha 7

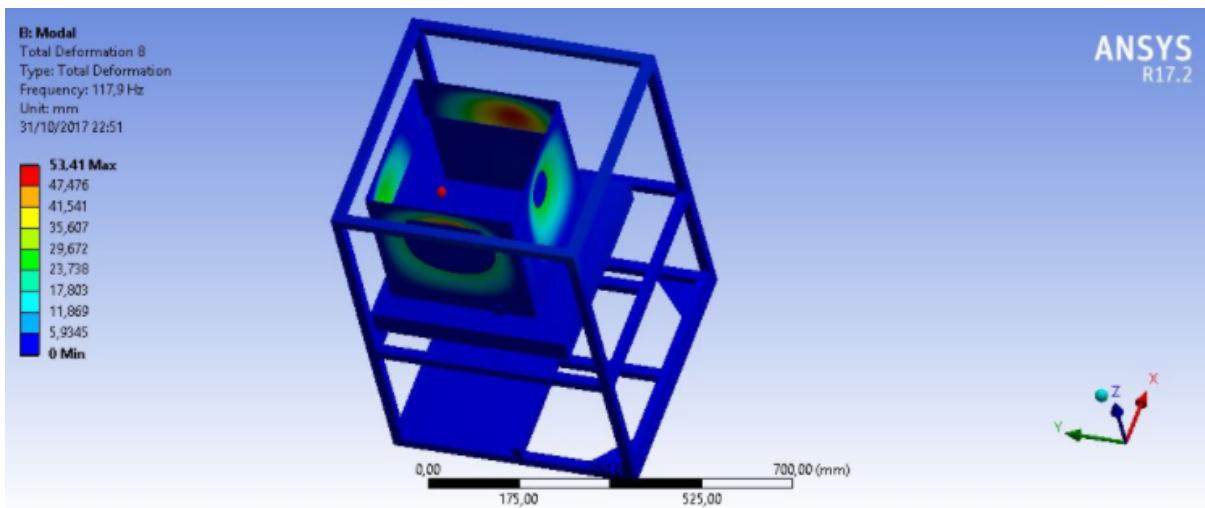


Figura 41 – Modo de Falha 8

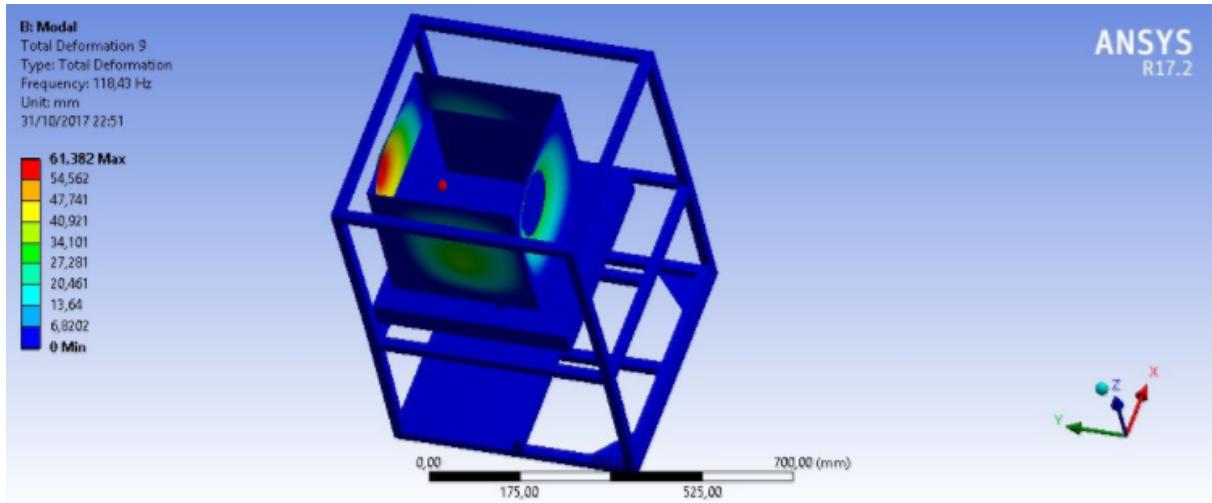


Figura 42 – Modo de Falha 9

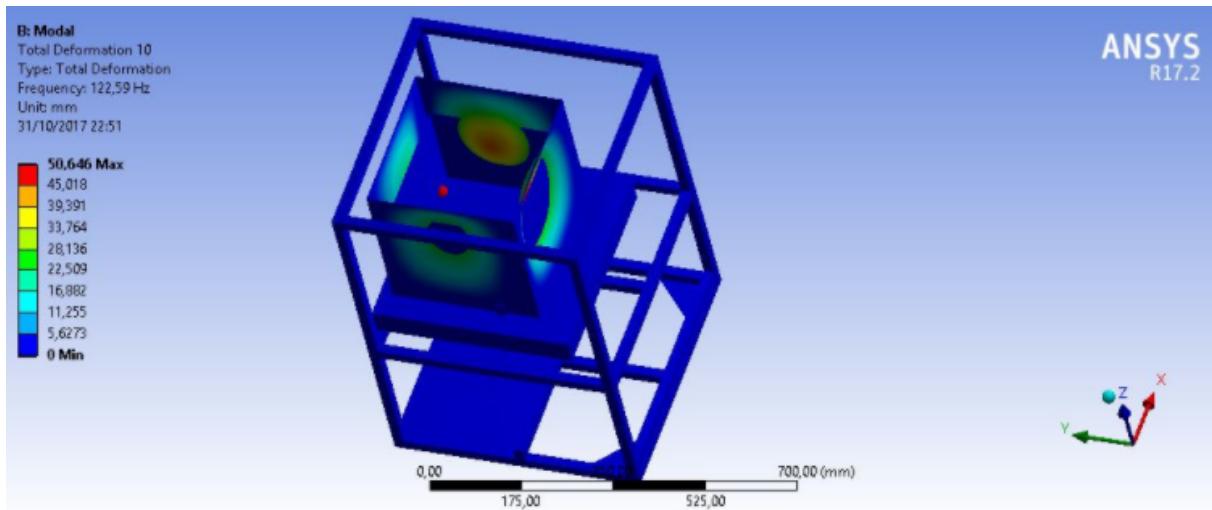


Figura 43 – Modo de Falha 10

### 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

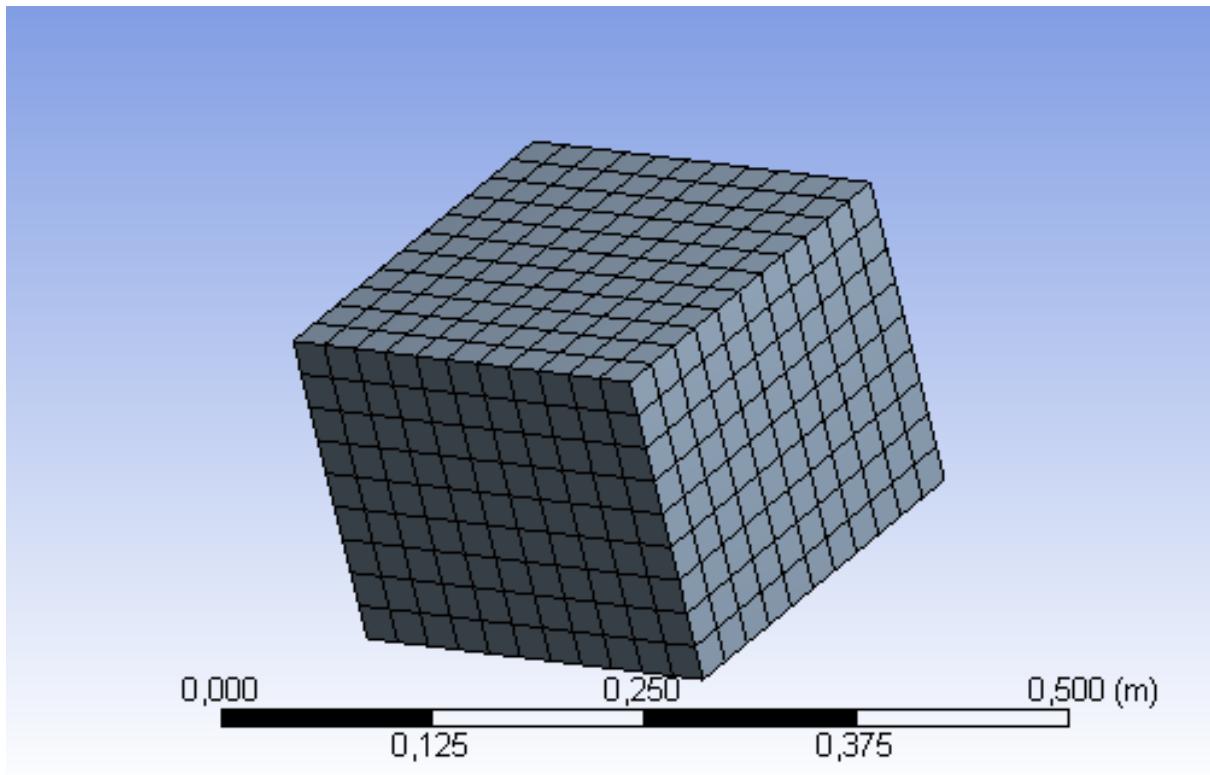


Figura 44 – Malha do compartimento de carga

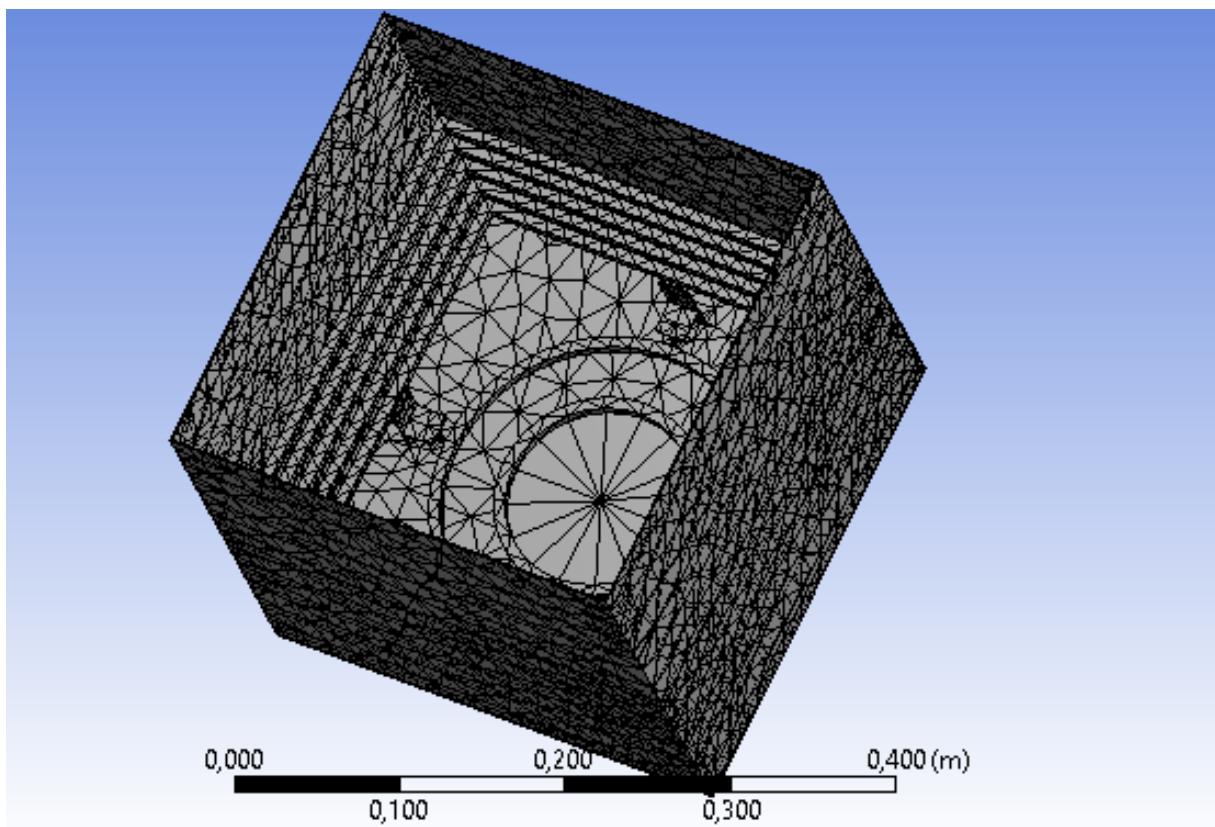


Figura 45 – Malha da câmara de resfriamento

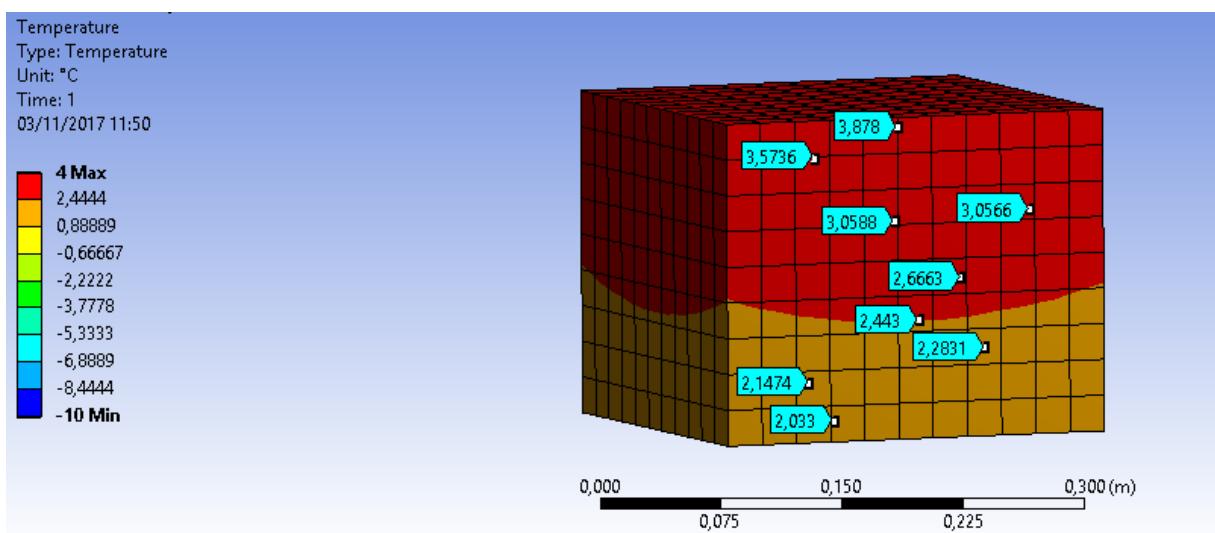


Figura 46 – Distribuição de temperatura no compartimento de carga

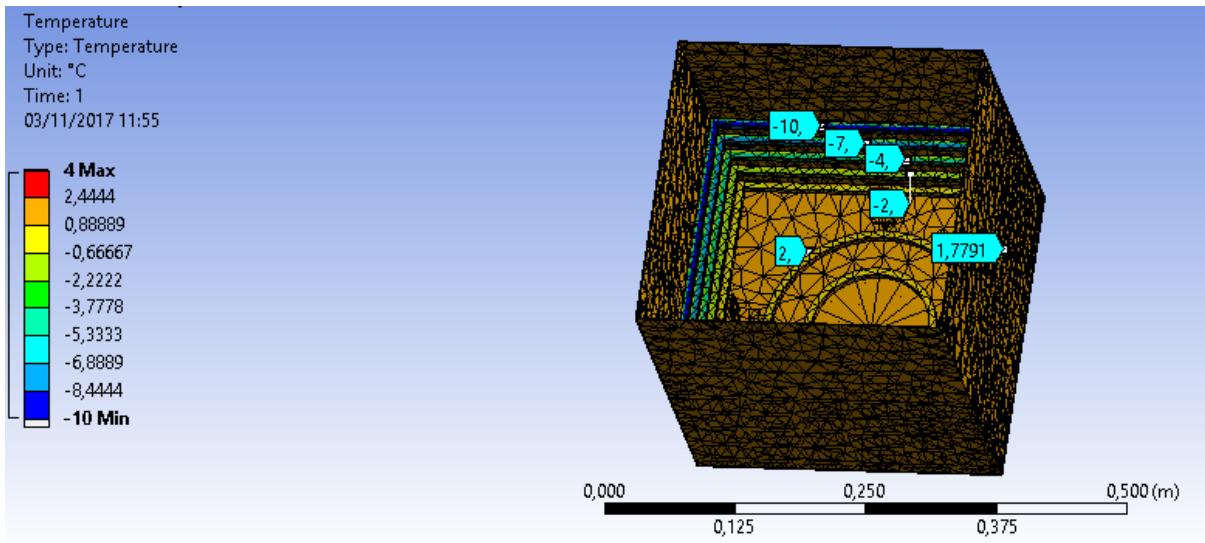


Figura 47 – Distribuição de temperatura na câmara de resfriamento

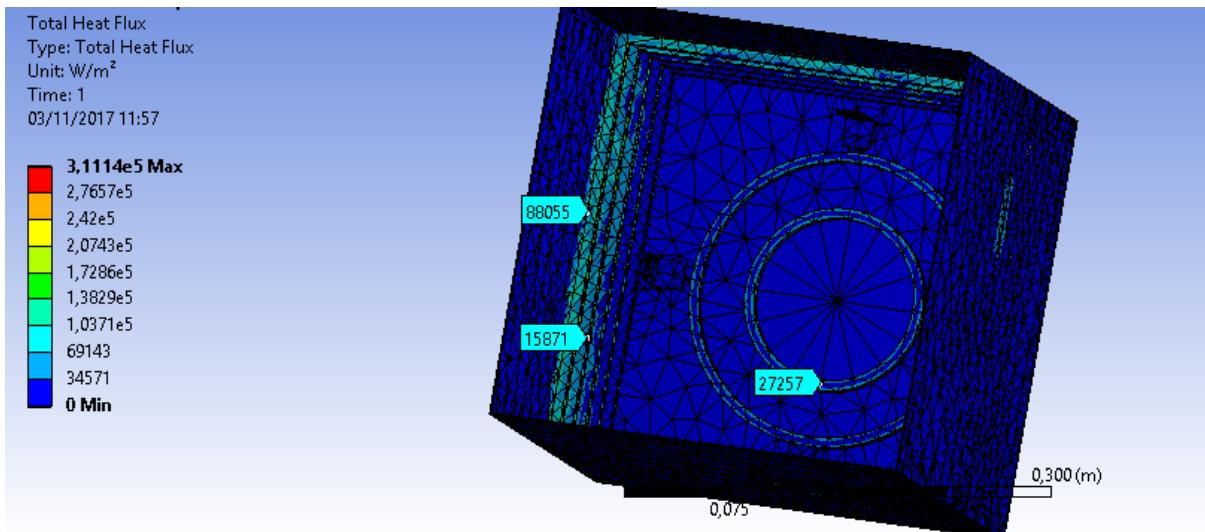


Figura 48 – Fluxo de calor na câmara de resfriamento

## 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 49 – 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:

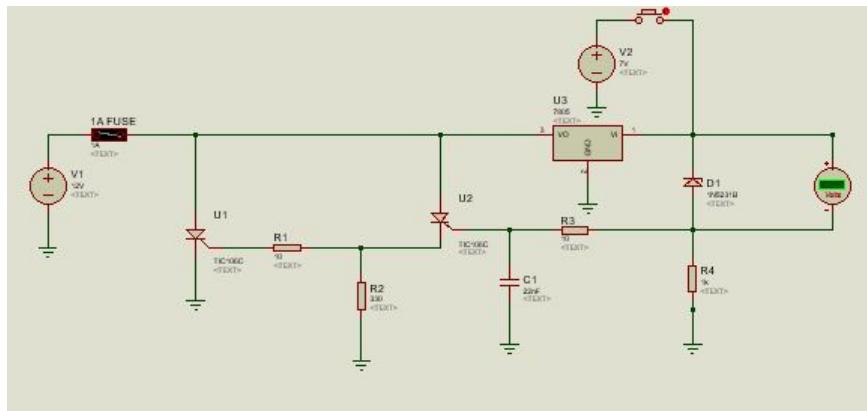


Figura 50 – Circuito de proteção

### 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:

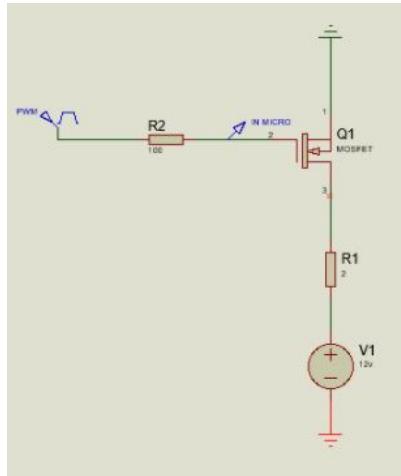


Figura 51 – Circuito responsável pelo controle PWN

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
<b>SOMA</b>				<b>R\$ 1.101,70</b>			<b>R\$ 1.101,70</b>
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
<b>SOMA</b>				<b>R\$ 636,50</b>			<b>R\$ 636,50</b>
<b>CUSTOS DE ESTRUTURA</b>							
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
<b>SOMA</b>				<b>R\$ 914,00</b>			<b>R\$ 914,00</b>
<b>CUSTOS DE SOFTWARE</b>							
CATEGORIA	PREÇO	MOEDA	TEMPO (ANOS)	Total			V. Final
HOSPEDAGEM DE SERVIDOR	\$100,00	DOLAR	1 ANO	R\$ 316,75			R\$ 316,75
<b>SOMA</b>							<b>R\$ 316,75</b>
ESTIMATIVA TOTAL DO PROJETO				<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">-</span> <span style="border: 1px solid black; border-radius: 50%; width: 15px; height: 15px; display: inline-block; margin: 0 10px;"></span> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">+</span>	R\$ 2.968,95		

Figura 52 – Tabela de custos

