



Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Projeto Integrador de Engenharia 1

Forno para Curagem de Materiais Compósitos

Autor: Turma B
Orientador: Artur Bertoldi

Brasília, DF
2018



Turma B

Forno para Curagem de Materiais Compósitos

Trabalho final de Projeto Integrador de Engenharia 1 da Universidade de Brasília para o Ponto de Controle 2.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Artur Bertoldi

Brasília, DF

2018

Turma B

Forno para Curagem de Materiais Compósitos

Trabalho final de Projeto Integrador de Engenharia 1 da Universidade de Brasília para o Ponto de Controle 2.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 05 de novembro de 2018:

Artur Bertoldi
Orientador

Brasília, DF
2018

Resumo

O uso de materiais compósitos exige um processo de preparo através de um forno com características próprias. Uma vez que o forno pode possuir alto custo, este projeto aborda o desenvolvimento do forno de materiais compósitos que será disponibilizado aos alunos de engenharia da Universidade de Brasília - Faculdade do Gama (UnB - FGA). O objeto em questão dispõe de um sistema desenvolvido em arduíno, assim como uma estrutura física feita de madeira, que permitirão o controle da temperatura do material compósito em busca da cura do material.

Palavras-chaves: Compósitos, forno, arduíno, cura.

Sumário

	Introdução	7
I	PLANEJAMENTO DO PROJETO	9
1	REQUISITOS	11
1.1	Requisitos do sistema	11
1.1.1	Requisitos Funcionais	11
1.1.2	Requisitos Não Funcionais	11
1.2	Termo de Abertura de Projeto - TAP	11
1.2.1	Descrição do projeto	11
1.2.2	Propósito e Justificativa	11
1.2.3	Objetivos	12
1.2.4	Requisitos de Alto Nível	12
1.2.5	Riscos de Alto Nível	13
1.2.6	Estimativa de Custo	14
1.3	EAP	14
2	ORÇAMENTO DO PROJETO	17
II	CÁLCULOS	19
3	CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO	21
3.1	Distribuição Interna de Temperatura	21
3.1.1	Equação de Laplace	21
3.1.2	Método das Diferenças Finitas	22
3.1.3	Método de Gauss-Sidel	22
3.1.3.1	Critério de Sassenfeld	23
3.1.4	Resultados	24
3.2	Dimensionamento do Isolamento Térmico	24
III	COMPONENTES ELETRÔNICOS	31
4	COMPONENTES ELETRÔNICOS	33
4.1	Voltagem RMS	33
4.2	Esquemático eletrônico	33

4.3	Relatório de Resistências	34
4.4	Teste 1	34
4.5	Resultados do Teste 1	34
4.6	Teste 2	34
4.7	Resultados do Teste 2	34
4.8	Componentes Eletrônicos - Imagens	35
4.9	Relé	35
4.9.1	Buzzer	35
4.9.2	Cooler/Transistor	35
4.9.3	Potenciômetro	36
4.9.4	Tela LCD	36
4.9.5	Sensor de temperatura	37
4.9.6	Led	37
IV	ESTRUTURA FÍSICA	41
5	ESTRUTURA DO FORNO	43
5.1	CAD Eletrônica	43
5.2	CAD do Forno	46
V	CONCLUSÃO	55
	Conclusão	57
VI	REFERÊNCIAS	59
	REFERÊNCIAS	61

Introdução

É certo que os compósitos tratam-se da união de materiais distintos, formando-se um produto final mais resistente em virtude da característica inerente de cada composto e da união final dos materiais. Este tipo de material é comumente utilizado na indústria aeroespacial, contudo exige um preparo para ser utilizado. Este documento apresenta todo escopo da construção do forno de materiais compósitos, que permite a compreensão dos cálculos realizados para a sua montagem, assim como detalhes referentes à estrutura e aos componentes de eletrônica e de controle do sistema.

Parte I

Planejamento do Projeto

1 Requisitos

1.1 Requisitos do sistema

Os requisitos para a produção do sistema foi separado em Requisitos Funcionais, que são os serviços para o uso direto do usuário, e Requisitos Não Funcionais, que não é o primeiro contato com o usuário mas são necessários para que o forno funcione

1.1.1 Requisitos Funcionais

- RF01** O sistema deve ser capaz de controlar a intensidade de calor
- RF02** O usuário deve ser capaz de definir a temperatura interna que o forno irá se manter
- RF03** O usuário deve ser capaz de definir a temperatura interna que o forno irá se manter
- RF04** O forno deve conter um display que informe a temperatura e o tempo de funcionamento do forno
- RF05** O forno deve gerar um relatório em txt após o término do processo demonstrando o histórico da temperatura
- RF06** O produto deve conter um manual de instruções de uso
- RF07**

1.1.2 Requisitos Não Funcionais

- RNF01** Utilização de materiais de baixo valor para facilitar a venda para empresas juniores
- RNF02** A estrutura deve ser de madeira
- RNF03** O forno deve ter dimensões internas de 550mm x 550mm x 550mm para ter fácil manuseio e não demorar muito para aquecer
- RNF04** A estrutura deve resistir a temperatura de 150 °C
- RNF05** O sistema deve conter um resistor para gerar calor
- RNF06** O forno deve conter isolamento térmico interior para evitar a perda de calor
- RNF07** As mantas internas e externas também serão utilizadas para proteger a madeira
- RNF09** O projeto deve ter uma caixa de madeira independente do forno para guardar os componentes eletrônicos e deixar fixado o display
- RNF10** A estrutura deve conter uma prateleira para colocar o material compósito; RNF10 O forno dispõe de 3 metros de resistência
- RNF11** O forno contém dois termômetros

1.2 Termo de Abertura de Projeto - *TAP*

1.2.1 Descrição do projeto

O projeto consiste na confecção de um forno para cura de materiais compósitos de pequeno porte de forma a facilitar e diminuir o tempo de seu preparo pelas equipes de competição da *UnB*, a fim de desempenharem de forma mais satisfatória suas atividades.

1.2.2 Propósito e Justificativa

Atualmente, as equipes de competições da Universidade de Brasília (UnB) deparam-se com problemas relacionados a cura de materiais compósitos, especialmente em relação ao tempo de preparo e a acessibilidade a fornos de baixo custo e apropriados ao escopo da equipe. Nesse sentido, o projeto propõe-se a desenvolver uma solução viável

para o público-alvo citado, tendo como objetivo fornecer um produto que auxilie na boa performance do tempo de curagem de materiais compósitos de pequeno porte, além de substanciar às equipes uma solução viável e de baixo custo.

1.2.3 Objetivos

Realizar a fabricação de um produto que atenda e possa ser comercializado para as Equipes de competição da UnB, podendo o mesmo facilitar o trabalho com materiais compósitos, tendo como as principais características os seguintes pontos.

- Realizar a cura dos principais materiais compósitos utilizados pelas equipes
- Diminuir o tempo de cura do material
- Facilitar o manuseio de materiais compósitos
- Valor final acessível

1.2.4 Requisitos de Alto Nível

A solução, em alto nível, deverá seguir as seguintes diretrizes.

- O produto deverá final ser capaz de manter a temperatura interna a 70 graus Celsius por um período de 2 a 4 horas
- Deverá apresentar uma interface para o manuseio de temperatura e tempo de cura dos materiais
- O produto final deverá apresentar baixo custo de fabricação e manutenção

1.2.5 Riscos de Alto Nível

Risco	Impacto	Ação preventiva	Ação corretiva
Desinteresse e abandono por alunos da turma.	Sobrecarga da equipe.	Tentar manter a comunicação de forma a motivar a turma.	Revisão de projeto e datas de entregas.
Problema de comunicação.	Problemas de gerenciamento e planejamento do cronograma de atividades.	Controle da comunicação entre as partes, alertando e evidenciando possíveis dificuldades.	Criar novos meios de comunicação de fácil acesso aos participantes do projeto de forma a manter todos integrados de suas respectivas tarefas.
Produto não atende necessidade do cliente e/ou interessados.	Baixa adesão de usuários.	Realização de pesquisa de campo e avaliar métricas essenciais para decisões importantes.	Afinar produto referente ao valor de produto passado pelo cliente e/ou interessados.
Falta de recurso monetário para a realização do projeto.	Impossibilidade de executar e produzir o produto esperado.	Comunicar antecipadamente com todos os integrantes do projeto para dividir igualmente os gastos de produção e planejamento.	Procura por patrocínio da comunidade acadêmica, empresas e equipes para realização do projeto.

Figura 1 – Legenda

1.2.6 Estimativa de Custo

Recurso	Preço Unitário	Quantidade	Preço Total
Estrutura eletrônica	-	-	R\$268,95
Estrutura física	-	-	R\$323.98

1.3 EAP

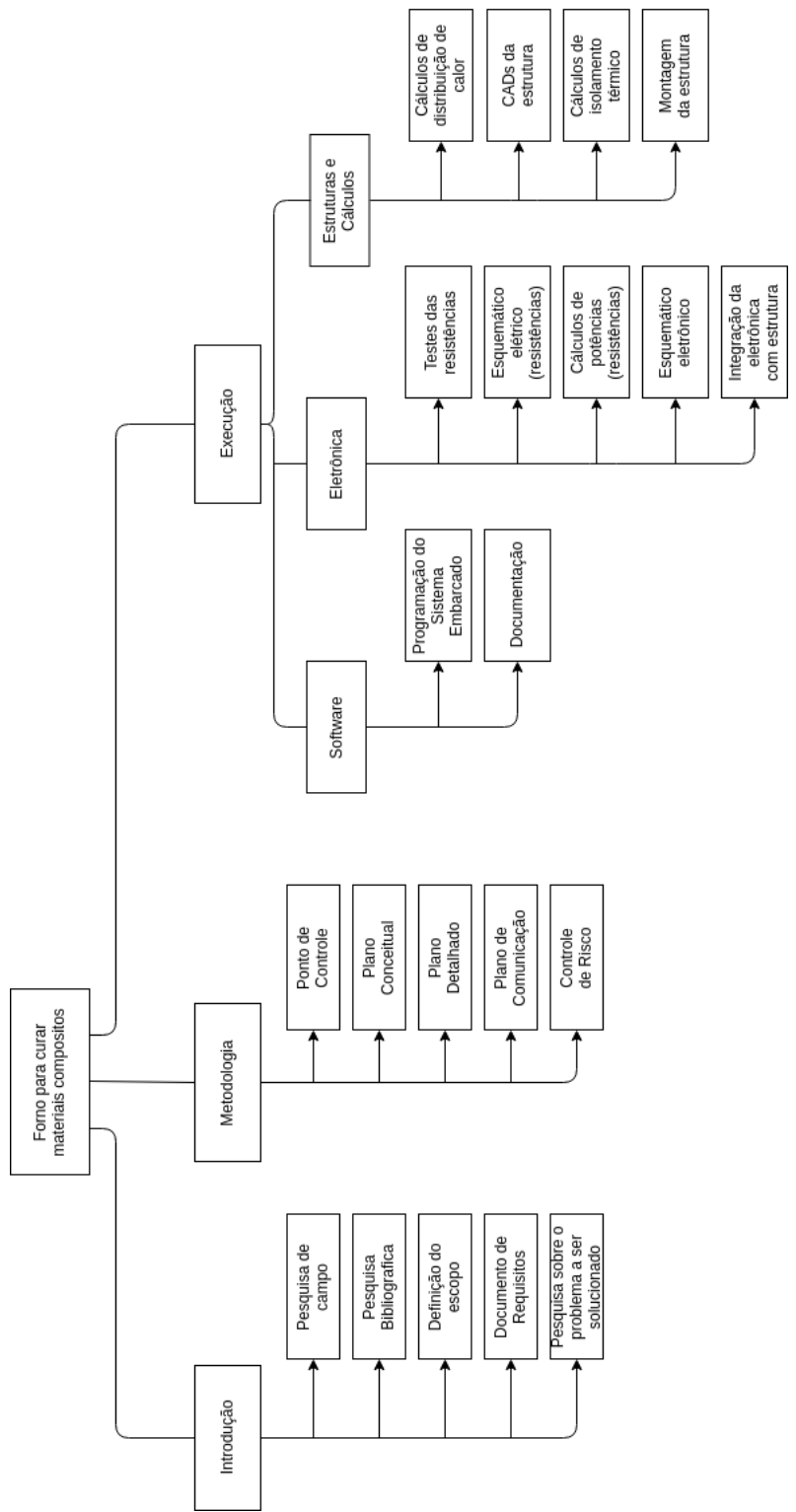


Figura 2 – Legenda

2 Orçamento do Projeto

Material	Descrição	Valor unitário	Quantidade	Valor total
Nicromo (metro)	0.91mm - Casa de Resistências	R\$ 5,00	6	R\$ 30,00
Parafuso	Para madeira: Comprimento mínimo de 5cm	R\$ 0,20	30	R\$ 6,00
Madeira	Material compensado de no mínimo 18mm; Tamanho 220x60cm	R\$ 141,32	1	R\$ 141,32
Dobradiça	Sem detalhes a serem mencionados	R\$ 3,50	2	R\$ 7,00
Arduíno Uno	Material cedido por um membro da equipe	R\$ 0,00	0	R\$ 0,00
Fios para eletrônica	Loja Huifinito	R\$ 0,59	3	R\$ 1,77
Placa de prototipagem	Loja Huifinito	R\$ 16,37	1	R\$ 16,37
Leds Vermelhos	Loja Huifinito	R\$ 0,36	3	R\$ 1,08
Leds Vermelhos	Loja Huifinito	R\$ 0,29	3	R\$ 0,87
Cooler 12V	Loja Huifinito	R\$ 7,86	1	R\$ 7,86
Sensores de temperatura	Loja Huifinito	R\$ 14,09	4	R\$ 59,60
Fonte 5V	Loja Huifinito	R\$ 16,50	1	R\$ 16,50
Potenciômetro	Loja Huifinito	R\$ 1,10	2	R\$ 2,20
Regulador de tensão	Material cedido por um membro da equipe	R\$ 0,00	0	R\$ 0,00
Tela LCD	Material cedido por um membro da equipe	R\$ 0,00	0	R\$ 0,00
Módulo Relê	Material cedido por um membro da equipe	R\$ 0,00	0	R\$ 0,00
Buzzer	Material cedido por um membro da equipe	R\$ 0,00	0	R\$ 0,00
Resistores	Loja Huifinito	R\$ 0,40	20	R\$ 0,80
Lâmina Tico Tico Profissional	Loja Huifinito	R\$ 7,00	1	R\$ 7,00
Serviço de corte de madeira	Serralheria	R\$ 1,85	9	R\$ 16,65
Total		R\$ 246,88		R\$ 315,02

Parte II

Cálculos

3 Cálculos de Dimensionamento

Com o objetivo de dimensionar o projeto e permitir que a estufa cumpra da melhor forma possível os objetivos almejados, foram realizadas uma série de cálculos, que visaram dar as informações necessárias para validar a confiabilidade do produto.

Também foram realizados cálculos para garantir a segurança do usuário e para, junto as pesquisas executadas, garantir que o produto final seja capaz de executar todos os processos requisitados de forma adequada

3.1 Distribuição Interna de Temperatura

As medidas internas do forno ficaram definidas em 55cm x 55cm x 55cm o que nos dá um volume (V) de:

$$V = 166375cm^3 \quad (3.1)$$

Já a equação que descreve a transferência de calor em um determinado volume de controle pode ser descrita por:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T \quad (3.2)$$

3.1.1 Equação de Laplace

Para de encontrar a distribuição final de temperaturas dentro do corpo, ou seja, saber a distribuição de temperatura interna do corpo quando $t \rightarrow \infty$ e assumindo que estamos olhando para uma secção transversal do corpo, afim de tornar o problema bidimensional, a equação acima pode ser simplificada até que possamos obter a equação de Laplace:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (3.3)$$

Definindo as condições de contorno como sendo, idênticas em todas as paredes, tem-se então:

$$T(55, y) = T(0, y) = T(x, 55) = T(x, 0) = T_{parede} \quad (3.4)$$

3.1.2 Método das Diferenças Finitas

O método das diferenças finitas é um método prático e eficiente para a solução de sistemas de equações diferenciais parciais, fornecendo em muitos casos resultados tão satisfatórios quanto o método dos elementos finitos[1].

Usando esse método então, pode se assumir que o valor da temperatura em cada ponto do corpo, pode ser aproximada pela média ponderada das temperaturas dos pontos ao redor, ao se separar um conjunto de pontos internos ao sistema, no qual todos sejam equidistantes de todos seus vizinhos, podemos então aproximar a temperatura nas coordenadas i,j por[2]:

$$T_{i,j} = \frac{T_{i+1,j} + T_{i-1,j} + T_{i,j+1} + T_{i,j-1}}{4} \quad (3.5)$$

Considerando então que com os dados das condições de fronteira, já podemos conhecer alguns dos valores de $T_{i,j}$, podemos montar um sistema de equações em forma matricial que corresponda ao comportamento da temperatura interna da estufa. Se gerarmos uma estrutura de 50 x 50 pontos, e adicionarmos as condições de fronteira, o que gera um sistema com 2500 variáveis, que colocado em forma matricial nos dá uma matriz de dimensões 2500 x 2500 que precisa ser solucionada para encontrarmos o valor da temperatura em cada um dos pontos escolhidos.

A distancia de cada ponto para seus vizinhos então corresponderá a $55/49 = 1,122cm$ dentro do sistema. Dado ao número de variáveis envolvidas no sistema de equações (2500) métodos como a Eliminação Gaussiana que funcionam em complexidade $O(n^3)$ se tornam inviáveis já que levariam cerca de 4^1 horas para processar um estado e poder mostrar apenas uma solução.

Assim sendo, é necessário procurar um método mais eficiente computacionalmente, para conseguirmos determinar a solução da equação de maneira eficiente para as várias situações de contorno possíveis.

3.1.3 Método de Gauss-Sidel

O Método de Gauss-Siedel é uma versão melhorada do método de Gauss-Jacobi, sendo ambos métodos iterativos para a solução de sistemas de equações lineares. E com complexidade assintótica muito menor que o método do Escalonamento. O método consiste em organizar as equações de forma que um "chute" inicial gere uma saída mais próxima da solução real do sistema, assim a saída pode ser novamente iterada infinitamente, para criar soluções ainda mais próximas. O método pode ser enunciado então na seguinte forma

¹ valor pode ser estimando considerando que um computador executa 10^6 operações em 1 segundo

algébrica(onde a_{ij} , são as posições da matriz das equações e T_i do vetor solução):

$$\begin{aligned}
 a_{11}x_1^{(k+1)} + a_{12}x_2^{(k)} + \cdots + a_{1n}x_n^{(k)} &= T_1 \\
 a_{21}x_1^{(k+1)} + a_{22}x_2^{(k+1)} + \cdots + a_{2n}x_n^{(k)} &= T_2 \\
 \dots & \quad \dots \quad \quad \quad \ddots \quad \quad \dots \\
 a_{n1}x_1^{(k+1)} + a_{n2}x_2^{(k+1)} + \cdots + a_{nn}x_n^{(k+1)} &= T_n
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

3.1.3.1 Critério de Sassenfeld

Por não ser um método de solução direta, nem sempre é possível convergir à solução, portanto se faz necessário demonstrar que a matriz dos sistemas lineares é bem configurada, ao ponto de permitir o uso desse método. Para garantir que o método de Gauss-Sidel funcione, é necessário que a versão matricial do sistema obedeça o Critério de Sassenfeld que pode ser estabelecido da seguinte maneira:

$$\begin{aligned}
 \beta_1 &= \frac{|a_{12}| + \cdots + |a_{1n}|}{|a_{11}|} \\
 \beta_s &= \frac{|a_{s1}|\beta_1 + \cdots + |a_{ss-1}|\beta_{ss-1} + |a_{ss+1}| + \cdots + |a_{sn}|}{|a_{ss}|} \\
 \max_{\forall s} \beta_s &< 1
 \end{aligned} \tag{3.7}$$

Finalmente, nos resta então, apenas mostrar que o sistema de equações é bem comportado a ponto de obedecer o critério, e assim podemos finalmente resolver a equação de Laplace.