# 4 Resultados

## 4.1 Sistema de Comunicação

### 4.1.1 Visão Geral

Dois microcontroladores foram utilizados no sistema de comunicação: um para receber informações de temperatura (msp) e outro para fazer a comunicação com o módulo GPRS. O módulo GPRS possui uma antena GPS integrada, possibilitando enviar informações de localização para o raspberry PI. Além desses sinais, também é monitorado o fechamento da câmara, através do uso de um botão de fim de curso, e se ela está habilitada ou desabilitada, por meio do uso de uma chave. Todas essas informações são lidas pela raspberry PI e armazenadas em um banco de dados MySQL, sendo que a data e hora do report são recuperados pelo próprio sistema da raspberry. Um script escrito em python é responsável por ler informações da tabela do BD e enviar, sempre um registro por vez, os dados para o arduino. O arduino, por sua vez, é responsável por montar o arquivo JSON com as informações recebidas e enviar (POST) para a API, através do módulo GPRS, o qual permite uma conexão com a internet através da rede GSM.

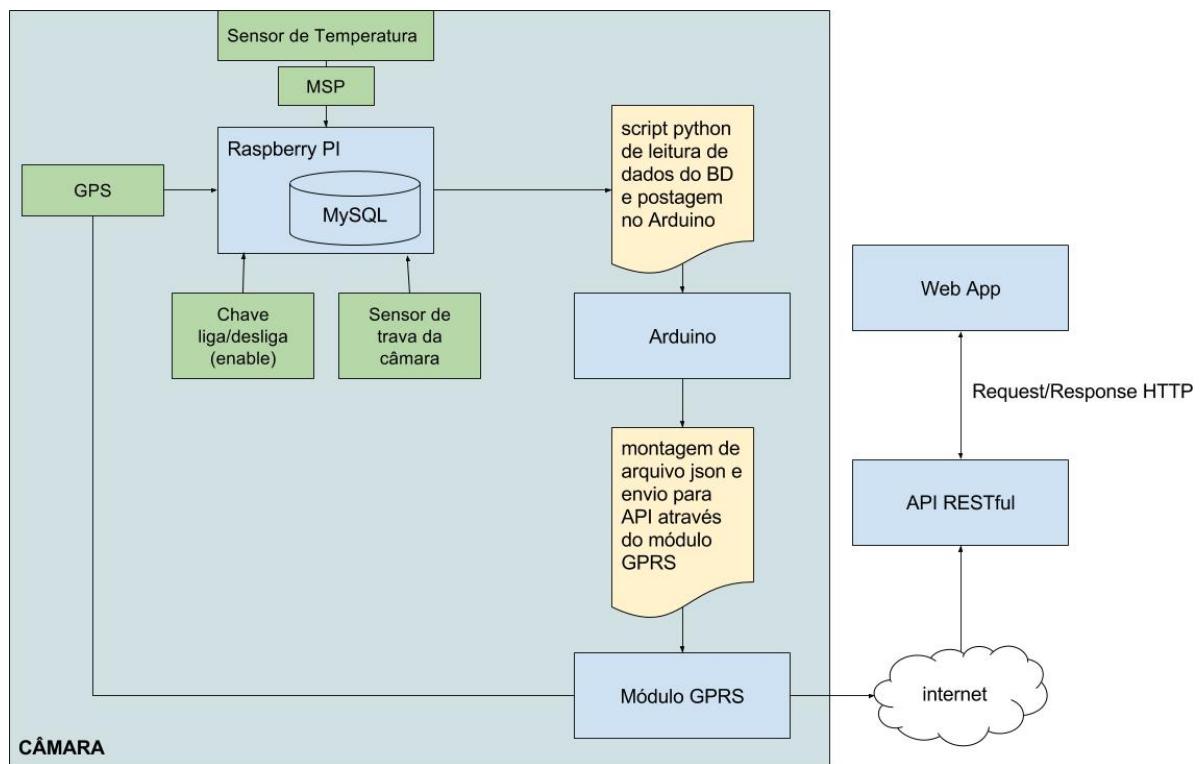


Figura 53 – Visão geral do sistema de comunicação

#### 4.1.2 Arquitetura de Software

A arquitetura de software implementada consiste no modelo cliente-servidor. No server-side foi implementado uma API (webservice), em linguagem Python utilizando o 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 client-side consiste na aplicação web, com a 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.

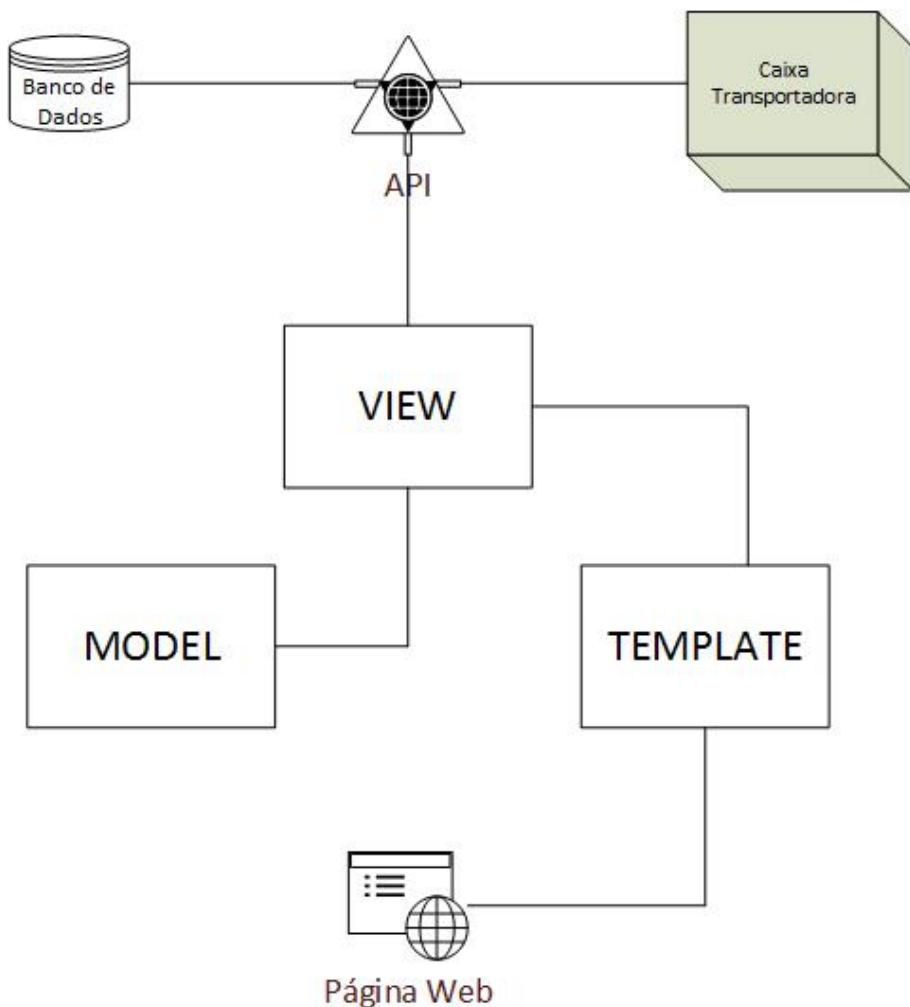


Figura 54 – Arquitetura de Software

#### 4.1.3 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<sup>1</sup>.

A seguir a tela da ferramenta com a api configurada:

The screenshot shows the Postman application interface. The left sidebar lists collections: 'TransOrg' (marked with a star) containing 17 requests, 'Test API' with 'Users' (selected), 'Boxes', 'Transports', 'Reports', and others. The main panel shows the 'User - Create' request under 'POST {{url}}/user'. The 'Body' tab is selected, showing a JSON payload:

```

1: {
2:   "username": "bob",
3:   "password": "123456",
4:   "email": "bob@hotmail.com",
5:   "access_level": "1"
6: }

```

Below the body, there's a 'Response' section with placeholder text: 'Hit the Send button to get a response.' At the bottom are buttons for 'Share', 'Mock', 'Monitor', and 'Document'.

Figura 55 – API do Sistema

<sup>1</sup>Link para a documentação: <https://documenter.getpostman.com/view/579285/transorg/6tXcSQ7>  
Link para o repositório: <https://github.com/TransportadoraOrgaos/restfull-api>