Ao observar o sistema de equações escrito em sua forma matricial, podemos notar algumas coisas. A primeira delas é que, em toda a diagonal principal o valor absoluto termos é 4, e por outro lado, a soma máxima de todos os elementos que não pertencem a diagonal principal em qualquer coluna, será também 4. Além disso, nunca haverá mais de dois termos com valores diferentes de 0 nem a esquerda, nem a direita da diagonal principal, por último, nota-se que o β_1 sempre será < 1 assim sendo para todas as linhas consecutivas temos que:

$$\beta_s = \frac{|a_{s1}|\beta_1 + \cdots + |a_{ss-1}|\beta_{ss-1} + |a_{ss+1}| + \cdots + |a_{sn}|}{|a_{ss}|}, e \quad \beta_{ss} < 1; \forall (sn < ss) \tag{3.8}$$

Como no ponto aonde temos a maior soma possível há dois números à esquerda e dois a direita da diagonal principal, e sendo todos eles iguais a 1, no caso mais extremo teremos

$$\beta_s = \frac{\gamma + \zeta + 1 + 1}{4}, \text{ com } \gamma, \zeta < 1, \quad (3.9)$$

o que implica com certeza em

$$\max_{\forall s} \beta_s < 1 \quad (3.10)$$

Assim podemos garantir que o método converge e pode ser usado para a solução da Equação Inicial.

3.1.4 Resultados

Por fim, ao resolvermos a equação de Laplace, pelos métodos citados, e com a condição de fronteira inicial obedecida, podemos confirmar que se as paredes da estufa forem mantidas em temperatura constante, eventualmente a própria estufa terá temperatura constante, e igual a das paredes, em todo seu volume.

3.2 Dimensionamento do Isolamento Térmico

Sendo a temperatura mais extrema que a estufa precisa atingir internamente igual a 120 graus Celsius queremos isolar o corpo de modo a manter uma temperatura externa que seja suportável. A temperatura externa pode se estimada com ajuda da seguinte fórmula[3]:

$$\frac{T_s - T_i}{\sum_{j=1}^n \frac{L_j}{K_j * A}} = \frac{T_{ar} - T_s}{\frac{1}{h_e * A}} \quad (3.11)$$

Onde:

T_s =Temperatura da superfície externa da estufa

T_i =Temperatura interna da estufa

A =Área de uma das laterais

T_{ar} =Temperatura do Ar

K_j =Coeficiente de Condutividade Térmica de cada isolante

L_j =Espessura de cada isolante

h_e =coeficiente de película(tabela Neto 2010)

Como isolante escolhemos uma manta térmica para telhados, que será colocada na parte interna e também na externa da estufa, e junto com a madeira compensada que é parte da própria estrutura, terá a função de reter o calor.

Agora podemos seguir então para a determinação da temperatura externa a 120°C . Isolando T_s na equação (3.11) temos a seguinte fórmula para T_s :

$$T_s = \frac{T_{ar}(\frac{L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A}) + \frac{T_i}{h_e*A}}{\frac{1}{h_e*A} + \frac{L_1}{K_1*A} + \frac{L_2}{K_2*A}} \quad (3.12)$$

Onde:

$$T_i = 120^{\circ}\text{C};$$

$$T_{ar} = 25^{\circ}\text{C};$$

$$L_1(\text{Compensado}) = 0,018\text{ m};$$

$$L_2(\text{Manta térmica}) = 0,002\text{ m};$$

$$K_1 = 0,14\text{ Kcal/m.h}^{\circ}\text{C};$$

$$K_2 = 0,026\text{ Kcal/m.h}^{\circ}\text{C};$$

$$A = 0,3025\text{ m}^2;$$

$$h_e(\text{Neto 2010}) = 8\text{ Kcal/m.h};$$

O que nos dá um $T_s \approx 60^{\circ}\text{C}$ sendo esse um valor aceitável vide o fato que 120°C está acima da faixa operacional do forno e ainda nessa temperatura, se tem uma temperatura externa aceitável.

Análise de potencia das resistências no forno de cura de fibra de carbono - epoxi em função da Energia a ser absorvida pela peça.

Para o forno de cura desenvolvido neste projeto, temos uma cavidade de aproximadamente $54,36\text{cm} \times 54,36\text{cm} \times 54,36\text{cm}$, totalizando um volume de $160,634\text{L}$.

Considerando a chapa de aço a 25°C , $50\text{cm} \times 50\text{cm} \times 0,47\text{cm}$, totalizando $1,188\text{L}$, e uma chapa idealizada de carbono epoxi de dimensão $40\text{cm} \times 40\text{cm} \times 0,8\text{cm}$, $1,200\text{L}$; podemos calcular com uma precisão considerável a quantidade de energia dimensionada por este forno, das resistências nele aplicadas para manter estabilizado em sua maior potência, quando sua temperatura interna varia a $2,5^{\circ}\text{C}/\text{in}$.

Pela equação fundamental da calorimetria, considerando a taxa de variação da

temperatura igual a 2,5°C/min, temos que, para um minuto:

$$Q = m_{aço} \times c_{aço} \times \Delta T \quad (3.13)$$

$$Q = m_{CEF} \times c_{CEF} \times \Delta T \quad (3.14)$$

$$P_{CEF} = \frac{CEF}{min} \quad (3.15)$$

Onde:

Q: É a quantidade de energia térmica absorvida

m: É a massa

c: É o calor sensível específico

ΔT : É a variação da temperatura

Em uma pesquisa rapida obtem-se que

$$d = \frac{m}{v} \Rightarrow m = V \times d \quad (3.16)$$

$$d_{aço} = 7,860g/cm^3$$

$$c_{aço} = 0,12cal \frac{cal}{g.^{\circ}C}$$

$$d_{CEF} = 1,5g/cm^3$$

Considerando as variações térmicas ao longo do processo, arredondamos, apesar das proporções, para: $c_{CEF} = 0,03cal \frac{cal}{g.^{\circ}C}$

Obtendo-se assim:

$$\begin{aligned} P_{aço} &= \frac{Q_{aço}}{min} = d_{aço} \times V_{aço} \times c_{aço} \times \frac{\Delta T}{min} \\ &= (7,860 \frac{g}{cm^3}) \times (1,188 \times 10^3 cm^3) \times (0,12 \frac{cal}{g.^{\circ}C}) \times (\frac{2,5^{\circ}C}{min}) \\ &= 2,80 \frac{kcal}{min} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{CEF} &= \frac{Q_{CEF}}{min} = d_{CEF} \times V_{CEF} \times \frac{\Delta T}{min} \\ &= (\frac{1,5g}{cm^3}) \times (1,2 \times 10^3) \times (0,3 \frac{cal}{g.^{\circ}C}) \times (\frac{2,5^{\circ}C}{min}) \\ &= 1,35 \frac{kcal}{min} \end{aligned}$$

Já para o ar, como iremos aplicar uma bomba de vácuo, a pressão interna do forno cairá consideravelmente, para aproximadamente 0,4atm.

Assim, considerando o interior do forno um sistema fechado, temos que, pela Primeira Lei da Termodinâmica:

$$\Delta V = Q - T \quad (3.17)$$

E como praticamente não há variação de volume, não há realização de trabalho ($T = 0$), uma vez que

$$TF \times d_1 \Rightarrow P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P \times A$$

$$\Rightarrow T = p \times A \times d_1 \Rightarrow T = p \times V$$

nos dando que a variação da energia interna dos gases ali presentes seria dado pela variação do calor (Q) nestes:

$$\Delta U = \Delta Q \quad (3.18)$$

A 25°C, 0,4atm e com volume aproximadamente de $V = 160,634 - 1,188 - 1,200 = 158,146L$, temos que:

$$PV = nRT \quad (3.19)$$

$$\frac{(0,4atm)(158,246L)}{(0,082 \frac{atm.L}{mol.K})(298K)} \quad (3.20)$$

$$n = 2,6mol \quad (3.21)$$

E como mais de 99% do ar atmosférico é composto por moléculas diatômicas, podemos utilizar a equação da energia interna para gases diatômicos para determinar a variação no calor da amostra:

$$\Delta U = \Delta Q = \frac{5}{2}nR\Delta T \quad (3.22)$$

O que nos permite afirmar que a potência mínima dos filamentos para que a temperatura interna do forno varie 2,5°C em 1 minuto é de:

$$\begin{aligned} P_{Res} &= \frac{P_{aço} + P_{CEF} + P_{ar}}{n_{defilamentos}} = \frac{2800 + 1350 + 1,33}{4} \\ &= P_{Res} = 1037,83 \frac{cal}{min} \\ &= 17,30 \frac{cal}{s} \\ &= 72,38 \frac{J}{s} \\ &\Rightarrow P_{Res} = 72,38W \end{aligned}$$

Energia nas Paredes do Forno

Pretende-se neste tópico determinar-se com certa precisão a quantidade de energia térmica que chegara a superfície dos isolantes que revestem as paredes sobre as quais as resistências serão apoiadas.

Pela lei da conversão de energia, temos que:

$$I = \frac{P_{dis}}{A}$$

$$P_{rec} = A_s \times I_{(d)}$$

onde:

I : É a intensidade em $[\frac{W}{cm^2}]$

P_{dis} : É a potência dissipada pelo emissor em [W] A : É a área das superfícies onde o módulo da intensidade é constante $[cm^2]$

P_{rec} : É a potência recebida por uma superfície [W] A_s : É a área da superfície receptora $[cm^2]$

I_d : É a intensidade que atinge a parede em função da distância $[\frac{W}{cm^2}]$

Sabemos, por pitágoras e com $z=1$, a distância entre dois pontos em um espaço tridimensional é dado por:

$$d = \sqrt{z^2 + y^2 + x^2} \quad (3.23)$$

$$d = \sqrt{1^2 + y^2 + x^2} \quad (3.24)$$

Porém, como no filamento que iremos utilizar existe mais de um ponto em que a distância é mínima ($d=1$) e que eles estão deslocados, temos que uma equação da distância entre a parede e qualquer ponto da área da parede deve ser mínimo, isto é, deve ser no máximo uma projeção da linha da resistência na parede.

Temos que, para uma parede com resistor,

$$P_{parede} = P_{res1} + P_{latuais} + P_{oposto} \quad (3.25)$$

Para P_{Res1} necessita ser calculada com mais precisão, pois terá uma influência maior na potência final da parede que o suporta. Assim, divide-se a resistência em seção para se calcular a potência mais próxima da real de P_{Res1}

$$P1 : 8 \times 0,0606 = 0,4848W \quad (3.26)$$

$$P2 : 2 \times 6,8665 = 13,7328W \quad (3.27)$$

$$P3 : 4,1913W \quad (3.28)$$

$$P4 : 2 \times [8,6165 + 7,3243 + 4,3606] = 40,6028W \quad (3.29)$$

$$P_{Res} = 0,4848 + 13,7329 + 4,1913 + 40,6028 = 59,0118W \quad (3.30)$$

Para as demais resistências, é possível fazer aproximações pela consideração de um emissor pontual para a potência:

$$P_{Laterais} = 1,7818 \times [4,8231] = 8,5938W \quad (3.31)$$

Por último, a potência oposta P(op) seria dada pela potência emitida pela fibra de carbono e pela chapa de aço a partir da potência recebida pela superfície inferior da chapa P(Si). Assim:

$$P(Si) = 2 \times [0,8898] = 1,7796 \quad (3.32)$$

$$P(Si) = 15,0505 + 1,7796 = 16,8301W \quad (3.33)$$

Se boa parte da potência conseguir passar pela chapa metálica e passar para o outro lado, teríamos algo em torno de:

$$P_{Cef} = 0,40 \times P(Si) = 6,73204W \quad (3.34)$$

$$P_{Op} = 8 \times [0,0508] = 0,4064W \quad (3.35)$$

$$P_{parede(1)} = 68,012W \quad (3.36)$$

Parte III

Componentes Eletrônicos

4 Componentes Eletrônicos

A parte eletrônica do projeto é composta até o devido momento por cálculos de consumo e dissipação de potência, junto às simulações elétricas usando a ferramenta QUCS e aos testes das resistências que foram realizados pela equipe.

4.1 Voltagem RMS

É certo que há uma diferença na voltagem necessária para dissipar a mesma potência em correntes AC e DC. Para fontes AC de ondas senoidais, o cálculo é mais simples:

$$\frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \quad (4.1)$$

Onde VRMS representa a voltagem média que, quando substituída no cálculo de potência ôhmica, representa a potência consumida pelo circuito AC. Esse valor para uma rede de 220 Volts é aproximadamente 155,56349V.

4.2 Esquemático eletrônico

Uma vez que o principal tópico são apenas as suas entradas e saídas, o esquemático a seguir apresenta apenas a direção da comunicação e os tipos dos componentes do circuito:

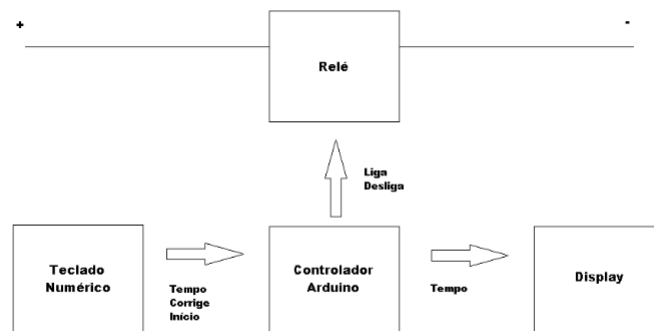


Figura 3 – Legenda

4.3 Relatório de Resistências

Montar os componentes eletrônicos exige que testes sejam realizados afim de obter resultados acerca da resistência a ser utilizada. A seguir encontra-se a descrição completa dos testes realizados pela equipe.

4.4 Teste 1

Material: Níquel-cromo

Espessura: AWG 33

Duração: 3h

Tipo de corrente: 1A

Voltagem: 12V

4.5 Resultados do Teste 1

O fio foi aquecido rapidamente ao ser ligado na fonte de energia de 12 V, sendo necessário a utilização de um simples controlador proporcional para chaveamento do fornecimento de energia. Utilizando o controlador o fio funcionou por 3 h ininterruptas sem apresentar problemas. Nota-se a necessidade de um encaixe adequado para a resistência caso a mesma seja feita no formato de hélice pois o aumento de temperatura resulta em uma leve deformação no formato do mesmo, ocasionando no contato entre partes da hélice que logo se fundem por causa do calor.

4.6 Teste 2

Material: Níquel-cromo

Espessura: AWG 20

Duração: 1h

Tipo de corrente: 10A

Voltagem: 220V

4.7 Resultados do Teste 2

Assim como no primeiro teste, o fio aqueceu rapidamente ao ser ligado na fonte de energia. Também foi necessário o uso de um controlador proporcional para que o fio não

chegasse à sua temperatura máxima de utilização. Com o aumento da espessura do fio e da fonte de energia, percebeu-se uma geração bem maior de calor, resultado bem vindo e que servirá bem para os propósitos do projeto. Assim como no primeiro teste, percebeu-se a necessidade de um encaixe adequado para que o aumento da temperatura evite o contato entre pontos da hélice, causando a fundição do mesmo. Nota-se a possibilidade de colocar o fio em um formato semelhante ao de serpentinas de geladeira para mitigar o problema de deformação.

4.8 Componentes Eletrônicos - Imagens

4.9 Relé

Especificações do Relé:

- Tensão de operação: 5VDC;
- Tensão de sinal: Padrão Lógico TTL;
- Corrente típica de operação: 15 20mA;
- Os contatos do relé permitem controlar uma tensão de até 30VDC a 10A ou 250VAC a 10A;
- Tempo de resposta: 5 10ms;
- A saída possui indicação por LED para status de funcionamento do relé.

4.9.1 Buzzer

Especificações do buzzer:

- Corrente: $\leq 42\text{mA}$;
- Som de saída: $\geq 85\text{DB}$;
- Frequência de Resonância: $2300 \pm 300\text{HZ}$;
- Temperatura de Operação: $-20^{\circ}\text{C} \quad +45^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura de armazenamento: $-20^{\circ}\text{C} \quad +60^{\circ}\text{C}$;
- Sinalizador piezoelétrico de 12m.

4.9.2 Cooler/Transistor

Especificações do Cooler:

- Tensão de Operação: 12V;

- Corrente: 244mA
- Tamanho: 80x80x25mm.

Especificações do Transistor:

- Média potência;
- $V_{CEO} = 100V$;
- $I_C = 6A$, 65W.

4.9.3 Potenciômetro

Especificações do Potenciômetro:

- Tipo: linear rotativo;
- Resistência: 5k (5000Ω);
- Potência máxima: 0,2W;
- Tensão máxima suportada: 200V AC;
- Diâmetro da base: 16 mm;
- Diâmetro do eixo: 5mm.

4.9.4 Tela LCD

Especificações Display:

- Display LCD 16x02: 16 colunas e 02 linhas;
- Luz de fundo: azul;
- Escrita: caracter na cor branco;
- Módulo Adaptador I2C integrado;
- Compatível com Arduino, PIC, Atmel, etc. Especificações do MÓDULO I2C;
- Interface: Serial I2C;
- Tensão de trabalho: 2,5V a 6V;
- Pinos de conexão: SDA, SCL, GND e VCC;
- Chip controlador: PCF8574T;
- Displays suportados: LCD 16x02 e LCD 20x04;
- Dimensões: 41,5mm x 19mm x 11,3mm;
- Corrente em standby: 10uA;

- Tipo de controlador: Expansor de portas I/O de 8 bits I2C;
- Endereços: 0x20 a 0x27 (Padrão 0x27), pode ser alterado.

4.9.5 Sensor de temperatura

Especificações do LM 35:

- Descrição do fabricante: LM35
- Tensão de Alimentação: 4 - 30VDC;
- Escala de medição: °C - (Centígrados);
- Fator de escala: 10mV / °C;
- Range de resposta: -55°C à 150°C;
- Precisão: 0,5°C;
- Consumo de corrente máximo: 60uA.

4.9.6 Led

Especificações Led: - Cor: Vermelho;

- Diâmetro: 5mm;
- Tensão: 2V;
- Corrente: 20mA;

Para ligar este LED com:

- 5V, utilizar resistor de 150R;
- 6V, utilizar resistor de 200R;
- 9V, utilizar resistor de 360R;
- 12V, utilizar resistor de 560R;
- 15V, utilizar resistor de 680R;
- 24V, utilizar resistor de 1K1.