## 4.2 Sistema WEB

### 4.2.1 Diagrama de classes

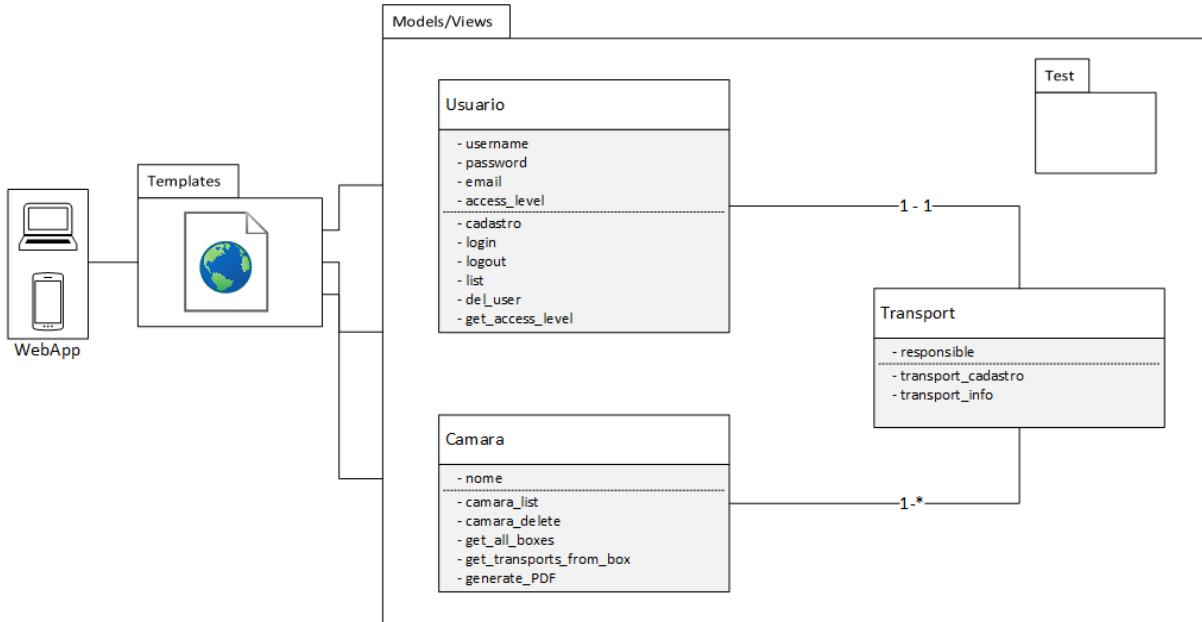


Figura 56 – Diagrama de classes

### 4.2.2 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 57 – Arquitetura de Software

#### 4.2.3 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	X

Figura 58 – Listar usuários

#### 4.2.4 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:

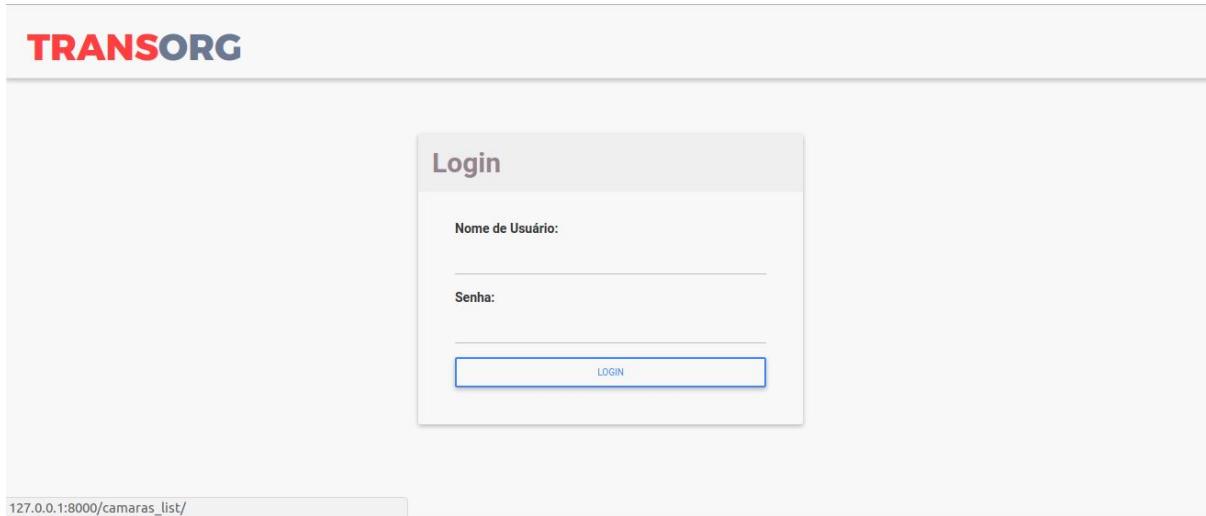


Figura 59 – Login no WebApp

#### 4.2.5 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:

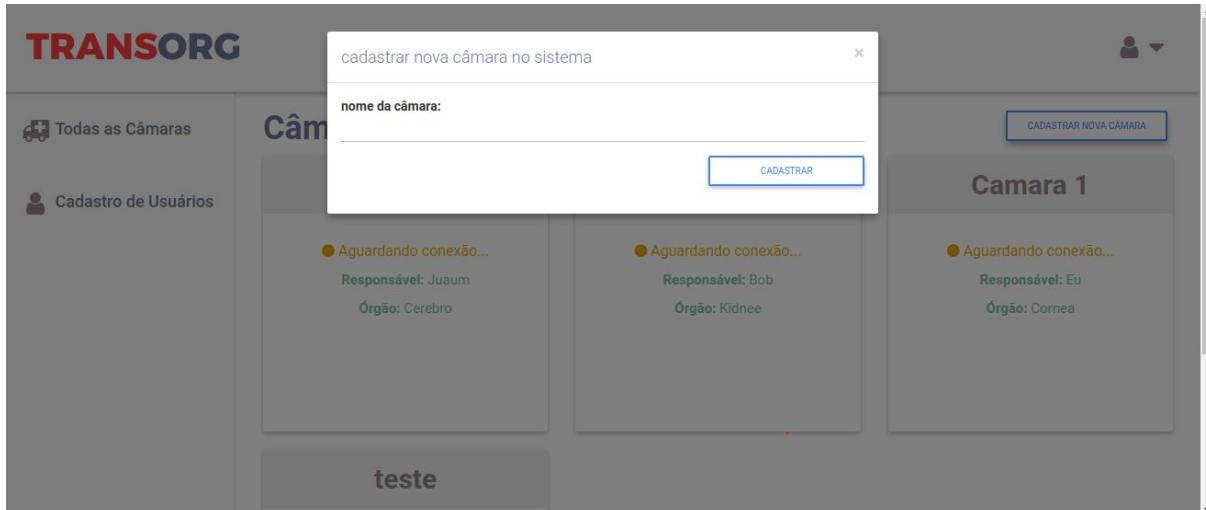


Figura 60 – Cadastro de Câmaras

#### 4.2.6 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 61 – Listar Câmaras

#### 4.2.7 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 62 – Iniciar Transporte

#### 4.2.8 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:

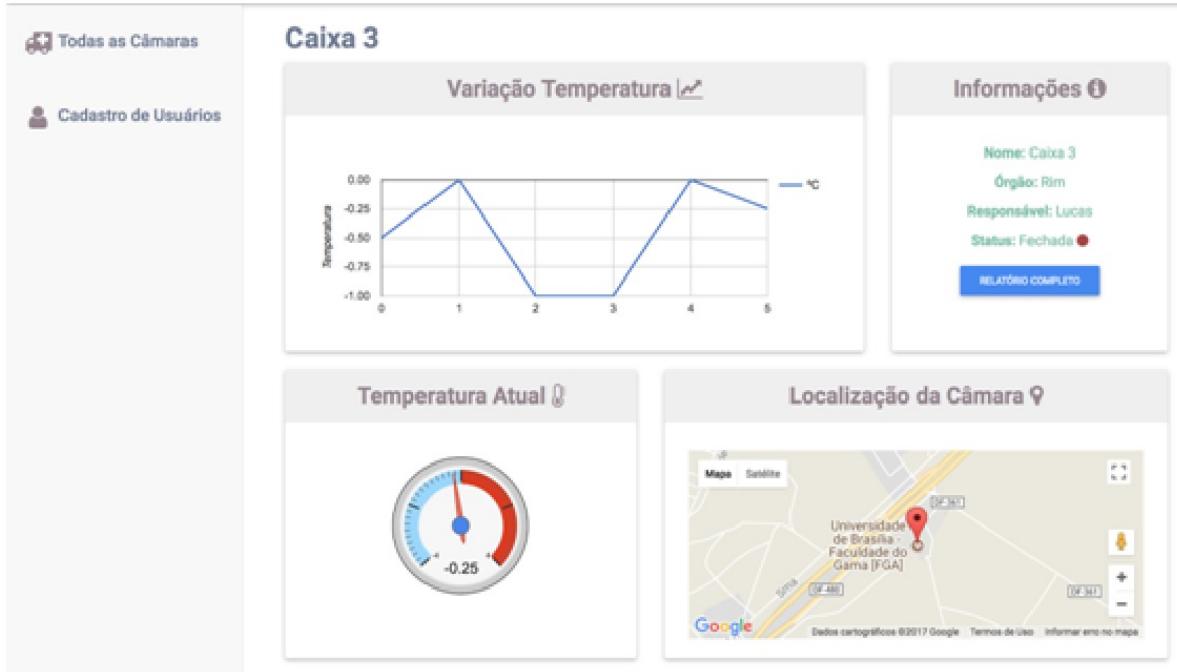


Figura 63 – Câmara de transporte

#### 4.2.9 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:

**Caixa1**

Responsável: João das Couve  
Órgão: Cérebro

Data	Temperatura	Latitude	Longitude	Estava Trancada?
10/05/2017	21.0	1111111111.0	1111111111.0	1

Gerar Relatórios

- Relatório Geral
- Gerar Relatórios De Uma Câmara Específica

**Camara 2**

somefilename.pdf

Exibir todos

Data	Temperatura	Latitude	Longitude	Estava Trancada?
10/05/2017	2.1	1111111111	1111111111	1
10/05/2017	2.0	1111111111.0	1111111111.0	1
10/05/2017	2.0	1111.111111	1111.111111	1
10/05/2017	2.0	1111111111.0	1111111111.0	1

Responsável: Juauim  
Órgão: Cerebro

Figura 64 – Relatórios do sistema

#### 4.2.9.1 Integração contínua

Para o desenvolvimento da aplicação web, foi estabelecido um fluxo de trabalho conforme ilustrado pela figura 65. Para cada desenvolvedor, foi criado uma branch para codificar, rodar os testes automatizados, realizar o commit e dar o push. A cada novo push, era criado uma nova build no travis da branch correspondente. Quando a branch atingia um nível aceitável, o desenvolvedor realizava o merge com a branch development. Uma nova bateria de testes era rodada nessa branch. Ao realizar o push, além de ser criada uma nova build no Travis, era feito o deploy em uma aplicação 'transorg-dev' no Heroku. Quando a branch development atingia um nível estável, era feito um pull request na master. Todos os desenvolvedores deveriam avaliar o pull request antes do merge ser realizado. Uma vez realizado o merge e o push da master, além de ser criado uma nova build no Travis, era feito um deploy na aplicação 'transorg' no Heroku <sup>2</sup>.

<sup>2</sup>Link para o repositório: [https://github.com/TransportadoraOrgaos/pi2-transport\\_orgaos](https://github.com/TransportadoraOrgaos/pi2-transport_orgaos).  
Link para o Travis: [https://travis-ci.org/TransportadoraOrgaos/pi2-transport\\_orgaos/branches](https://travis-ci.org/TransportadoraOrgaos/pi2-transport_orgaos/branches).  
Link para aplicação no Heroku: <https://transorg.herokuapp.com>

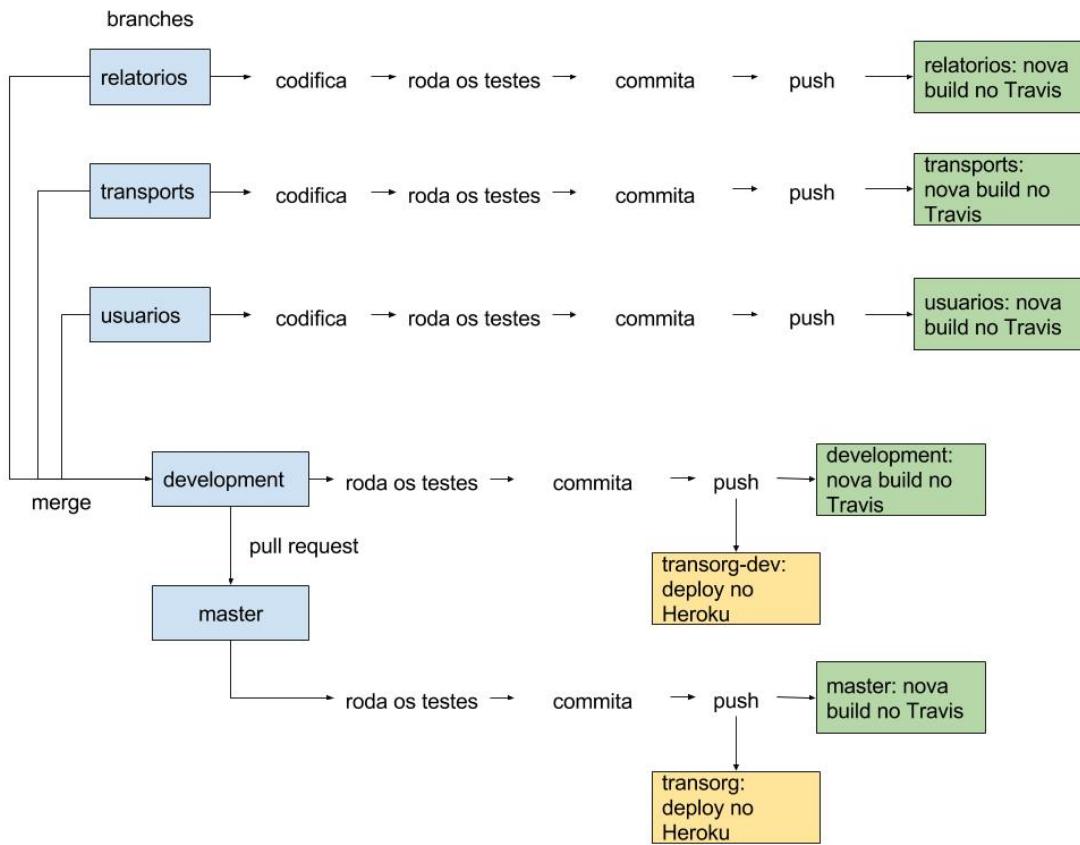


Figura 65 – Integração Contínua

A figura 66 mostra as builds realizadas pelo Travis:

The screenshot shows the Travis CI interface for a repository named 'TransportadoraOrgaos/pi2-tr'. It displays two pull requests: '# 149' and '# 28'. The main focus is on the 'Default Branch' section, which lists the 'master' branch with 30 builds, all of which have passed (# 145 passed), last updated 2 days ago by Lucas Couto. Below this is the 'Active Branches' section, which lists five branches: 'transports', 'development', 'jwt', 'usuarios', and 'relatorios'. Each branch shows its build count and status. For example, 'transports' has 22 builds, all passed (# 149 passed), while 'development' has 38 builds, 143 of which have passed (# 143 passed). A legend at the bottom right indicates that green checkmarks represent successful builds and red X's represent failed ones.

Figura 66 – Builds no Travis

A figura 67 mostra a cobertura do código dos testes realizados:

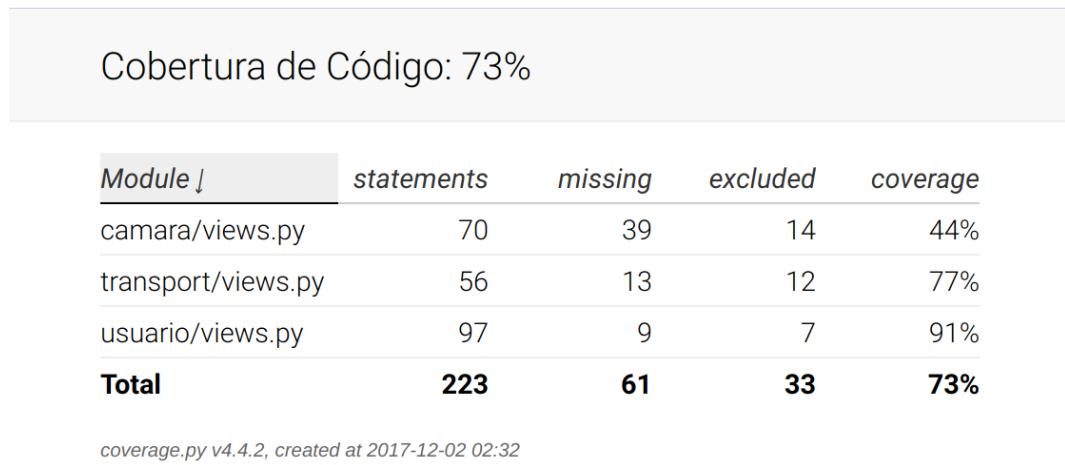


Figura 67 – Cobertura de Código

## 4.3 Sistema de Controle

### 4.3.1 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:

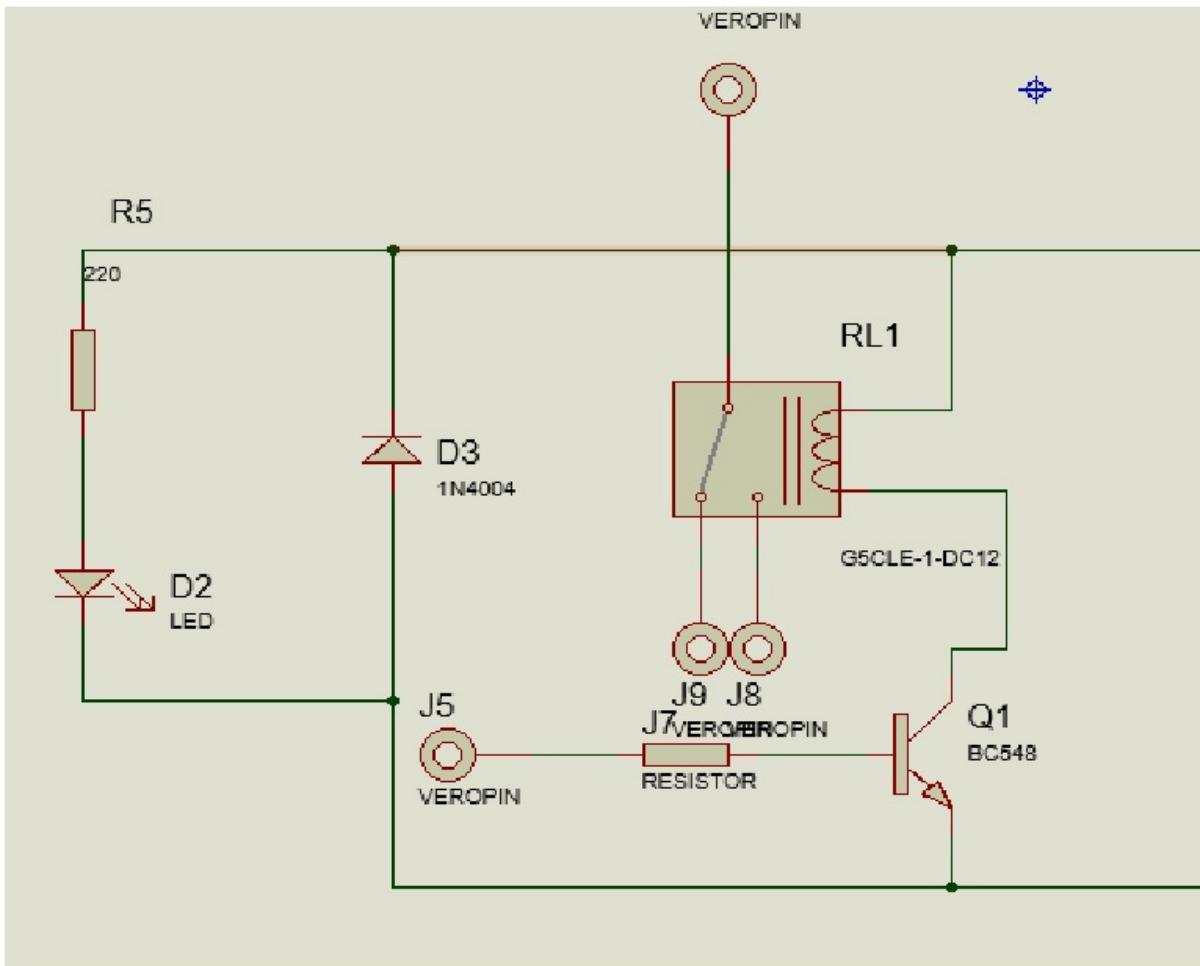


Figura 68 – Diagrama Eletrônico de Controle de Temperatura.

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.

#### 4.3.2 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:

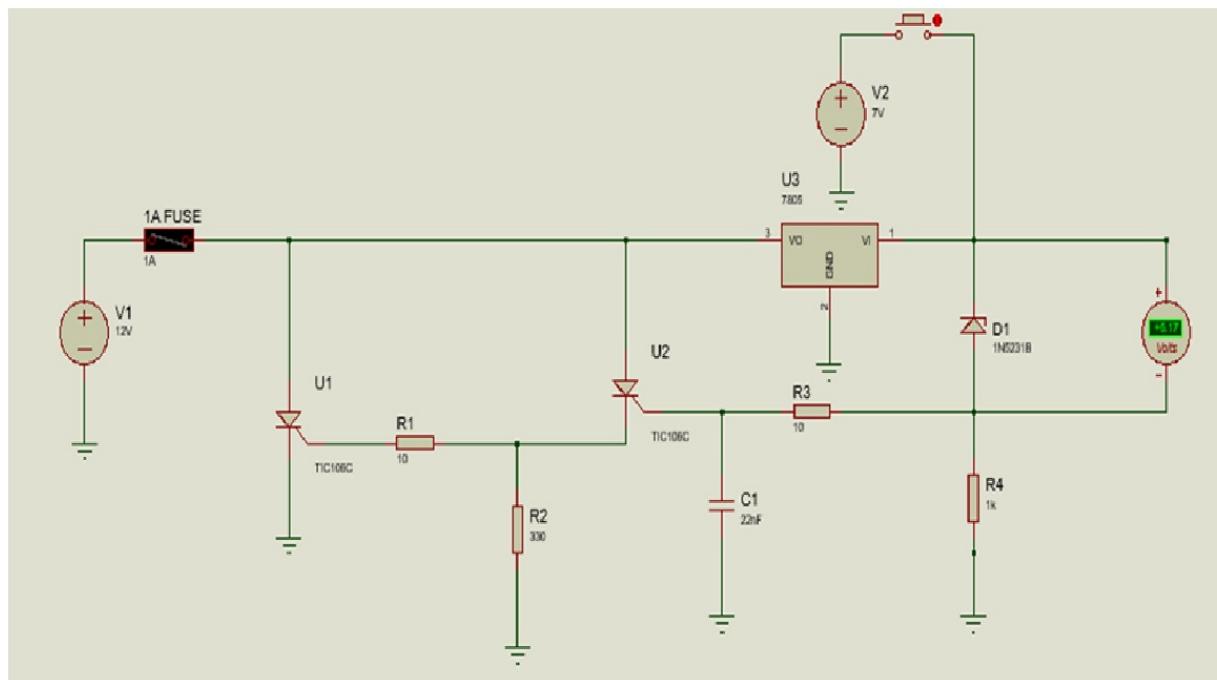


Figura 69 – Circuito de proteção.

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 percloroato de ferro.

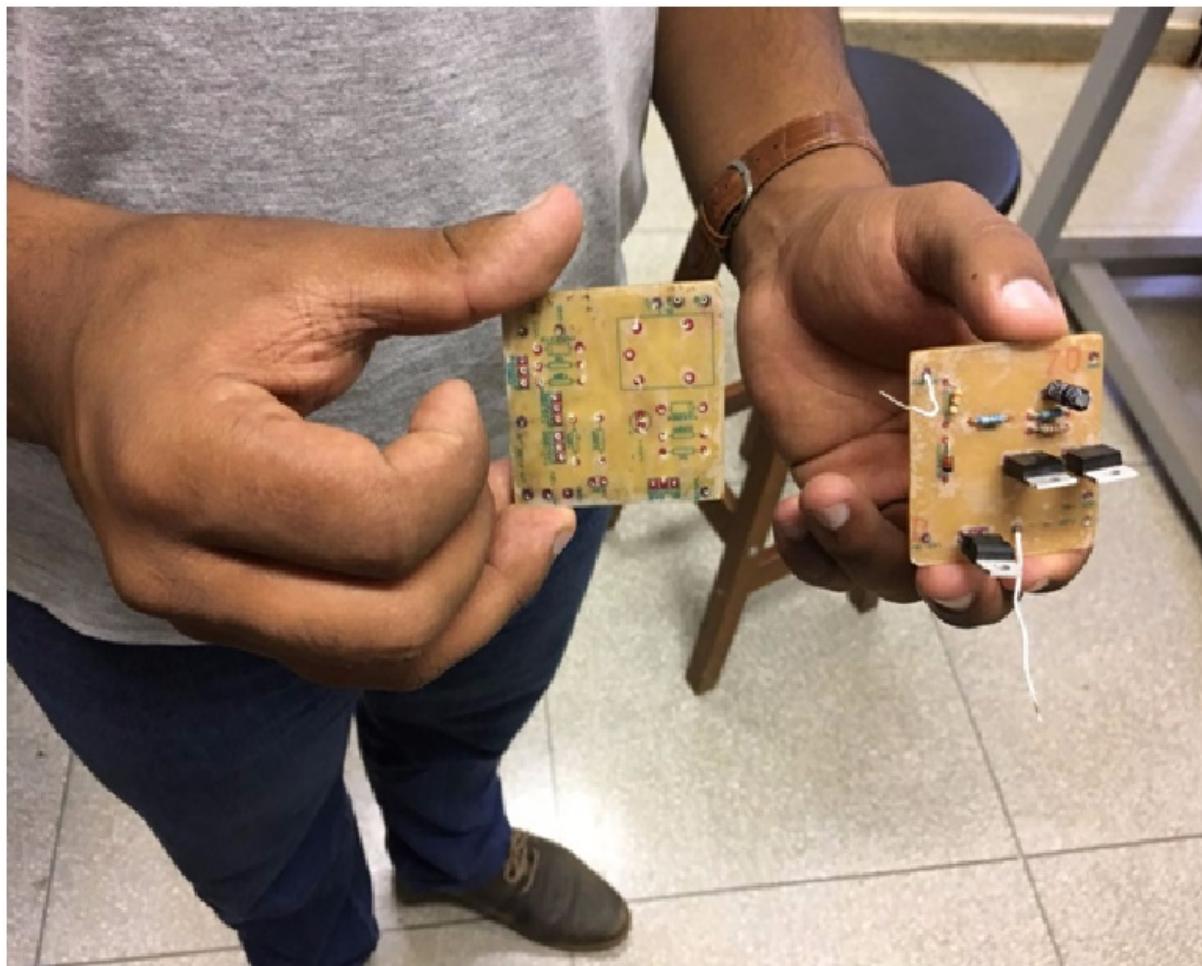


Figura 70 – Placas eletrônicas.

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.

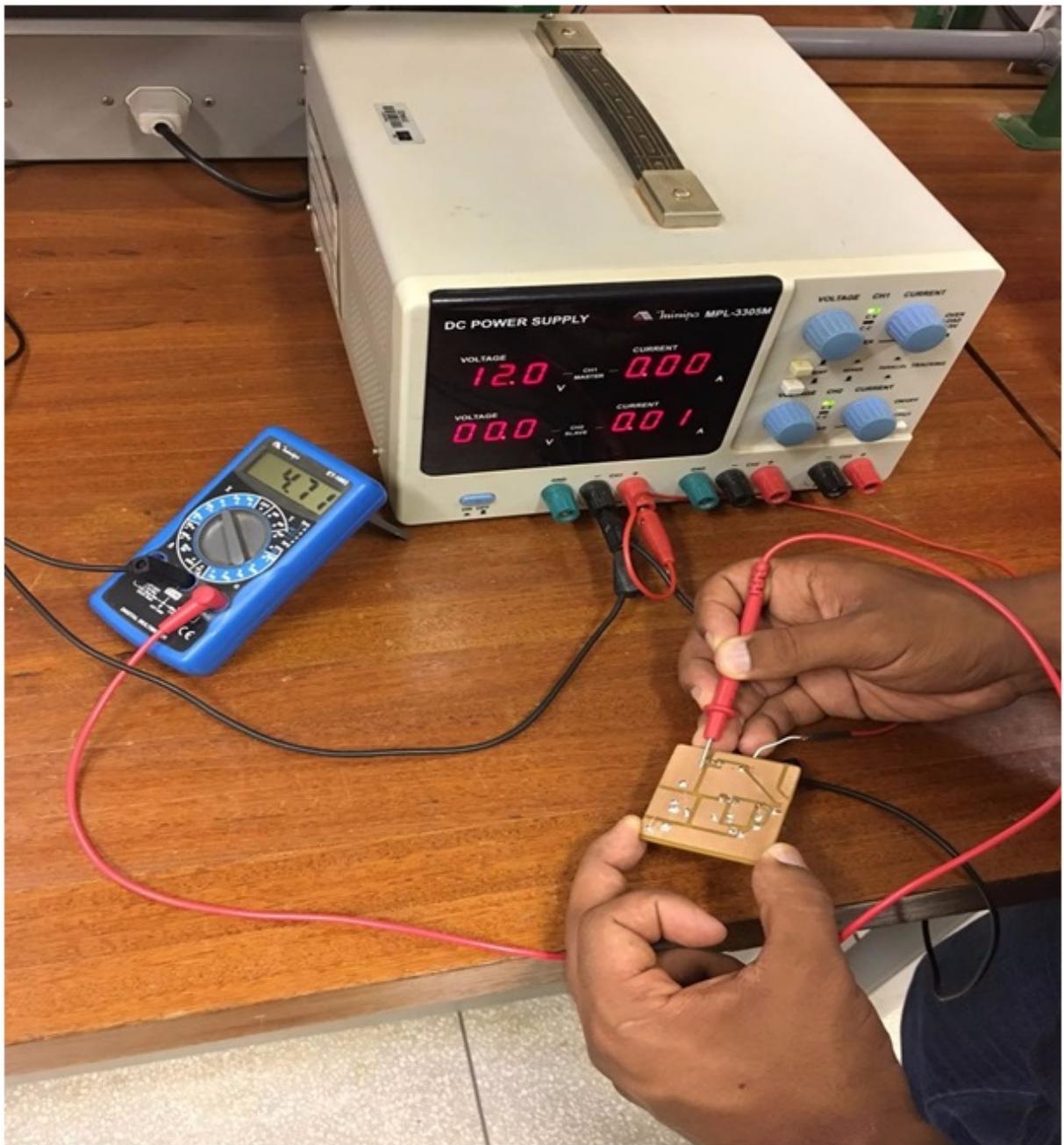


Figura 71 – Testes de bancada com as placas fabricadas.

## 4.4 Alimentação

### 4.4.1 Testes e Resultados do Sistema de Inversor

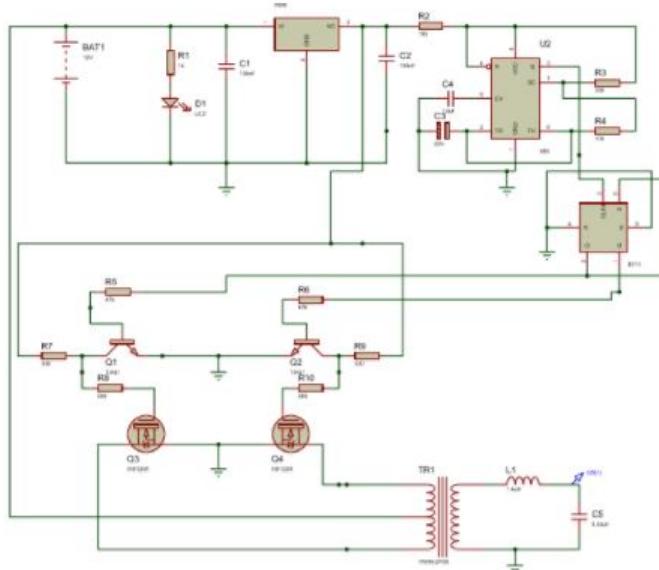


Figura 72 – Circuito do inversor simulado no proteus



Figura 73 – Circuito do inversor simulado no proteus

O inversor foi testado inicialmente em um pequeno transformador de 12V para 127 e apresentou uma nível de tensão adequado 127V, porém neste transformador menor não foi ligado a carga pois este não teria capacidade de suportar a tensão com a carga.

Realizamos então o teste com a bateria veicular e o transformador definitivo e o sistema foi capaz de acionar uma lâmpada e cargas menores, com corrente máxima de saída de 0.85A.

### 4.4.2 Outros Testes Realizados

Foram realizados outros testes com outras topologias de circuito, porém estes se mostraram insuficientes para o projeto, seja pela carga que este era capaz de suportar ou pela frequência não ser adequada e a sua alta sensibilidade a ruídos externos.

Segue algumas imagens de outros inversores confeccionados, 2 deles foram capazes de acionar a cargade uma lampada de 40W, mas não foram capazes de realizara partida do motor.

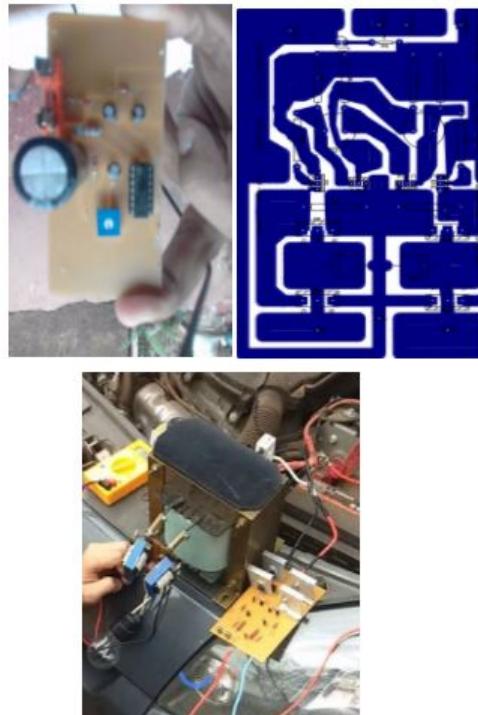


Figura 74 – Layouts e placas de inverter anteriormente testadas

Foram testadas topologias de osciladores com o CI4047 que é um circuito oscilador de onda quadrada ajustável através de um divisor resistivo, porém quando implementado o circuito se mostrou muito instável na frequência de saída, oscilando entre 56Hz e 62Hz, como o CI4047 não possuia modelo de simulação nem no multisim nem no proteus este circuito não foi simulado.

Isso poderia fazer com que os transistores entrassem em curto circuito caso houvesse encontro entre as fases das duas ondas e os testes foram parados para que o banco de potência não fosse danificado.

Também foi testado um circuito com osciladores BC447 e capacitores, que funcionou de com uma frequência próxima de 55 Hz e possuía uma baixa capacidade de fornecer corrente, quando a carga de 40W da lâmpada foi inserida na sua saída, sua tensão abaixou para 114V e a lâmpada ficou vibrando e em luminosidade alta.

Dessa forma o banco de potência se mostrou insuficiente para gerar a corrente necessária para alimentar a carga.

#### 4.4.3 Dificuldades do projeto do inveror

Durante a confecção e testes do inveror, foram encontradas várias adversidades que dificultaram e atrasaram o processo de fabricação do inveror, a primeira delas é a dificuldade de encontrar componentes eletrônicos para esta aplicação no mercado brasileiro. Pois, o inveror necessita de componentes de alta potência e baixa dissipação térmica quando há passagem de corrente.

Outra dificuldade foi a falta de um laboratório apropriado para trabalhar com circuitos de alta

tensão e circuitos de potência, afinal os osciloscópios da UnB - FGA não dispõem de cabos com atenuadores para que seja possível observar uma forma de onda na saída do inversor.

Além da falta de placas de prototipagem adequadas para circuitos de alta corrente também atrasou o projeto, afinal qualquer teste que fosse feito demandava a elaboração de uma placa de circuito impresso, o que atrasava todo o processo de prototipagem.

Sendo assim, após o estudo e testes dos vários tipos de inversores, evidenciou-se que seria inviável a fabricação de um inversor com o peso conforme os requisitos de projeto e que atendesse as necessidades do sistema, sendo ainda este composto de vários sistemas de proteção e uma corrente estabilizada.

Sendo assim, após o estudo e testes dos vários tipos de inversores, evidenciou-se que seria inviável a fabricação de um inversor com o peso conforme os requisitos de projeto e que atendesse as necessidades do sistema, sendo ainda este composto de vários sistemas de proteção e uma corrente estabilizada.

Seria necessário um maior tempo de estudo e importação de componentes tais como L6386 que é um driver da STD Electronics próprio para trabalhar altas tensões e temperaturas e com um encapsulamento pequeno e transistores de alta potência para substituir os IRFZ3208 e que possuam uma característica de aquecimento quanto passagem de corrente menor como o transistor IRFP4759BPF, também seria ideal que os componentes do filtro fossem encomendados sob medida para que este ocupe um menor espaço.

Por este motivo foi realizada a compra de um inversor com potência superior ao necessário, como forma de segurança de projeto, para a partida do compressor. A potência necessária para a partida do compressor, já especificada anteriormente é de aproximadamente 1.100W, entretanto foi implementado um modelo de inversor com potência de pico de 3.000 W, com peso de 2.1 kg.

#### **4.4.4 Inversor Implementado**

O inversor implementado é, como demonstrado FIGURA XX, da marca Gilgal com capacidade de transformar uma tensão de 12 V para uma de 220V e capacidade de potência de 3.000 W. Possui características como um botão de liga e desliga, entrada de energia e porta USB. Pode aguentar valores de pico altos de até 3.000W, porém diferente de uma ligação direta, onde existe um pico momentâneo de corrente, esse inversor usa uma ativação soft starter, onde aos poucos chega até a corrente necessária para ativação.

Diferente de uma ligação direta, que age como um degrau em sua ativação, o soft starter, faz uma ativação em forma de rampa, o que não exige tanto dos equipamentos em relação ao pico existente, que pode aumentar muito a corrente por alguns segundos e inviabilizar grande parte dos componentes.



Figura 75 – Inversor utilizado no projeto

#### 4.4.5 Testes e Resultados do Sistema de Alimentação

Para a verificação do funcionamento em conjunto da bateria, inversor, compressor, dissipador e micro motor, alguns testes foram realizados previamente na Faculdade do Gama da UnB, local que a estrutura estava sendo montada. A medição de tensão foi realizada para verificar se atendia ao valor necessário.



Figura 76 – Teste Sistema de Alimentação Implementado.

Os equipamentos reagiram bem e todos em conjunto, a partida realizada foi em rampa, e não a direta, já que o inversor comprado também possui um soft starter, evitando o problema da alta corrente de pico. Um fator que facilitou a integração com os outros componentes eletrônicos foi também a existência de entrada USB, compatível com parte do material utilizado.

A bateria utilizada, nos testes e implementada no sistema, é da marca Heliar e possui capacidade de 50A/h, valor que atende a demanda exigida pela transportadora de órgãos. Entretanto, alguns

problemas surgiram com o descarregamento desta, fator que causa uma oscilação na alimentação e pode danificar dispositivos mais frágeis, como o GPS. Este problema pode ser resolvido, utilizando uma bateria extra de menor capacidade exclusivamente para o componente.