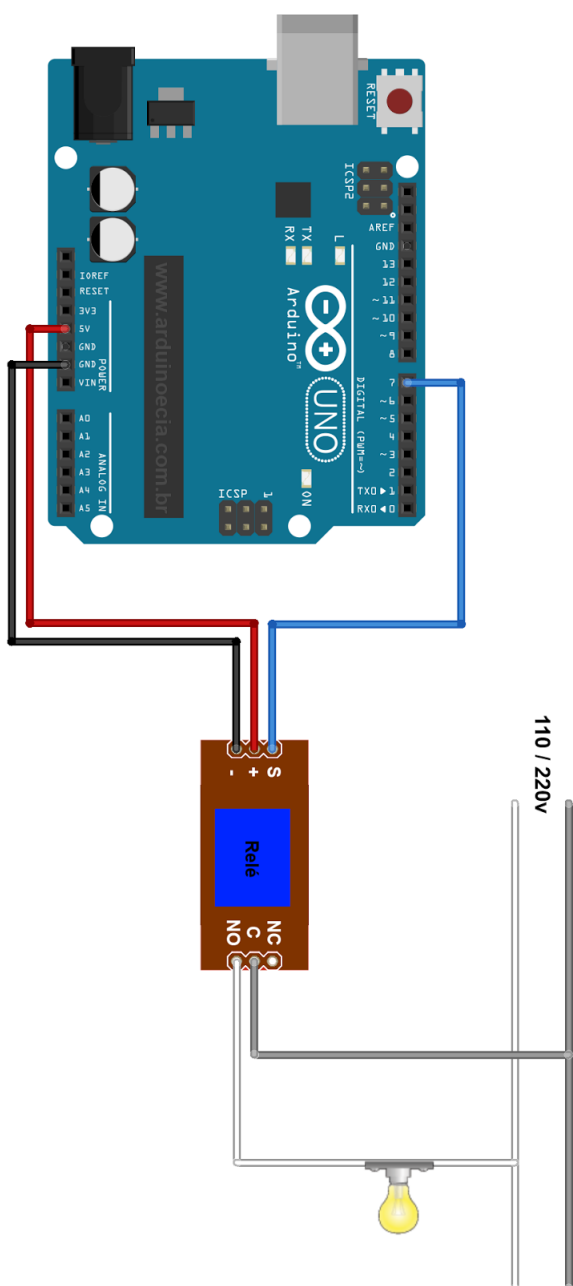


Figura 4 – Esquema Relé

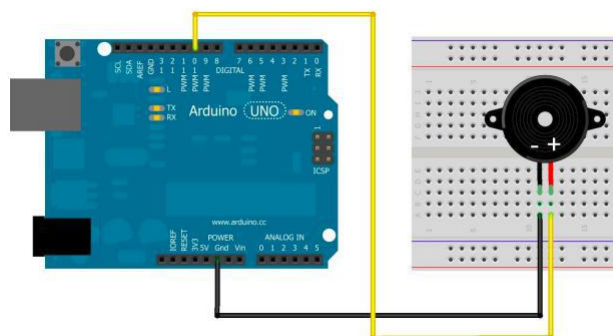


Figura 5 – Esquema Buzzer

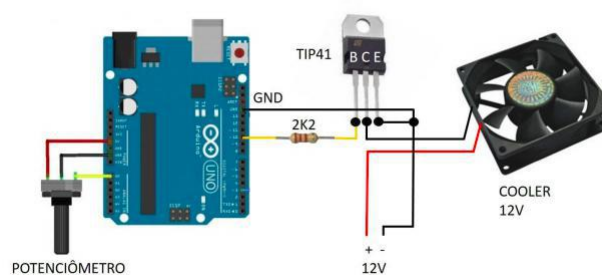


Figura 6 – Esquema Cooler

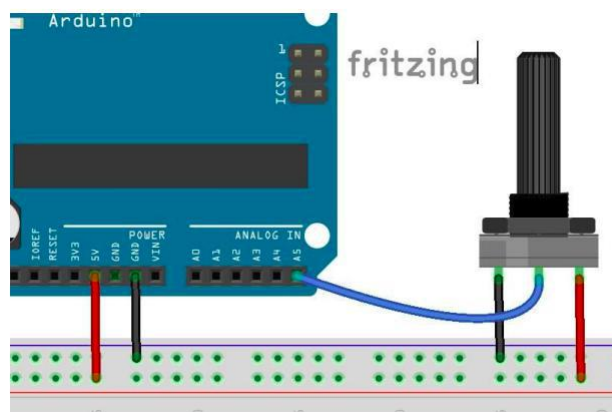


Figura 7 – Esquema Potenciometro

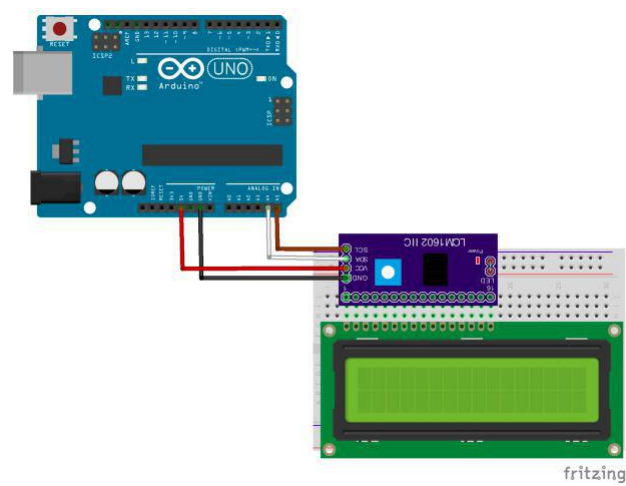


Figura 8 – Esquema Display

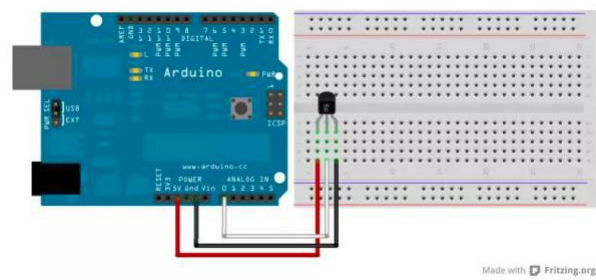


Figura 9 – Esquema Sensor

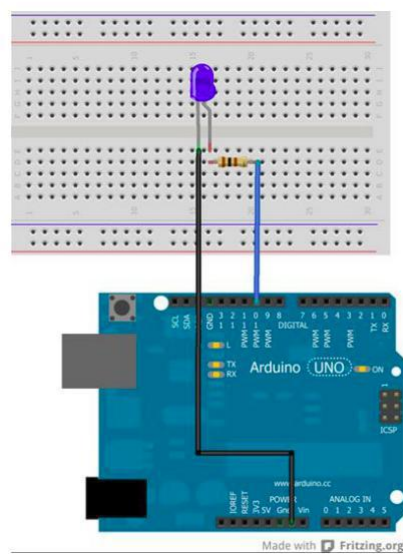


Figura 10 – Esquema Cooler

Parte IV

Estrutura física

5 Estrutura do Forno

Após os cálculos e modelagens, obteve-se as medidas e dados de toda a estrutura do projeto. Pode-se ver os CADs das partes de estrutura completa e estrutura eletrônica