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

### 4.5.1 Compartimento de carga

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

#### 4.5.1.1 Requisitos

O compartimento de carga deve ser:

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

#### 4.5.1.2 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.

#### 4.5.1.3 Fabricação

##### Materiais Utilizados:

- Chapa de alumínio série 5000 de 1m x 1m com 2 mm de 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° 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.

#### 4.5.1.4 Resultados



Figura 77 – Produto final do compartimento de carga.

#### 4.5.2 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.

##### 4.5.2.1 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 em excesso com o deslocamento da transportadora;
- Fixa na estrutura principal, porém seu topo deve ser acessível do lado externo.

#### 4.5.2.2 Design

- **Caixa:** Similarmente ao compartimento de carga, a câmara de resfriamento foi projetada com formato cúbico. 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, uma placa de isopor de mesmas dimensões para isolamento térmico e revestimento de PVC no topo e nas laterais para proteção e acabamento. O lado interno da tampa contém apoadores para a caixa interna.
- **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, incluindo a tampa.
- **Apoios do compartimento de carga:** Para gerar melhor estabilidade para o compartimento de carga, a câmara de resfriamento possui suporte e guias para apoiar a caixa interna.
- **Fixadores:** Assim como o compartimento de carga, a tampa da câmara de resfriamento é fechada por presilhas. Na câmara são utilizadas 4 presilhas, uma em cada lado do topo revestido da tampa, prendendo-a linearmente ao topo da estrutura.

#### 4.5.2.3 Fabricação

##### Materiais Utilizados:

- Chapa de aço inox 304L de 1m x 2m com 1,2 mm de espessura;
- Placa de Isopor de 5 cm de espessura;
- Borrachas;
- Presilhas;
- Chapa de aço Metalon de 2 mm de espessura;
- Placa de PVC com 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° 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 em L para formar a base do apoiador da caixa interna, furando e rebitando no fundo da caixa. Uma placa quadrada de PVC foi posicionada na base, e tiras de PVC de aproximadamente 5 cm de largura foram fixadas nas laterais da câmara como guias para o posicionamento da caixa interna.
6. Placas de isopor foram coladas, utilizando silicone, revestindo a caixa completamente, com excessão do topo.
7. Foi fabricada a tampa colando uma placa de isopor em uma placa de aço inox e revestindo as laterais e o outro lado do isopor com placas de PVC. No lado de PVC da tampa, foram fixados os fechos e a alça.

#### 4.5.2.4 Resultados



Figura 78 – Câmara de resfriamento durante a fabricação e produto final.

#### 4.5.3 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 esforços.

##### 4.5.3.1 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, a bateria e os subsistemas eletrônicos;
- Possuir apoios adequados para levantamento manual;
- Ser móvel.

##### 4.5.3.2 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 a inferior comporta o compressor, o sistema de

alimentação e os sistemas eletrônicos. A estrutura também possui 4 alças, dois pares localizados em lados opostos.

- **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.
- **Sistema amortecedor:** Para maior segurança do órgão, a estrutura possui um sistema de amortecimento de vibrações composto por 4 amortecedores localizados entre o final da estrutura e as rodas.
- **Revestimento:** Toda a estrutura é revestida por paredes de PVC, sendo uma parte dela removível para que se possa fazer manutenção dos sistemas internos.

#### 4.5.3.3 Fabricação

##### Materiais Utilizados:

- Aço estrutural Metalon 20 x 20 x 1,2 mm;
- Chapa de aço carbono de 20 x 20 x 1,2 mm;
- Chapa de aço de 2 mm de espessura;
- Rodas
- Amortecedores
- 
- Chapa de PVC de espessura 2 mm.

##### 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. As placas de aço carbono de fixação do sistema compressor e da barteria foram fixadas com rebites nos buracos feitos na estrutura com uma furadeira.
5. Barras de metalon foram cortadas e soldadas para formar as 4 alças da estrutura. Estas alças foram soldadas nas barras superiores e do meio da estrutura em 2 lados opostos.
6. Na parte inferior da estrutura foram soldadas placas triangulares de aço nos cantos, nas quais os amortecedores foram presos.

7. Barras de aço metalon foram cortadas e soldadas formando um quadrado e depois foram feitas 4 peças em formato L do mesmo material, as quais foram soldadas nos cantos do quadrado.
8. O lado livre dos amortecedores foi parafusado nos cantos do quadrado, de modo que estes ficaram entre a parte inferior da estrutura e o quadrado. As rodas foram presas, com parafusos, nas peças em L soldadas no quadrado.
9. As placas de PVC foram cortadas e rebitadas na estrutura cercando-a completamente, com exceção de uma secção quadrada cujo tamanho é a metade de um dos lados. Esta secção é presa à estrutura por velcro, de modo que pode ser facilmente removida para que o interior da transportadora seja acessado, na parte que contém o sistema de alimentação e sistemas eletrônicos.

#### 4.5.3.4 Resultados



Figura 79 – Estrutura principal sem o revestimento



Figura 80 – Sistema de amortecimento



Figura 81 – Produto final da estrutura

#### 4.5.4 Sistema de amortecimento

##### 4.5.4.1 Análise computacional de vibrações da estrutura

Importação do modelo para o software Ansys:

1. Aplicando material em cada componente

- Estrutura: aço estrutural
- Câmara interna: alumínio
- Câmara externa: aço inoxidável

2. Aplicação das conexões no modelo sem amortecimento

- Estrutura e Câmara Externa: joint fixa
- Câmara Interna e Externa: joint fixa
- Base da estrutura e solo: joint fixa

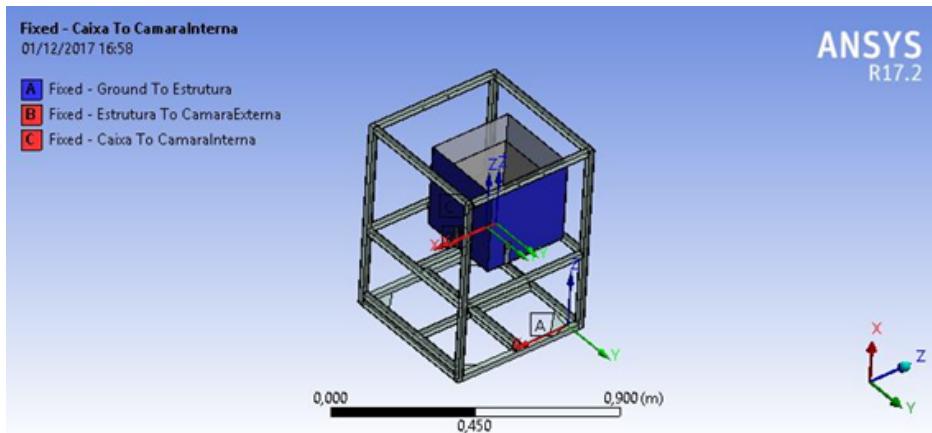


Figura 82 – Conexões no modelo sem amortecimento.

### 3. Aplicação das conexões no modelo com amortecimento

- Estrutura e Câmara Externa: joint fixa
- Câmara Interna e Externa: joint fixa
- Base da estrutura e solo: joint fixa
- Base da estrutura e estrutura: spring

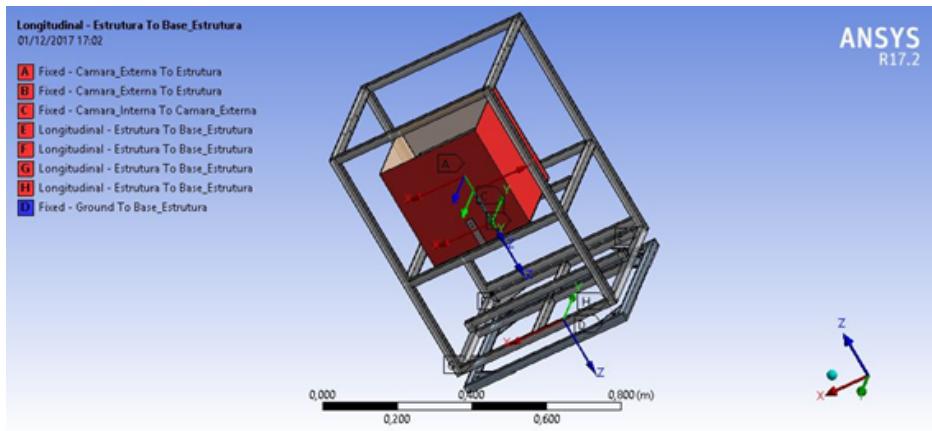


Figura 83 – Conexões no modelo com amortecimento.

### 4. Criação da malha

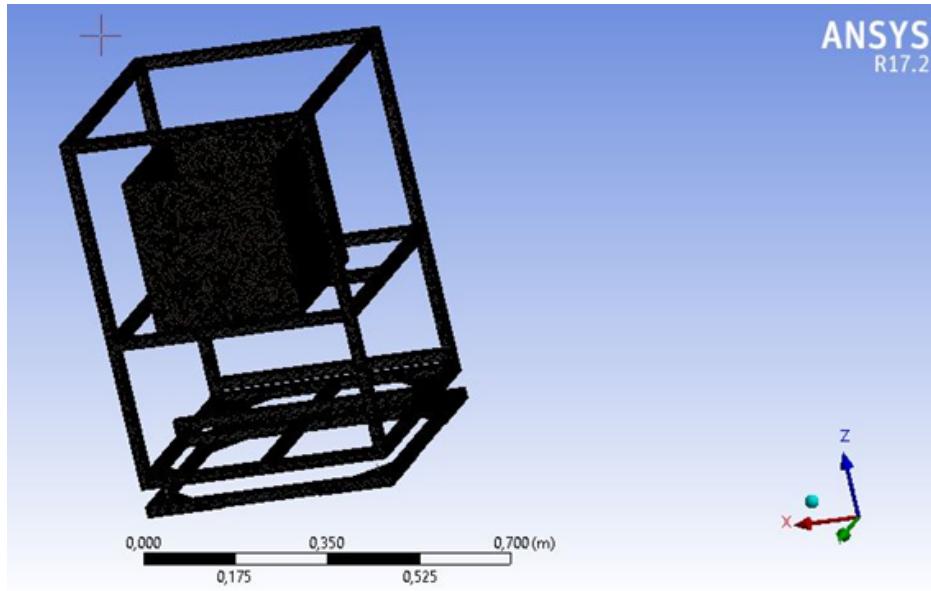


Figura 84 – Malha do utilizada no modelo.

##### 5. Analise modal sem amortecimento

- Deslocamento restrito à vertical

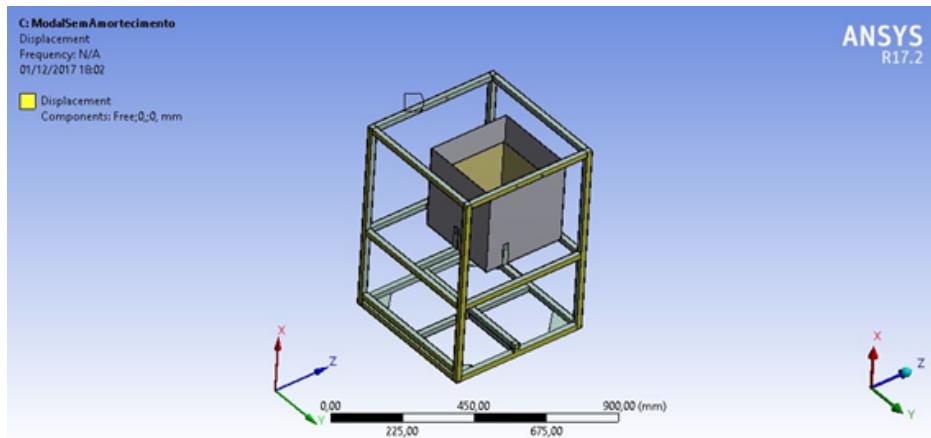


Figura 85 – Restrição de deslocamento para modelo sem amortecimento.

- Como solução foi obtido os dez primeiros modos de vibração assim como suas frequências naturais.

Tabela 19 – Resultados para os seis primeiros modos de vibração.

Modo de vibração	Frequência [Hz]	Deslocamento [mm]
1º	236,38	768,43
2º	246,25	683,05
3º	335,82	597,67
4º	568,46	512,29
5º	572,86	426,91
6º	600,57	341,53

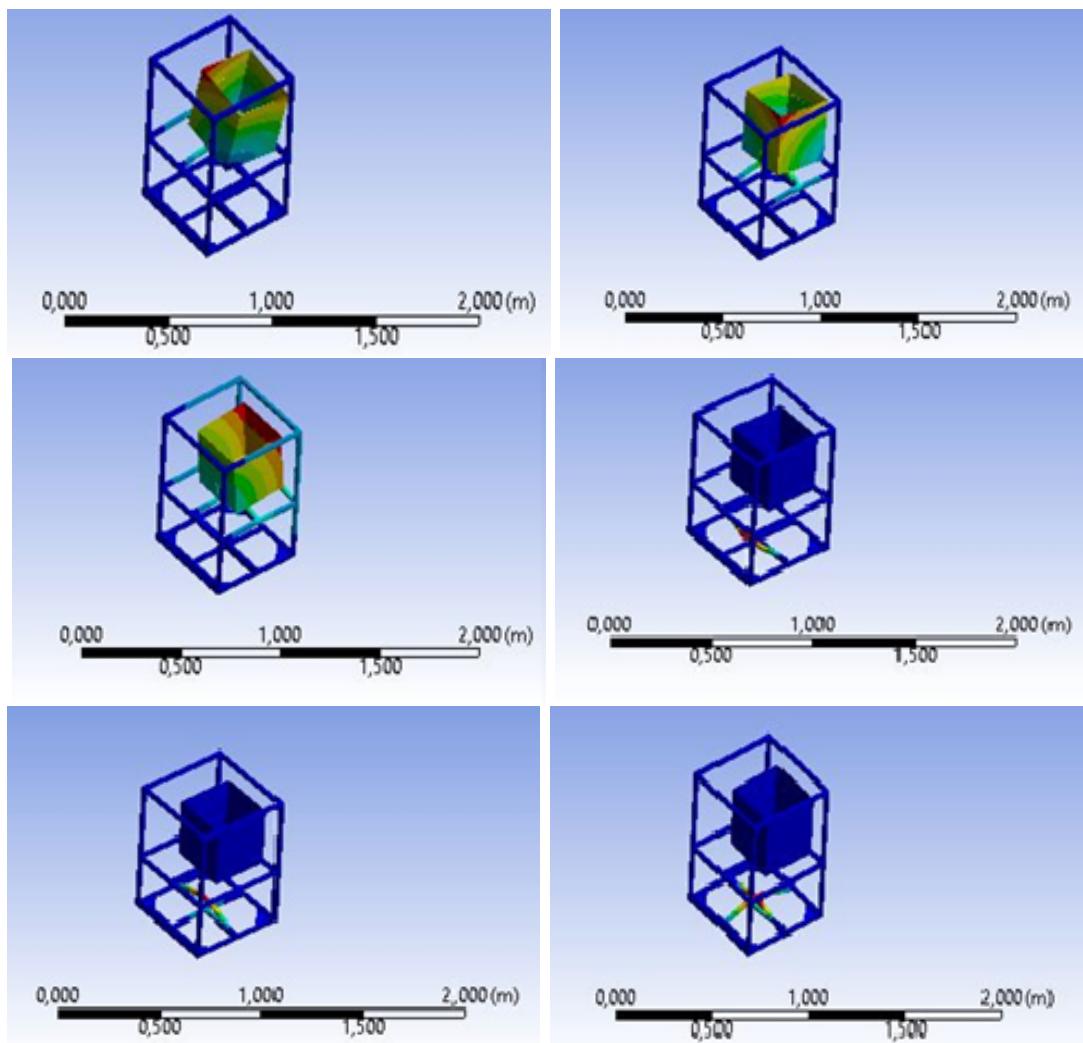


Figura 86 – 6 primeiros modos de vibração.

#### 6. Analise modal com amortecimento

Para considerar o amortecimento foram obtidos de cálculos analíticos a constante de amortecimento e a constante de mola para o coxim de borracha natural.

Constante de amortecimento = 2239,04 [N.s/m]

Constante de mola = 73080 [N/m]

- Deslocamento restrito a vertical

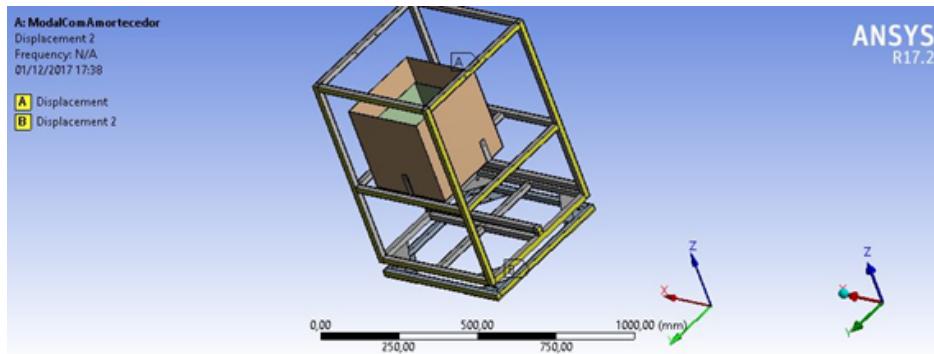


Figura 87 – Restrição de deslocamento para modelo com amortecimento.

- Como solução, foi obtido os dez primeiros modos de vibração assim como suas frequências naturais.

Tabela 20 – Resultados utilizando o modelo com amortecimento.

Modo de vibração	Frequências [Hz]	Deslocamento máximo [mm]
1º Modo	20,621	7,66
2º Modo	207,86	22,6
3º Modo	221,98	22,7
4º Modo	396,37	15,49
5º Modo	560,99	85,03
6º Modo	572,98	78,83

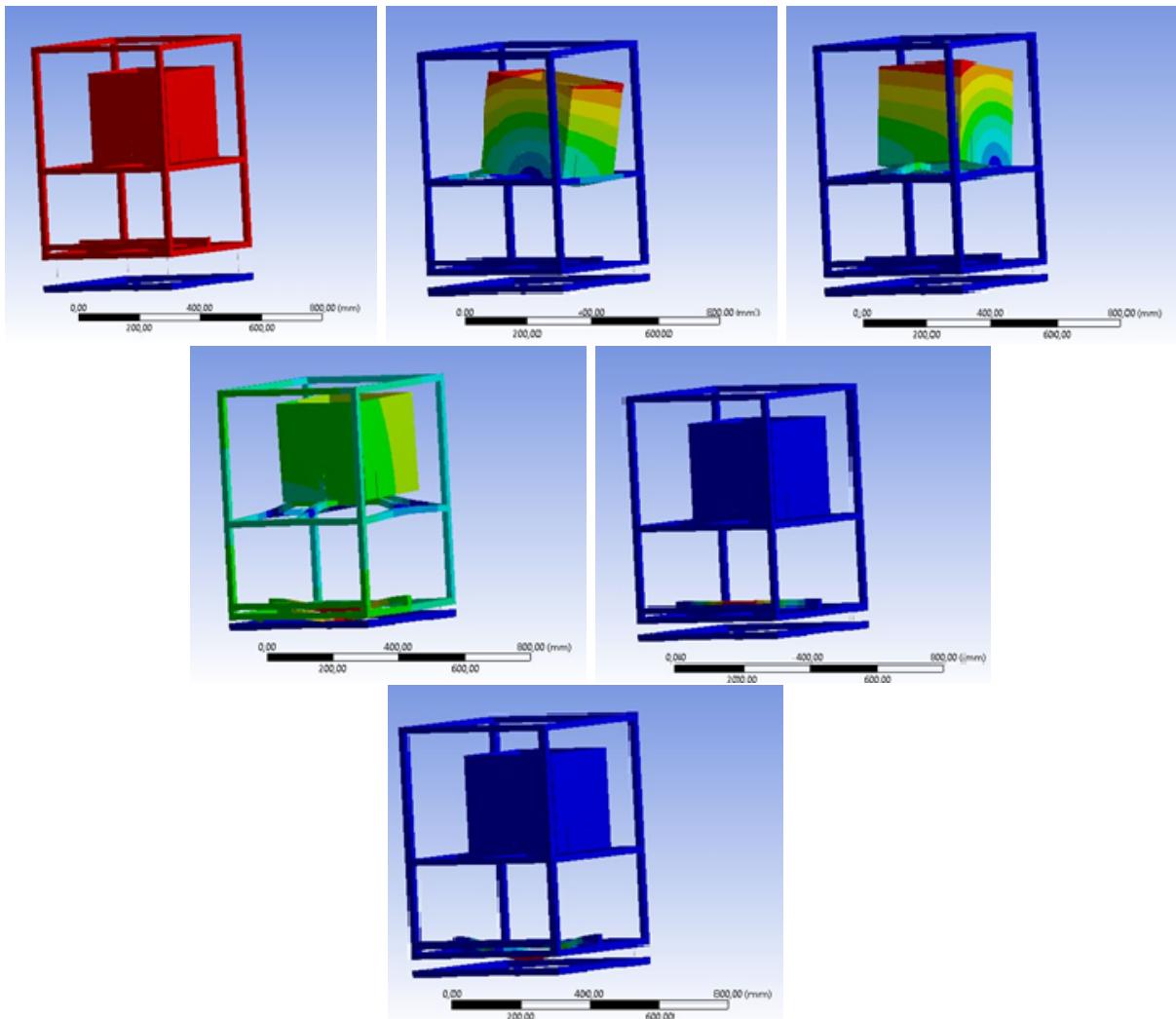


Figura 88 – 6 primeiros modos de vibração com amortecimento.

Assim, concluímos que o sistema de amortecimento proposto para o projeto é satisfatório, pois os valores de deslocamento com o sistema de amortecimento foram mais baixos que os valores de deslocamento para o sistema sem amortecimento.

#### 4.5.4.2 Dimensionamento do coxim

Quando se fala em componentes de amortecimento a dureza é um importante parâmetro a ser levado em conta no dimensionamento de componentes. Existem várias escalas utilizadas para definir o grau de dureza de uma borracha. Aqui utilizaremos a escala Shore A, que é mais utilizada em borrachas macias.

Dureza (sensitiva)	Dureza Shore A
Muito Macia	Inferior a 40
Macia	40-60
Média	60-75
Dura	75-90
Muito Dura	90-100

Figura 89 – Classe de dureza de acordo com a maciez da borracha.

Informações iniciais:

- Dureza = 55 Shore A.  $E_c = 30,5 \text{ kgf/cm}^2 = 2,991 \text{ MPa}$ ;
- Diâmetro = 2,3 cm;
- Comprimento = 3,4 cm;
- Quantidade de coxins = 4;
- Massa suspensa = +- 50 kg;
- Deflexão = 1,4 mm/70 kg.

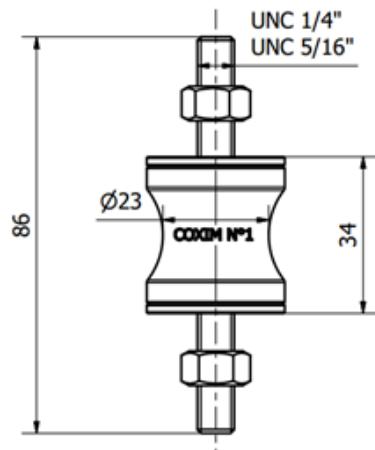


Figura 90 – Coxim escolhido para o projeto.

- Dimensionamento estático:

Fator de forma:

$$F_f = A_s/A_l = \text{adimensional}$$

$A_s$  = área superficial solicitada por um ou mais forças  $\text{cm}^2$

$A_l$  = somatória das áreas livres da mola =  $\text{cm}^2$

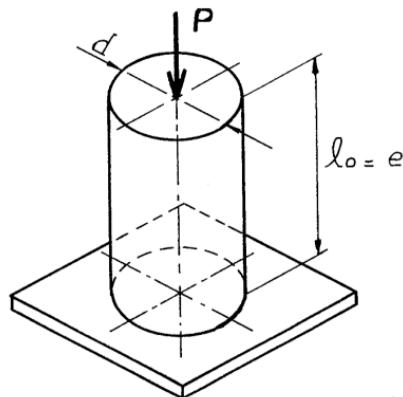


Figura 91 – Forma geométrica cilíndrica.

$$F_f = \frac{d}{4 \cdot l_0} = \frac{2,3}{4 \cdot 3,4} = 0,17$$

Procedimento para determinação do coeficiente de rigidez do coxim selecionado:

Solicitação por compressão (carga máxima em cada coxim):

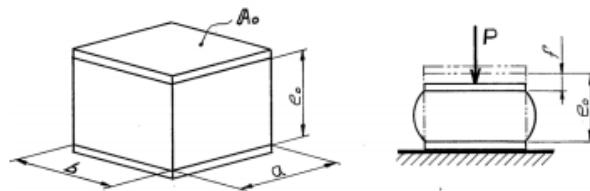


Figura 92 – Solicitação da mola por compressão.

Área de sessão transversal da borracha:

$$A_0 = \pi \frac{d^2}{4} = \pi \frac{2,3^2}{4} = 4,15 \text{ cm}^2$$

Tensão por compressão (carga máxima suportada):

$$\sigma_c = \frac{P}{A_0} = \frac{70}{4,15} = 16,87 \frac{\text{kgt}}{\text{cm}^2}$$

Encruamento devido a solicitação da carga:

$$f = \frac{P \cdot e_0}{A_0 \cdot E_c} = \frac{70 \cdot 3,4}{4,15 \cdot 30,5} = 1,88 \text{ cm}$$

Deformação devida a solicitação da carga:

$$\epsilon_c = \frac{f}{e_0} = \frac{0,94}{3,4} = 0,55$$

Coeficiente de rigidez:

$$K = E_c \frac{A_0}{e_0} = \frac{30,5 \cdot 4,15}{3,4} = 37,23 \frac{kgf}{cm} = 36,5 \frac{kN}{m}$$

- Dimensionamento dinâmico:

Frequência oscilatória natural:

$$f_n = \frac{1}{T_n} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} [Hz]$$

$$m = massa = \frac{P}{g} [utm]$$

$$g = aceleração da gravidade = 981 \left[ \frac{cm}{s^2} \right]$$

$$T_n = período de um ciclo completo da frequência natural = [s]$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{70,40}{\frac{70}{981}}} = 5 [Hz]$$

$$T_n = \frac{1}{f_n} = \frac{1}{5} = 0,2 [s]$$

Ressonância corre quando:

$$\frac{f_e}{f_n} = 1$$

$$f_e = frequência de excitação = [Hz]$$

X	Vt	Amortecimento %
1,000	Ressonância	Colapso
1,414	100 %	0
1,500	80 %	20
2,000	33,4 %	66,6
3,000	12,5	87,5
4,000	7,0%	93

Figura 93 – Vibração transmitida em função da razão de vibração.

O correto dimensionamento de componentes da suspensão parte do estudo dinâmico de seus componentes. O principal parâmetro a ser dimensionado é o coeficiente de amortecimento do amortecedor. Para o estudo consideraremos o modelo de 1/4 de veículo, como mostra a figura 94.

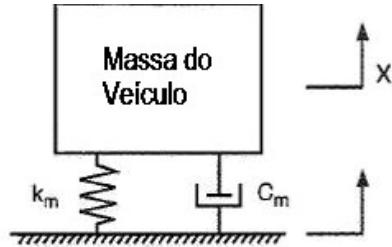


Figura 94 – Modelo de 1/4 de veículo.

A partir deste modelo podemos retirar a equação de movimento do sistema:

$$m\ddot{x} + C\dot{x} + kx = 0 \quad (4.1)$$

$$C = 2\xi w_N \quad (4.2)$$

$$k = w_N^2 \quad (4.3)$$

Podemos reescrever a equação (4.1) como:

$$m\ddot{x} + 2\xi w_N \dot{x} + w_N^2 x = 0 \quad (4.4)$$

A solução para o caso sub-amortecido é:

$$x = x_0 e^{-\xi w_N t} \sin(w_D t + \Phi) \quad (4.5)$$

A solução para o caso não amortecido:

$$x = x_0 \sin(w_N t + \Phi) \quad (4.6)$$

Sabemos que:

$$w_D = w_N \sqrt{1 - \xi^2} \quad (4.7)$$

Onde:

$w_D$  = frequência natural amortecida

$w_N$  = frequência natural não amortecida

$\xi$  = fator de amortecimento

A frequência natural não amortecida é obtida através da seguinte equação:

$$w_N = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.8)$$

Onde:

$K$  = constante elástica da mola  $\left[\frac{N}{m}\right]$

$m$  = massa amortecida [kg]

O fator de amortecimento ( $\xi$ ) caracteriza a resposta da massa suspensa no tempo durante uma perturbação e pode ser representada matematicamente como a relação entre o coeficiente de amortecimento (C) e o coeficiente de amortecimento crítico ( $C_{crit}$ ).

$$\xi = \frac{c}{c_{crit}} = \frac{c}{\sqrt{2km}} \quad (4.9)$$

Com base nas informações acima podemos calcular o coeficiente de amortecimento para o amortecedor adequado ao projeto.

Escolhendo o fator de amortecimento de 0,7 pelo fato dele proporcionar uma única oscilação antes da estabilização, a massa de 70 kg e a constante elástica da mola de 73,08 kN/m, podemos calcular o coeficiente de amortecimento para o amortecedor a partir da equação (4.9):

$$c = \xi\sqrt{2km} = 0,7 \cdot \sqrt{2 \cdot 73080 \cdot 70} = 2239,04 \left[\frac{Ns}{m}\right]$$

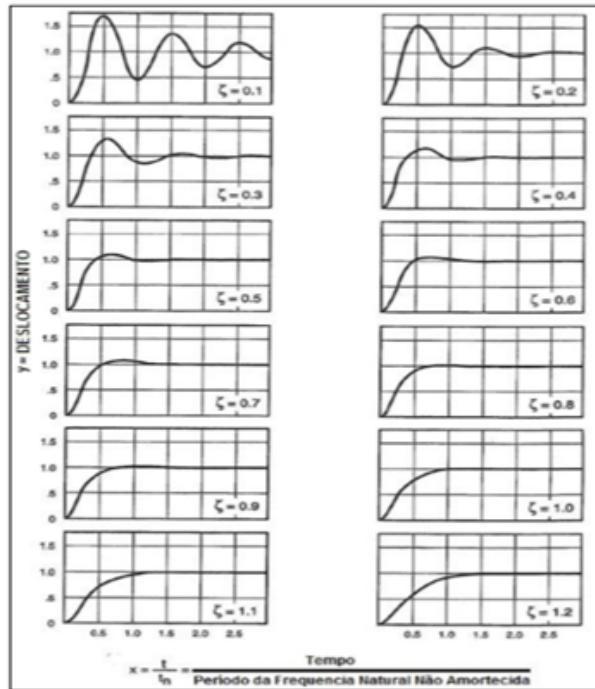


Figura 95 – Resposta do sistema para alguns fatores de amortecimentos.

#### 4.5.4.3 Teste e validação do sistema

Após a fabricação e integração da estrutura, foram realizados dois testes para obter as frequências de vibração no interior da caixa na qual o órgão é transportado. O teste foi feito empurrando a estrutura por 3 m em dois tipos de piso, um piso externo de cimento e um piso interno semelhante a piso hospitalar. O primeiro teste foi feito sem o sistema de amortecimento e o segundo com o sistema. Os resultados foram obtidos por um aplicativo para celular Android chamado VibSensor, o qual utiliza o acelerômetro

embutido do aparelho para obter dados de aceleração em três eixos de coordenadas. Os resultados, em gráfico para os testes foram:

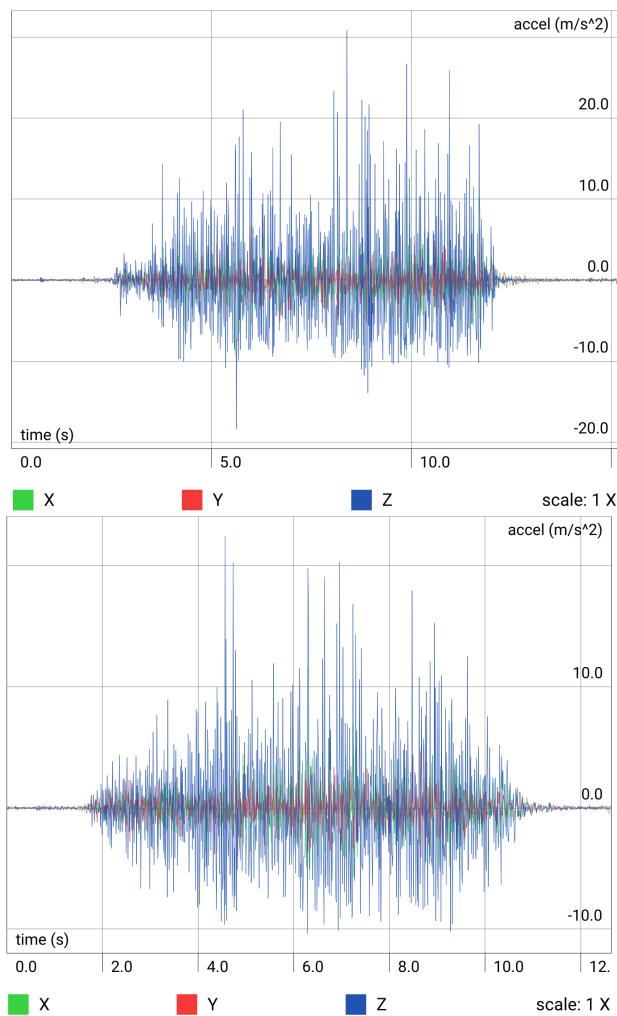


Figura 96 – Resultado de aceleração antes e depois da aplicação do amortecimento para teste em piso externo.

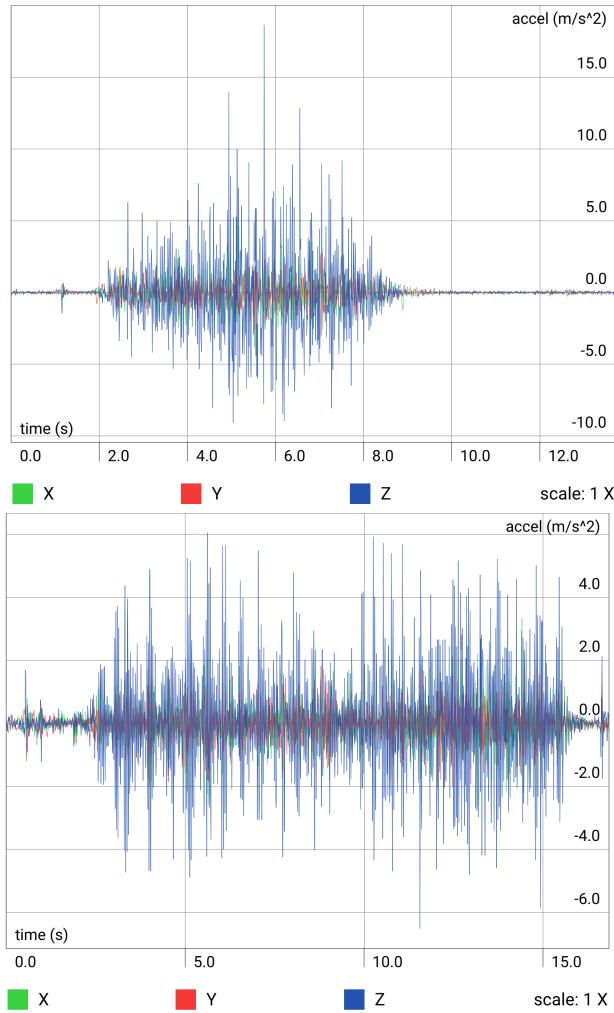


Figura 97 – Resultado de aceleração antes e depois da aplicação do amortecimento para teste em piso interno.