5.1 CAD Eletrônica

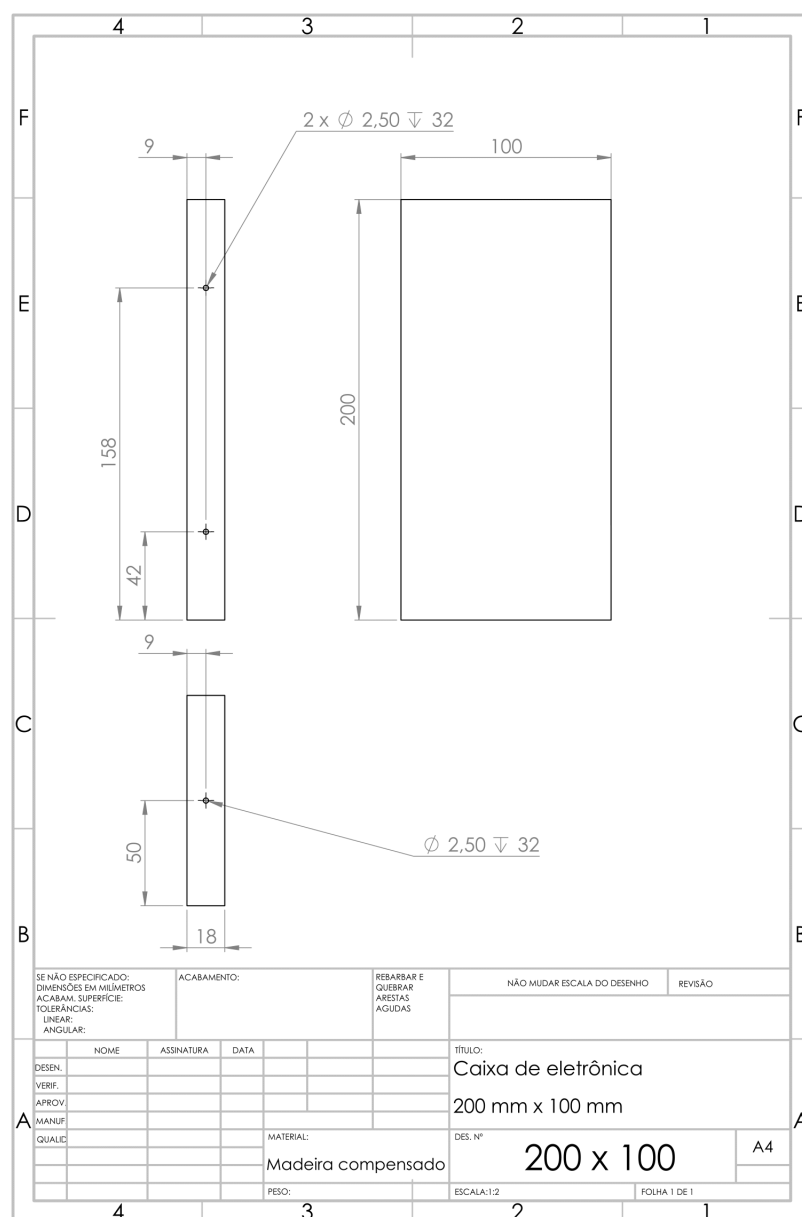


Figura 11 – Planta Caixa Eletrônica



Figura 12 – Planta Cooler

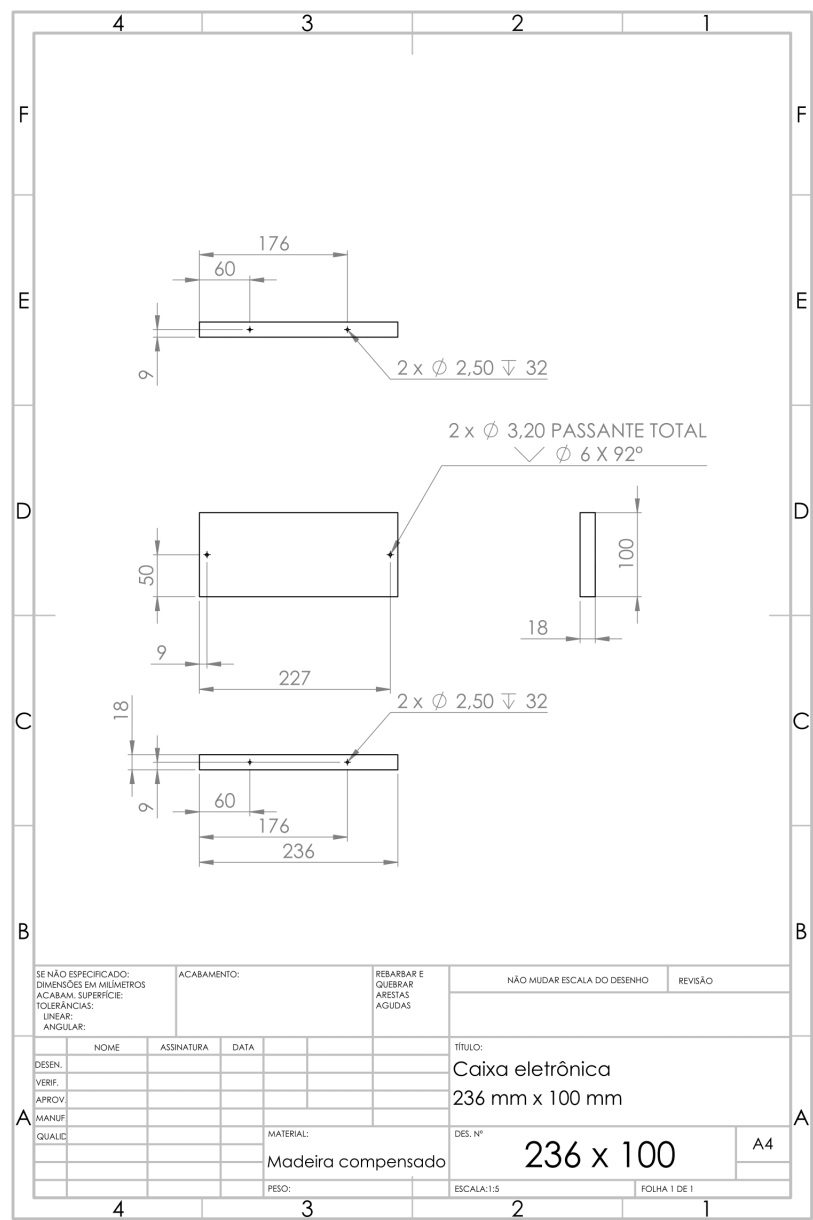


Figura 13 – Planta Caixa Eletrônica

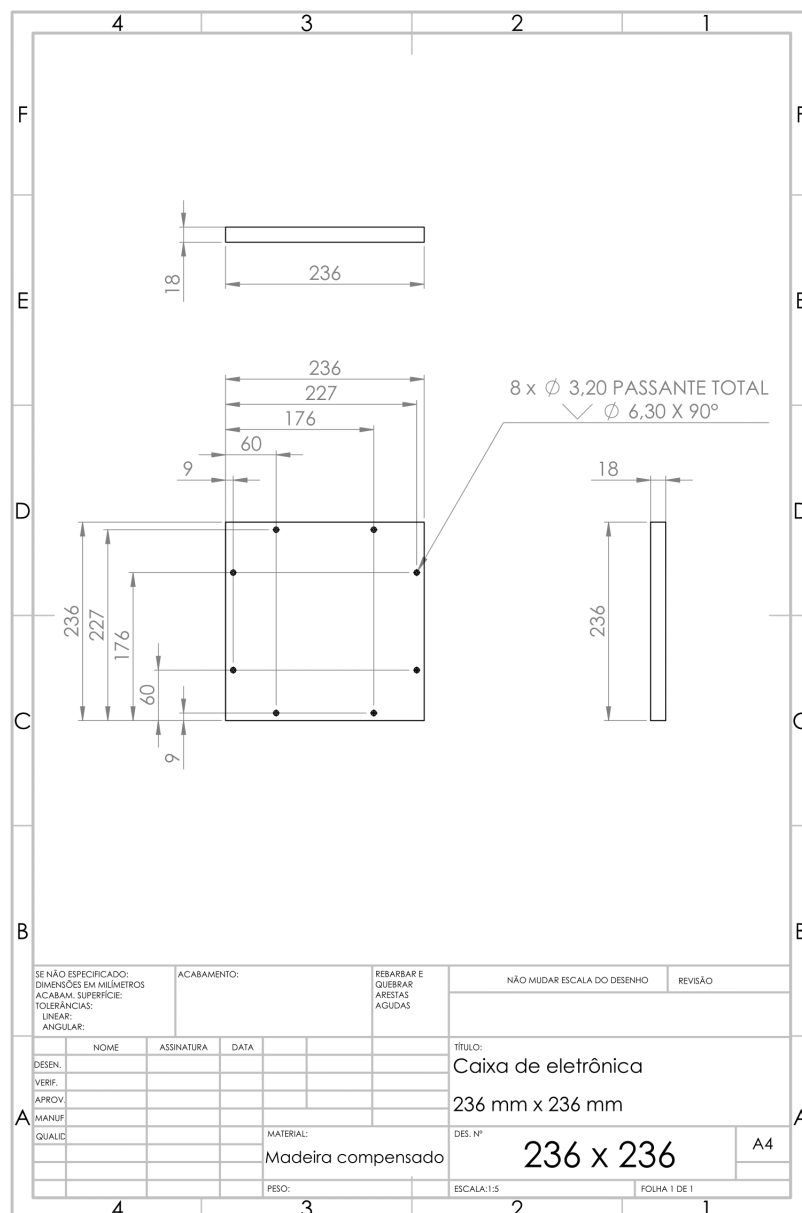


Figura 14 – Planta Caixa Eletrônica

5.2 CAD do Forno

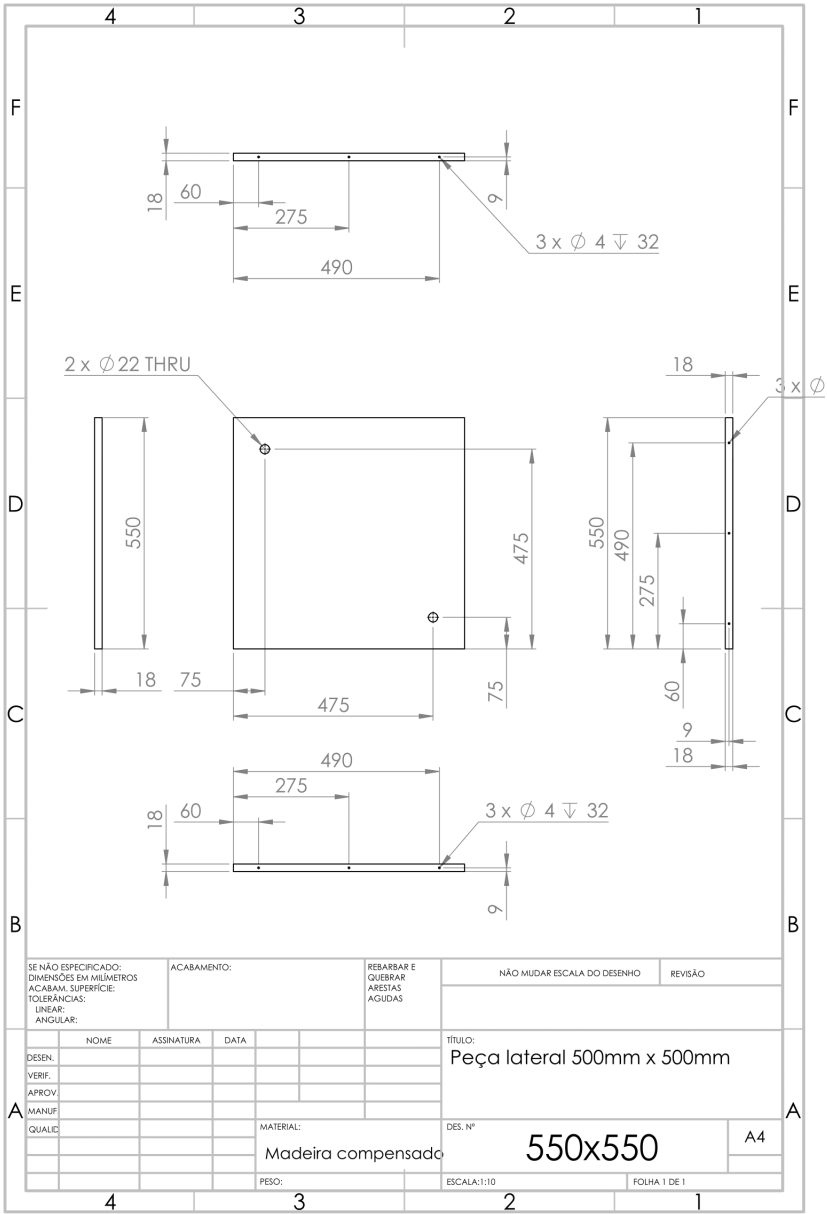


Figura 15 – Planta Planta Peça Lateral

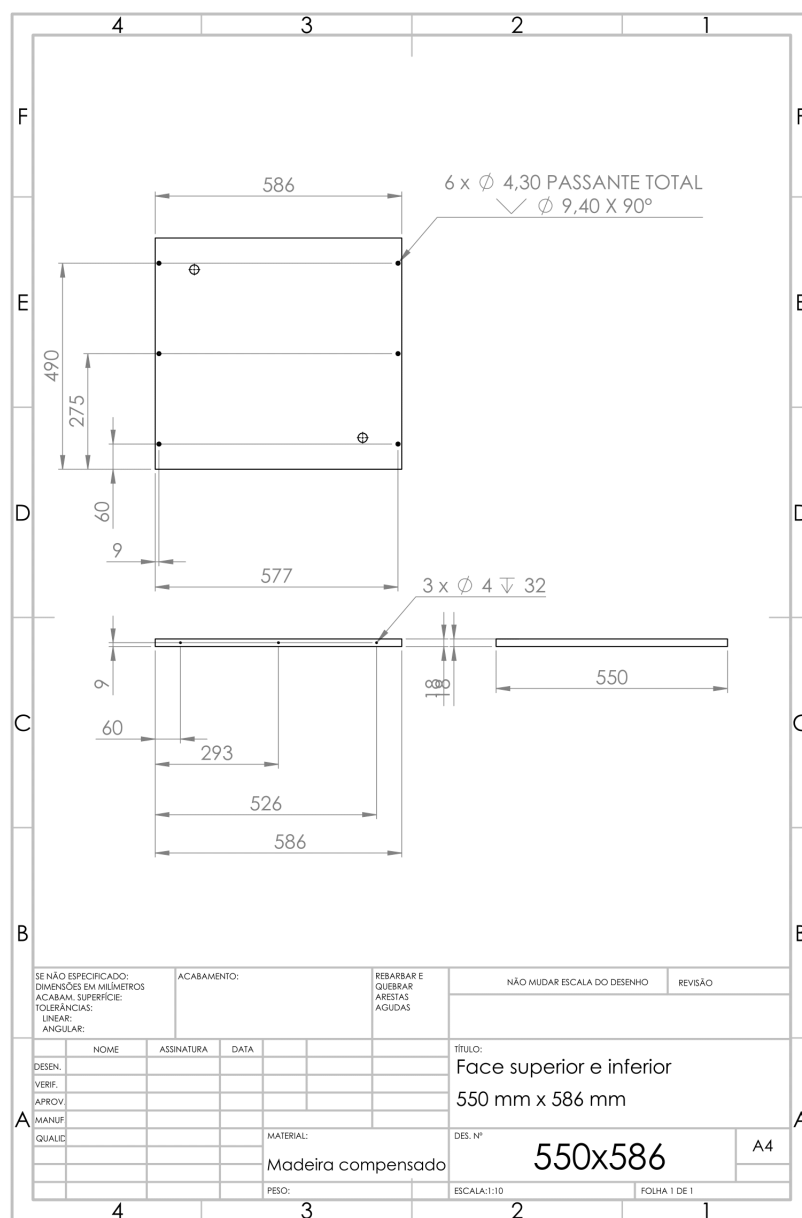


Figura 16 – Planta Face Superior e Inferior

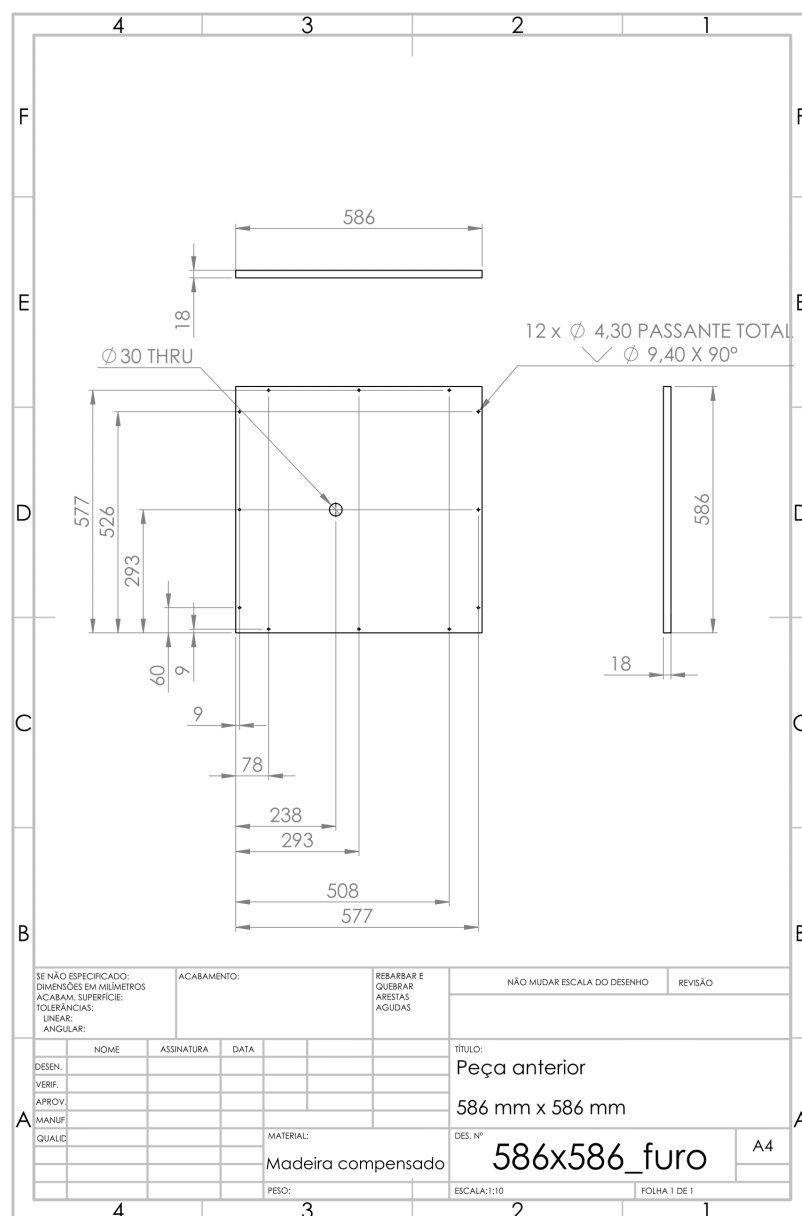


Figura 17 – Planta Peça Anterior

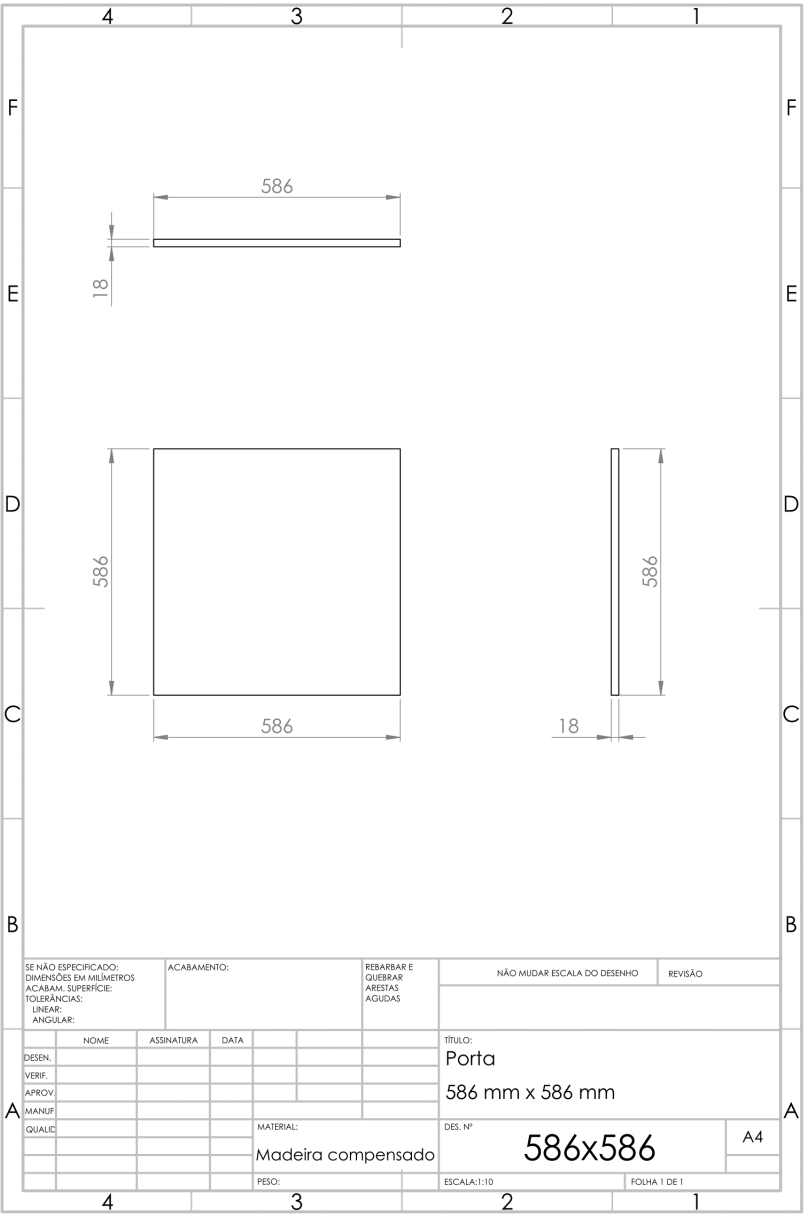


Figura 18 – Planta Porta

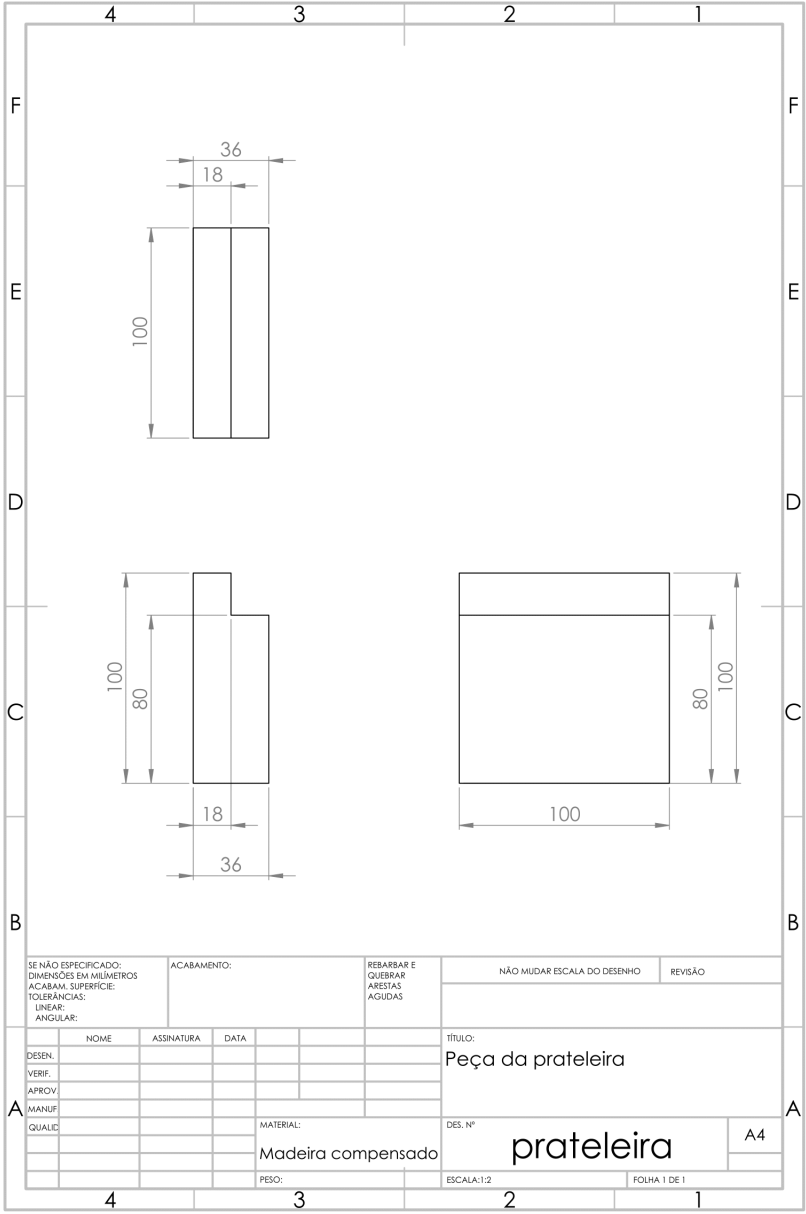


Figura 19 – Planta Prateleira

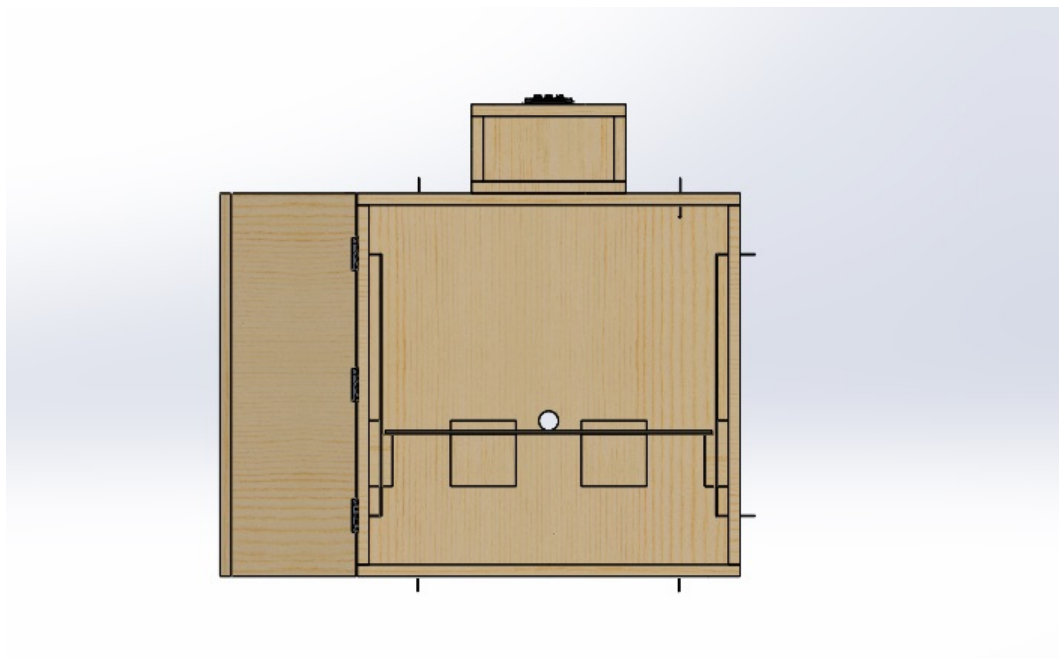


Figura 20 – Vista frontal

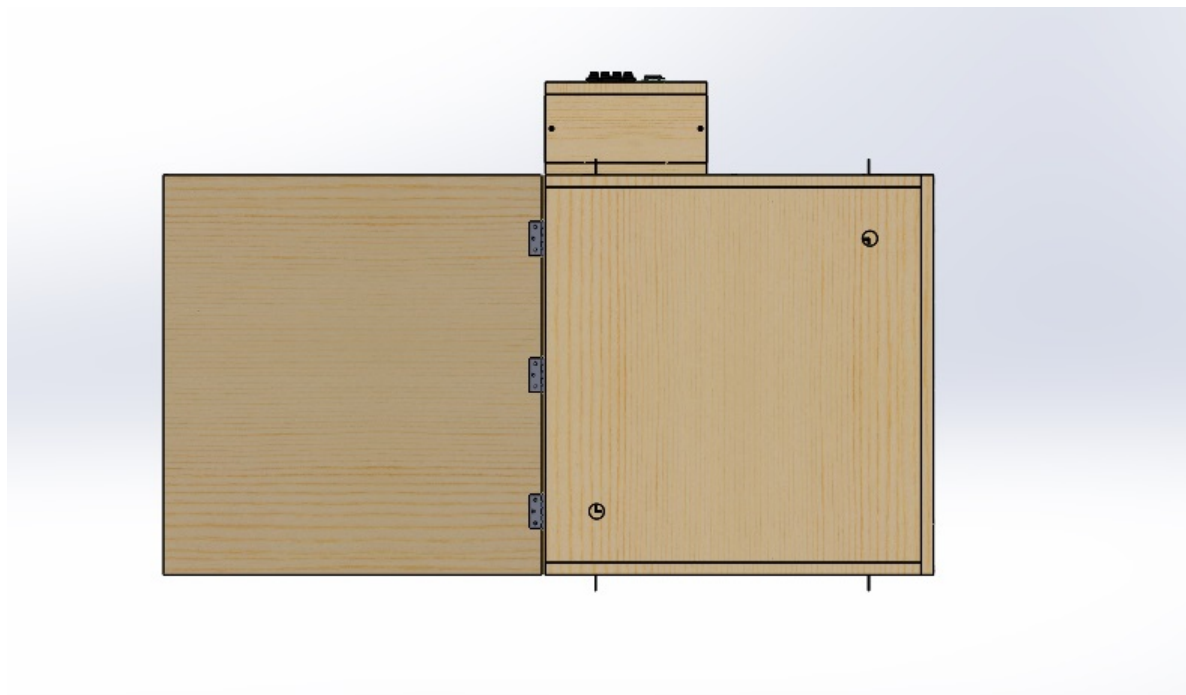


Figura 21 – Vista lateral

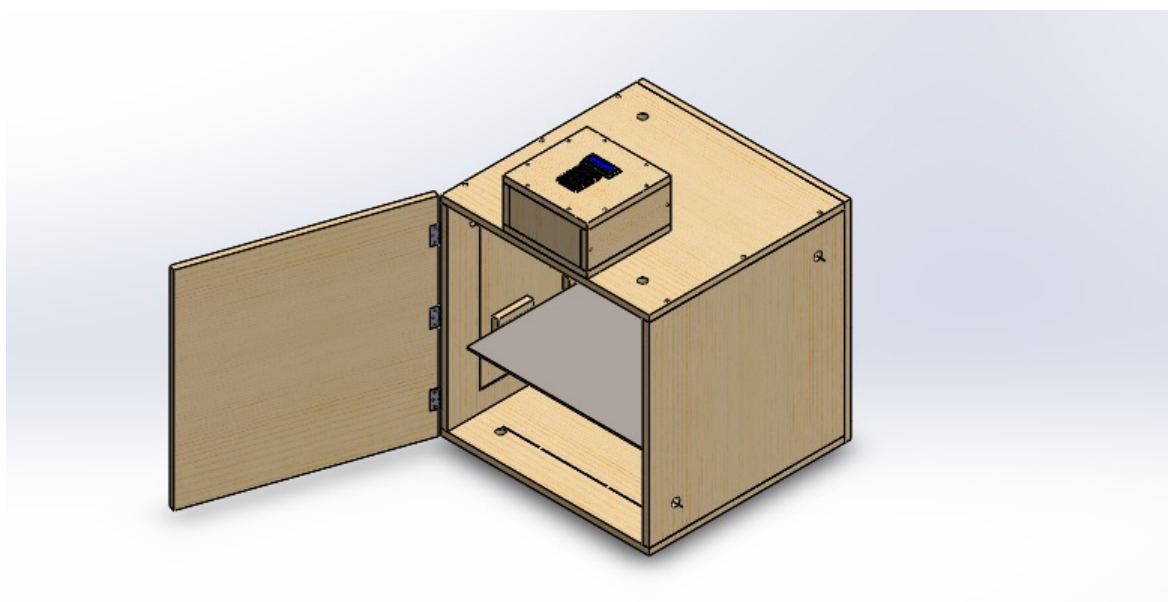


Figura 22 – Vista isometrica

Parte V

Conclusão

Conclusão

Uma vez que se encontram definidas a documentação do projeto, orçamento, cálculos que justifiquem os componentes eletrônicos e componentes da estrutura física, a parte teórica do projeto pode ser considerada como definida. É certo que no