Tabela 21 – Resultados de vibração obtidos no teste

Configuração do Teste	Maior aceleração obtida [2]	Frequência [Hz]
Em piso externo sem amortecimento	30	10,47
Em piso externo com amortecimento	22	9,927
Em piso interno sem amortecimento	18	12,39
Em piso interno com amortecimento	6	8,195

Observando os valores de aceleração, é notável a diminuição destes após a aplicação de amortecimento na estrutura, o que valida o seu funcionamento. E as frequências medidas foram todas consideravelmente menores que as frequências de ressonância da estrutura obtidas na análise computacional, o que indica uma grande improbabilidade de falha por vibração.

### 4.5.5 Simulação Computacional

#### 4.5.5.1 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 22 – 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

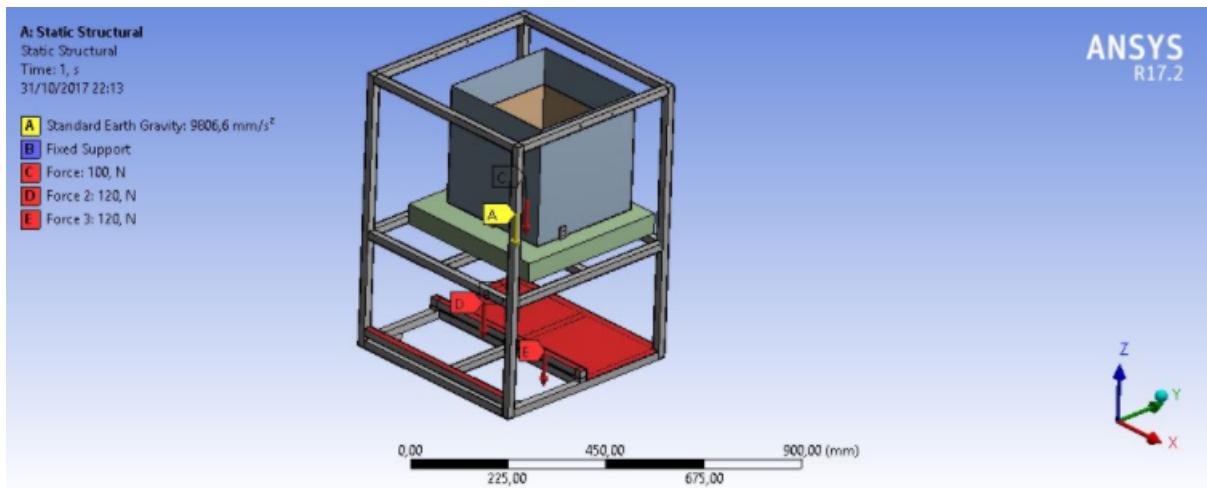


Figura 98 – Carregamentos

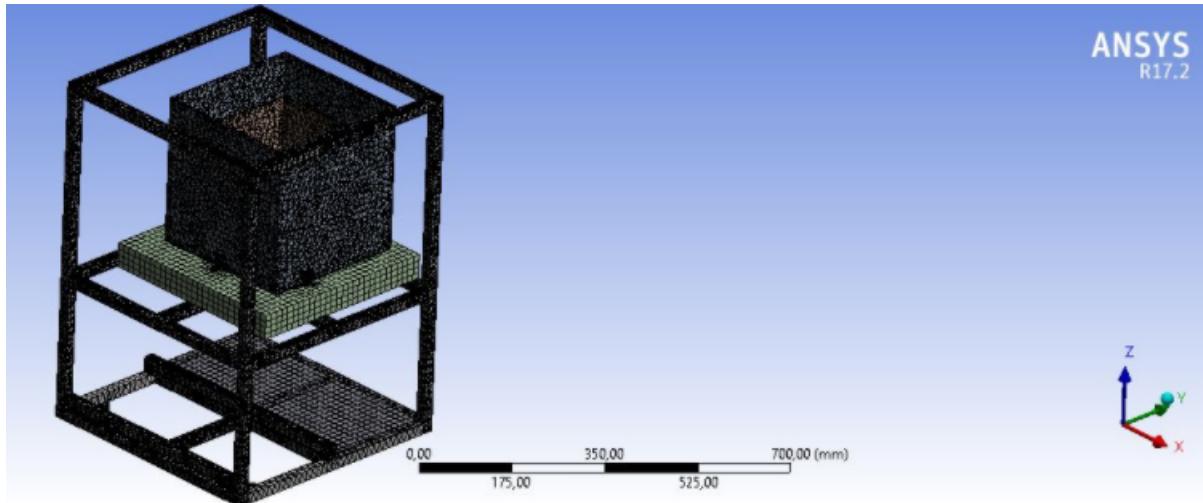


Figura 99 – Refinamento da Malha

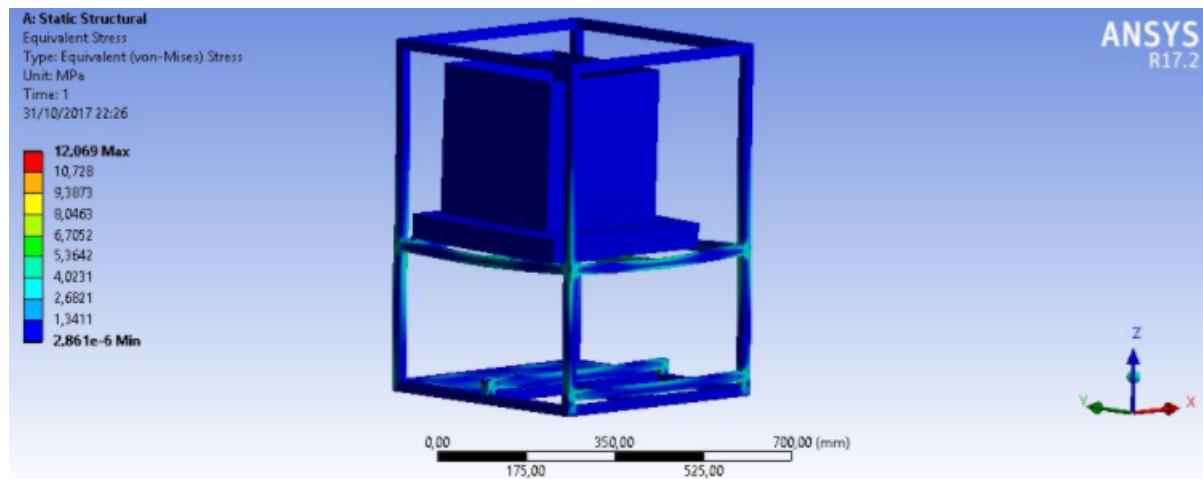


Figura 100 – Tensão Equivalente de Von Mises

Tabela 23 – Resultados para análise estática

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

#### 4.5.5.2 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 °C.
- Temperatura inicial da câmara de resfriamento: 0 °C.
- Temperatura dos ambientes de convecção: 0 °C.
- Temperatura na entrada da serpentina: -10 °C.
- Temperatura na saída da serpentina: 0 °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

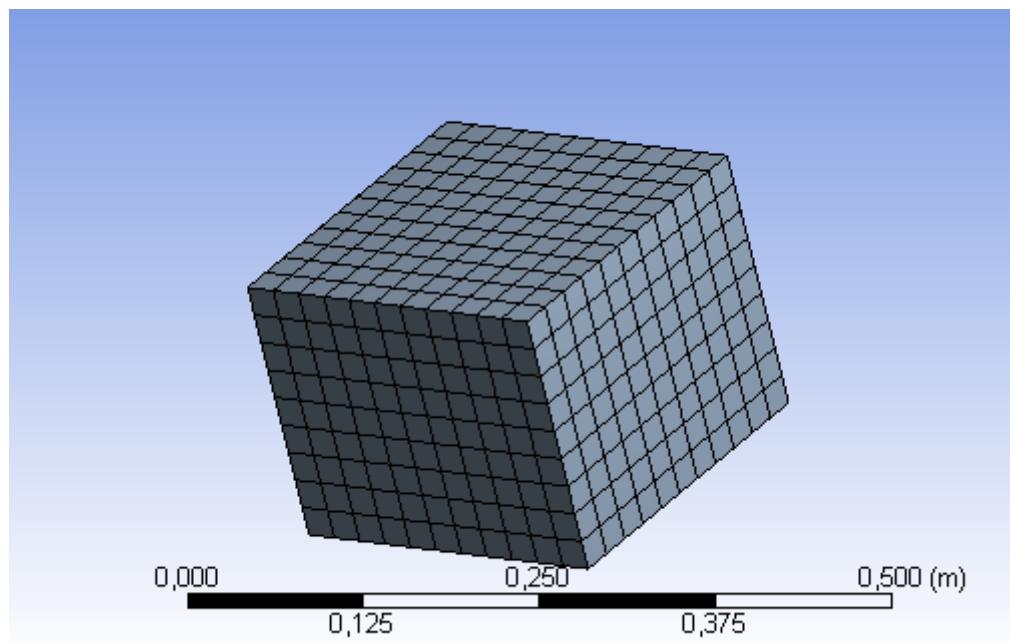


Figura 101 – Malha do compartimento de carga

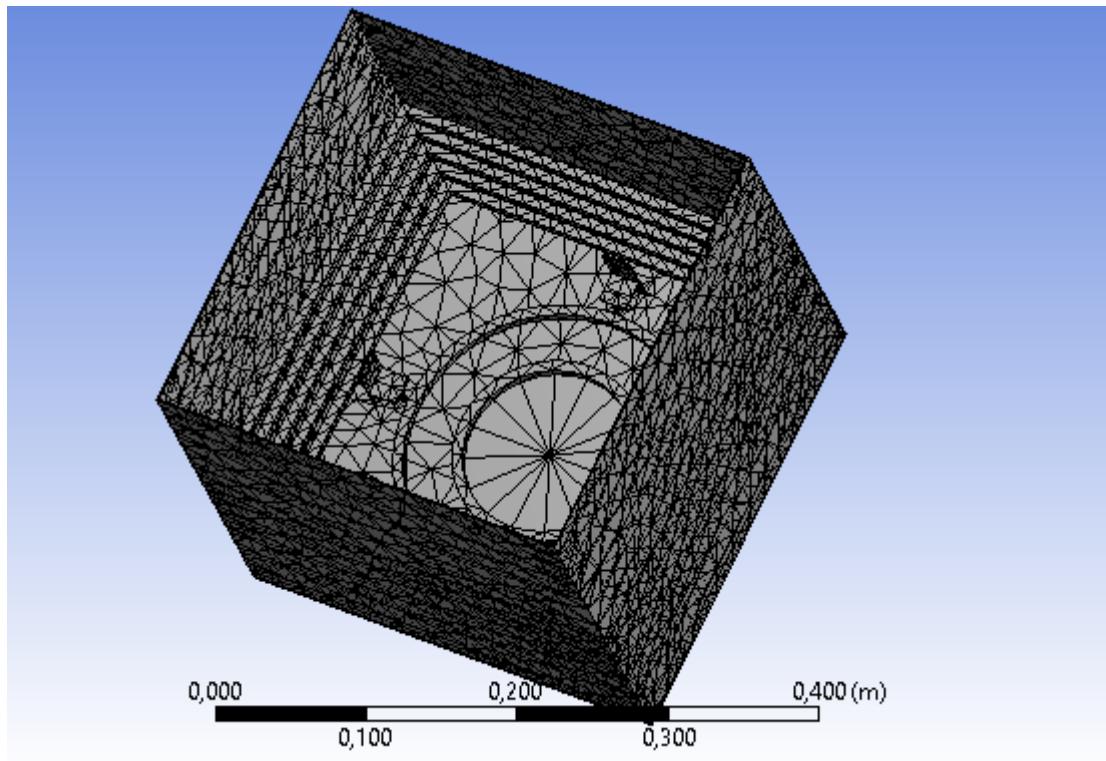


Figura 102 – Malha da câmara de resfriamento

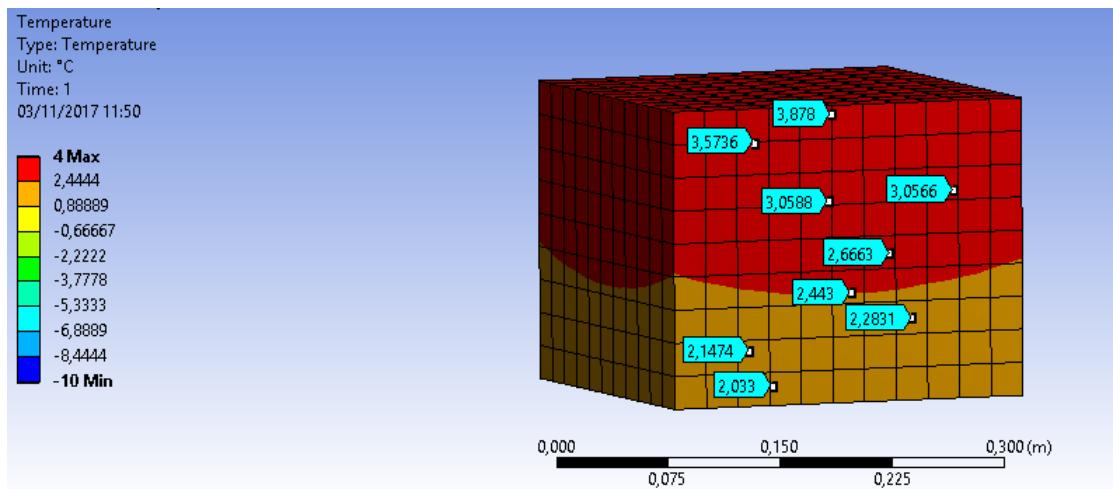


Figura 103 – Distribuição de temperatura no compartimento de carga

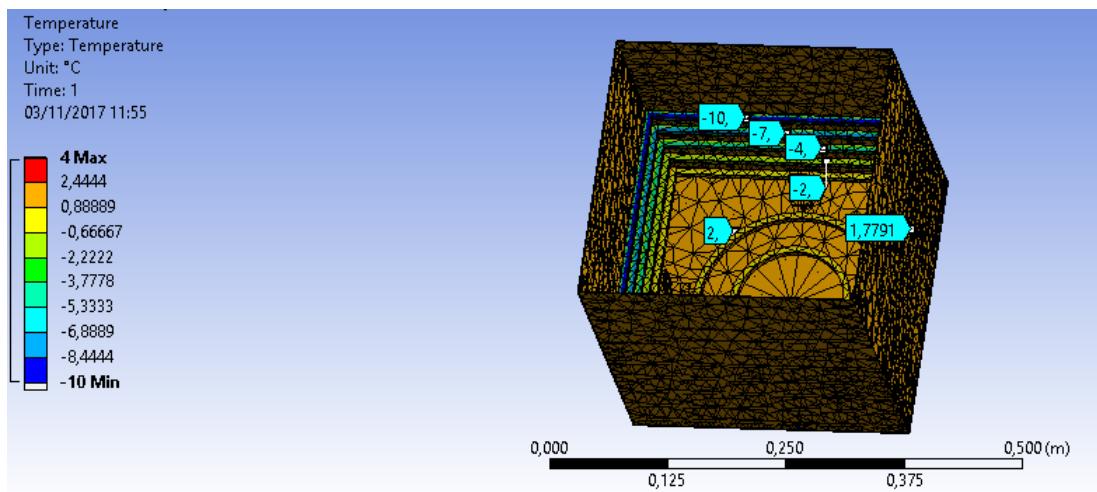


Figura 104 – Distribuição de temperatura na câmara de resfriamento

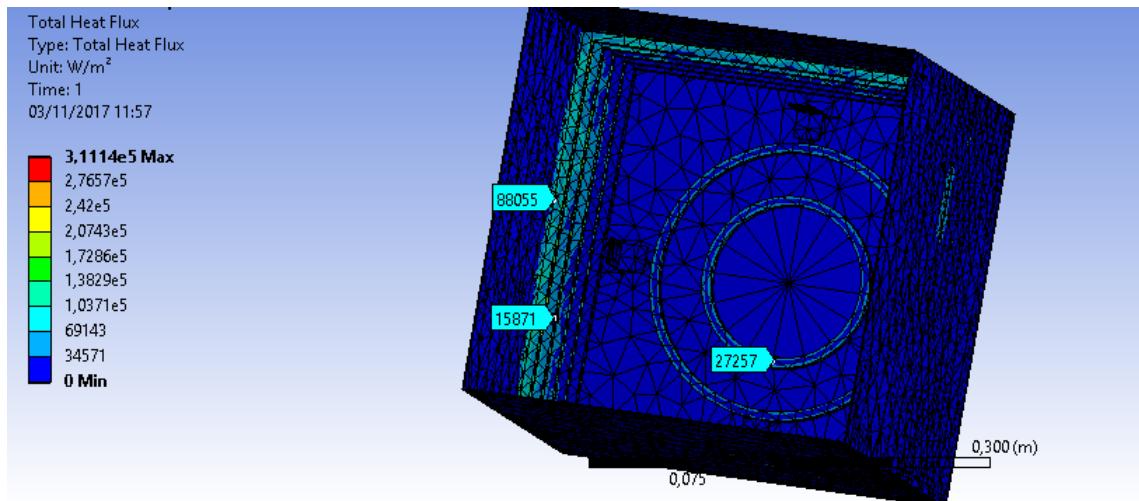


Figura 105 – Fluxo de calor na câmara de resfriamento



## 5 Anexos

### 5.1 Desenhos Técnicos

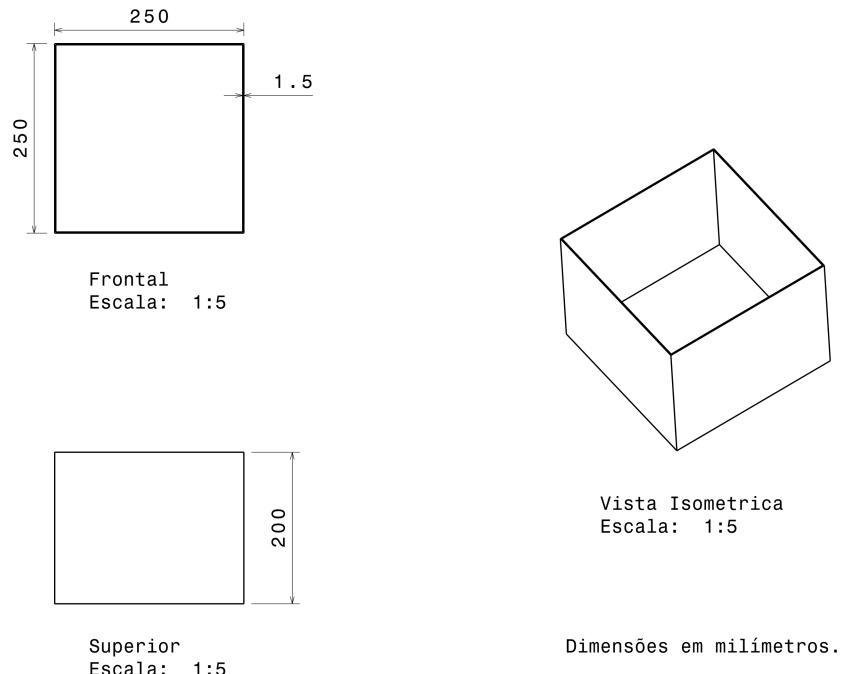


Figura 106 – Desenho técnico do compartimento de carga

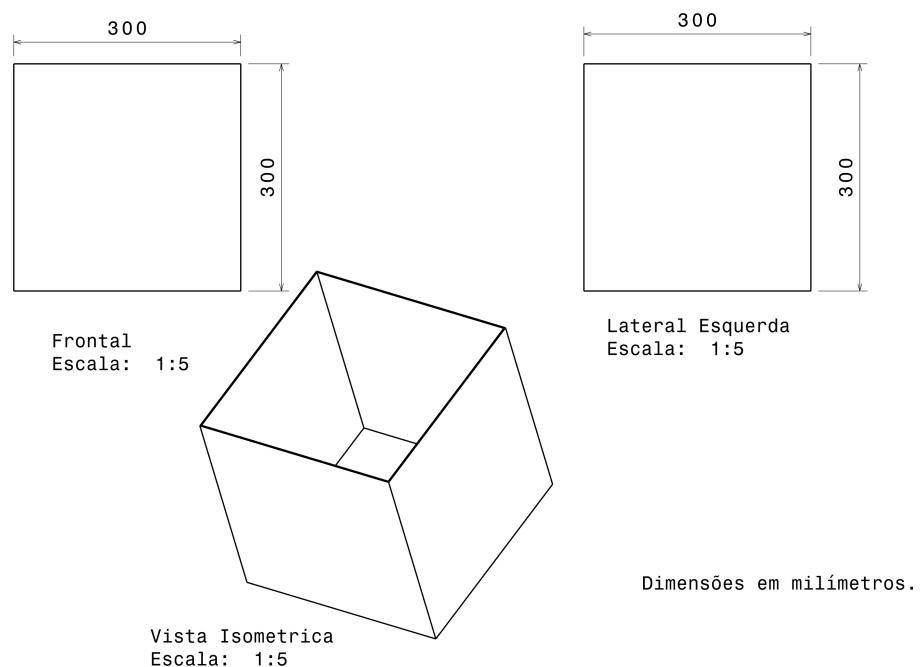


Figura 107 – Desenho técnico da câmara de resfriamento

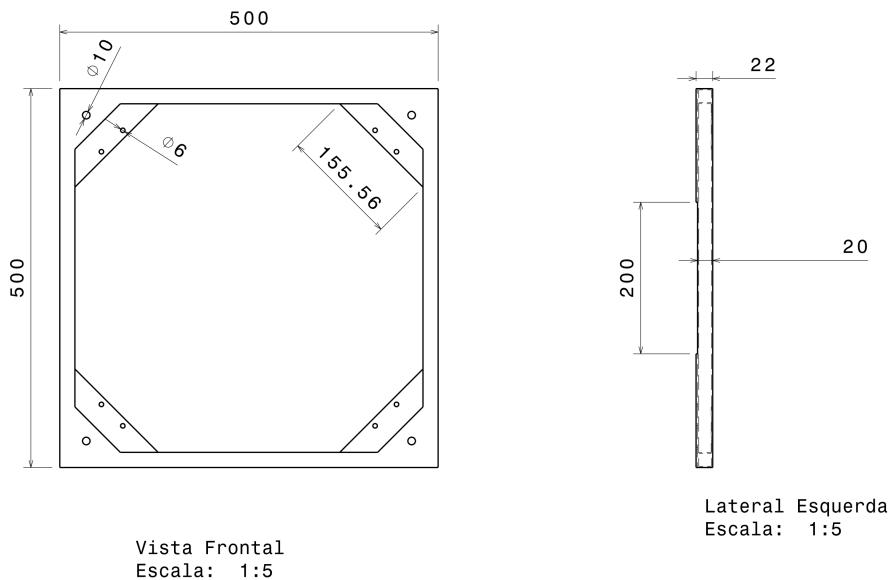


Figura 108 – Desenho técnico da base da estrutura

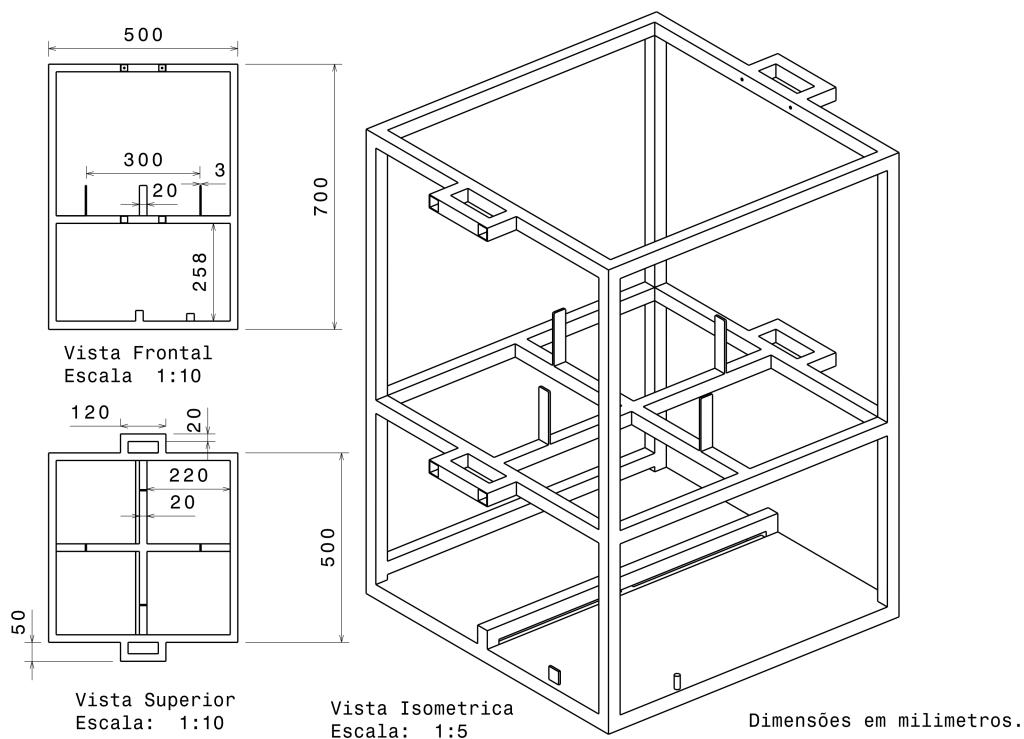
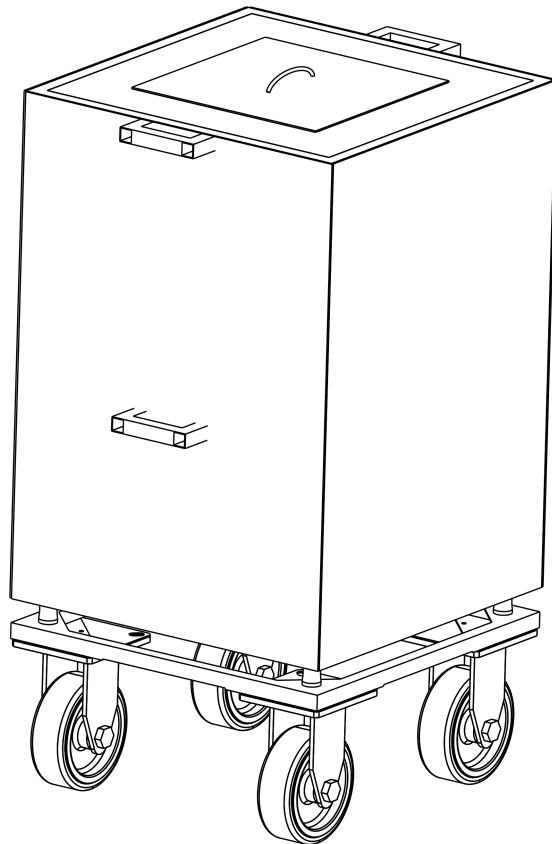


Figura 109 – Desenho técnico da estrutura principal



Vista isometrica  
Escala: 1:5

Figura 110 – Desenho técnico da estrutura completa

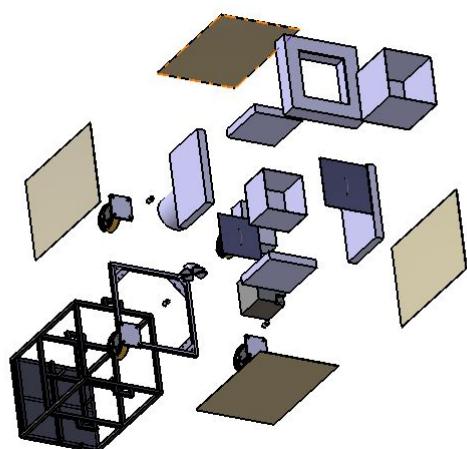


Figura 111 – Vista explodida da estrutura

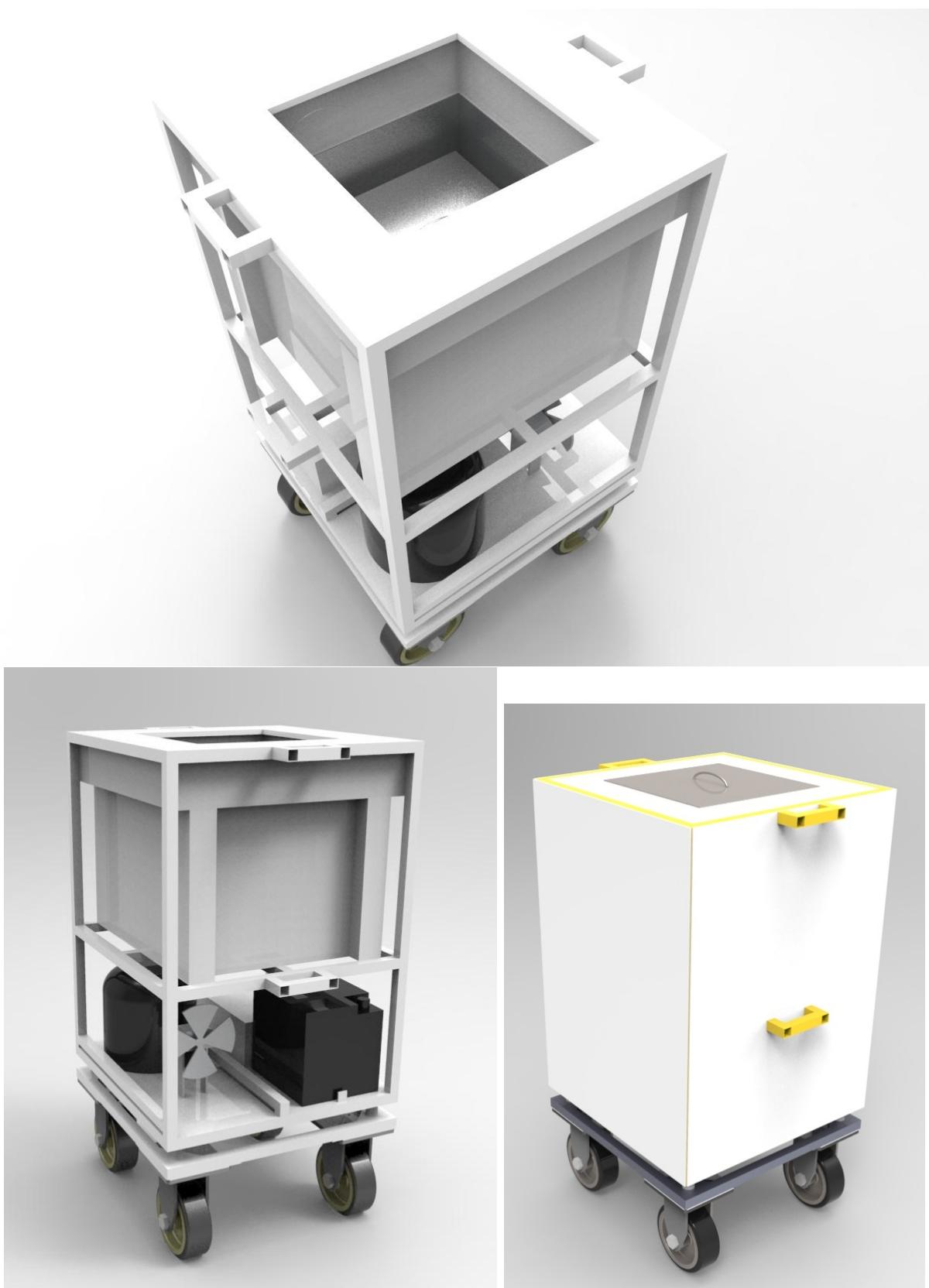


Figura 112 – Renderizações do desenho técnico

## 6 Orçamento do Projeto

CÓDIGO DA COMPRA	MATERIAL ADQUIRIDO	PREÇO	FRETE	PREÇO + FRETE
1	PEÇAS ESTRUCT	R\$ 240,00	R\$ -	R\$ 240,00
2	SISTEM REFRIG	R\$ 500,00	R\$ -	R\$ 500,00
3	ISOPORES	R\$ 20,00	R\$ -	R\$ 20,00
4	COMPONENTES ELETR	R\$ 36,70	R\$ -	R\$ 36,70
5	ACESSORIOS ESTRUTURA	R\$ 15,00	R\$ -	R\$ 15,00
6	COMPONENTES ELETR	R\$ 60,50	R\$ -	R\$ 60,50
7	INVERSOR	R\$ 318,99	R\$ 48,90	R\$ 367,89
8	SILICONE 1	R\$ 27,80	R\$ -	R\$ 27,80
9	AMORTECEDORES	R\$ 71,48	R\$ -	R\$ 71,48
10	PVC 1	R\$ 50,00	R\$ -	R\$ 50,00

Figura 113 –

<b>11</b>	SILICONE 2	R\$ 33,00	R\$ -	R\$ 33,00
<b>12</b>	PEÇAS ESTRUTURA 2	R\$ 138,83	R\$ -	R\$ 138,83
<b>13</b>	TINTAS	R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 30,00
<b>14</b>	COMPONENTES ELETR 2	R\$ 45,64	R\$ -	R\$ 45,64
<b>15</b>	COMPONENTES ELETR 3	R\$ 13,00	R\$ -	R\$ 13,00
<b>16</b>	COMPRAS 1	R\$ 43,00	R\$ -	R\$ 43,00
<b>17</b>	COMPRAS 2	R\$ 27,50	R\$ -	R\$ 27,50
<b>18</b>	GASOLINA 1	R\$ 30,00	R\$ -	R\$ 30,00
<b>19</b>	GASOLINA 2	R\$ 20,00	R\$ -	R\$ 20,00
<b>20</b>	ADESIVOS	R\$ 40,00	R\$ -	R\$ 40,00
<b>21</b>	COMPRAS ARILSON ELET	R\$ 309,24	R\$ -	R\$ 309,24

Figura 114 –

22	CIRCUITOS IMPRESSOS	R\$ 145,00	R\$ -	R\$ 145,00
23	COMPRAS DRICA	R\$ 38,57	R\$ -	R\$ 38,57
24	PVC 2	R\$ 67,00	R\$ -	R\$ 67,00
	<b>TOTAL</b>	<b>R\$ 2.321,25</b>	<b>R\$ 48,90</b>	<b>R\$ 2.370,15</b>

Figura 115 –



## 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 33.

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 13.