desenvolvimento do forno podem surgir variações no orçamento e nas partes constituintes do objeto em questão, mas as variações tendem a ser pequenas e podem ser até mesmo previstas de acordo com os cálculos e testes, de modo que não ocorram grandes variações no produto final. O forno encontra-se em andamento, e maiores informações sobre o preparo e a montagem serão abrangidos no Ponto de Controle 3, assim como o processo de desenvolvimento da parte eletrônica e de software.

Parte VI

Referências

Referências

LIGANDO uma lâmpada com módulo relé. Disponível em:
<<https://www.arduinoecia.com.br/2013/02/ligando-uma-lampada-com-rele.html>>.
Acesso em: 01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

SONS no Arduino usando buzzer. Disponível em:
<<https://www.arduinoecia.com.br/2013/06/sons-no-arduino.html>>. Acesso em:
01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

MOREIRA, Fernando. Controle PWM de Motor com Arduino ou Teste de Servo com Arduino. Disponível em: <<http://aerodelosdrones.blogspot.com/2017/05/controle-pwm-de-motor-com-arduino.html>>. Acesso em: 01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

EL potenciômetro. Disponível em: <<http://www.iescamp.es/miarduino/2016/02/15/el-potenciometro/>>. Acesso em: 01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

KRASNHAK, Vagner. Módulo I2C com LCD. Disponível em:
<<https://www.up.edu.br/blogs/engenharia-da-computacao/2016/09/29/tutorial-modulo-i2c-com-lcd/>>. Acesso em: 01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

MOTA, Allan. Medindo temperatura com Arduino. Disponível em:
<<https://portal.vidadesilicio.com.br/lm35-medindo-temperatura-com-arduino/>>.
Acesso em: 01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

COMO piscar um led com efeito fader. Disponível em:
<<http://www.comofazerascosas.com.br/projeto-arduino-como-piscar-led-com-efeito-fader.html>>. Acesso em: 01 nov. 2018. Nenhuma citação no texto.

COOK, R. D, MALKUS, D. S. PLESHA, M. E., (1989) – “Concepts and Applications of Finite Element Analysis”, John Wiley Sons, New York; Nenhuma citação no texto.

RIBAS, Guilherme; RODRIGUES, Leandro. Dimensionamento de uma estufa para secagem de compósitos de fibra de carbono. 2013. 46 f. Dissertação (Bacharel em Engenharia Mecânica)- FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA, Horizontina, 2013. Nenhuma citação no texto.