

**ESCOLA TÉCNICA DO CENTRO PAULA SOUZA**

**ETEC PHILADELPHO GOLVÊA NETTO**

**Técnico em Mecânica**

**Fernando Alves dos Santos Dornelas**

**João Pedro Domingues**

**Leonardo Barreto Gonçalves**

**Marcos Paulo Ferreira**

**FORNO DE FUNDIÇÃO**

**SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – SP**

**2022**

**Fernando Alves dos Santos Dornelas**

**João Pedro Domingues**

**Leonardo Barreto Gonçalves**

**Marcos Paulo Ferreira**

## **FORNO DE FUNDIÇÃO**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Mecânica da Etec Philadelpho Gouvêa Netto, orientado pelo Prof. Sidnei Cavassana como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Mecânica.

**SÃO JOSÉ DO RIO PRETO – SP**

**2022**

Dedico à família e amigos, sem os quais não seria possível chegar até aqui.

Expresso minha gratidão à toda minha família e amigos pelo apoio e incentivo dado. Agradeço também a todos os professores, coordenador e orientador do Curso Técnico de Mecânica, que desde o princípio nos ajudaram a construir novos conhecimentos, compartilhando suas experiências sem medir esforços.

“O único lugar onde o sucesso vem antes  
do trabalho é no dicionário.”

ALBERT EINSTEIN

## APOIO

Diversas empresas contribuíram com o projeto, doando produtos para confecção do forno de fundição de pequeno porte e os materiais necessários para confecção das peças para testagem. Os autores expressam seus maiores agradecimentos aos patrocinadores, pois foram peças chaves para alcançar os objetivos esperados.



### **NEW HOLLAND**

Endereço: Av. Percy Gandini, 2035 - Vila Toninho, São José do Rio Preto - SP, 15077-000  
Telefone: (17) 3238-3922



### **FUNDIÇÃO GIACCHETTO**

Endereço: Av. Feliciano Sáles Cunha, 2000 - Jardim Novo Aeroporto, São José do Rio Preto - SP, 15035-000  
Telefone: (17) 3232-8998



### **ETEC PHILADELPHO GOUVÊA NETTO**

Endereço: Av. dos Estudantes, 3278 - Jardim Novo Aeroporto, São José do Rio Preto - SP, 15035-010  
Telefone: (17) 3233-9266



### **AGTECH AGROTECNOLOGIA**

Endereço: R. Ulisses Jamil Cury, 810 - Distrito Industrial Dr. Ulysses da Silveira Guimaraes, São José do Rio Preto - SP, 15092-601  
Telefone: (17) 3305-5700



### **FATO INOX - CORRIMÃO E GUARDA CORPO**

R. André Bolsone, 280 - Jardim Felicidade, São José do Rio Preto - SP, 15052-354  
Telefone: (17) 99667-1400

## RESUMO

O projeto experimental desenvolveu um forno para fundição de metais, que possibilite a fusão dos metais, com o objetivo de criar peças para diversas funcionalidades, podendo ser usado em oficinas de pequeno porte ou como apoio didático em escolas técnicas na área de metalurgia, entre outras. Sua utilização é simples, desde que acompanhada por uma pessoa capacitada para executar o processo.

**Palavras-chave:** Forno de fundição. Ligas metálicas. Metalurgia.

## **ABSTRACT**

The experimental project intends to develop a metal casting furnace, which allows the formation of new metallic alloys, with the objective of creating parts for several functionalities, and can be used in small workshops or as didactic support in technical schools in the metallurgical area, among others. Its use is intelligible, as long as it is accompanied by a qualified person to execute the process.

**Keywords:** Melting furnace. Metallic alloys. Metallurgy.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Acessórios de tubulação.....	13
Figura 2 - Bloco de motor.....	14
Figura 3 - Mancal.....	14
Figura 4 - Eixo.....	15
Figura 5 - Modelo/moldagem.....	15
Figura 6 - Modelo de molde.....	16
Figura 7 - Ilustração do molde de fundição colapsáveis.....	16
Figura 8 - Ilustração do molde de fundição permanente.....	17
Figura 9 - Areia verde.....	17
Figura 10 - Macho.....	18
Figura 11 - Ilustração da fusão.....	18
Figura 12 - Ilustração do processo de vazamento.....	19
Figura 13 - Etapas do processo de fundição.....	19
Figura 14 - Forno de cúpula.....	20
Figura 15 - Forno por indução .....	20
Figura 16 - Forno elétrico.....	21
Figura 17 - Estrutura do protótipo do forno de pequeno porte.....	22
Figura 18 - Massa refratária.....	23
Figura 19 - Tijolo refratário.....	23
Figura 20 - Estrutura do forno de pequeno porte com revestimento refratário.....	24
Figura 21 - Cadinho confeccionado pelo grupo.....	25
Figura 22 - modelo impresso 1.....	26
Figura 23 - Molde fechado com o líquido já vazado.....	27

Figura 24 - Teste 1.....	27
Figura 25 - Modelo impresso na areia verde.....	28
Figura 26 - Teste 2.....	28

# SÚMARIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>1.1 Justificativa.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>12</b>
<b>1.3 Metodologia.....</b>	<b>12</b>
<b>2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2.1 Modelo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Moldes.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2.1 Areia Verde.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Machos.....</b>	<b>17</b>
<b>2.4 Fusão.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5 Vazamento.....</b>	<b>18</b>
<b>2.6 Desmoldagem.....</b>	<b>19</b>
<b>2.7 Acabamento.....</b>	<b>19</b>
<b>3 PROTÓTIPO DO FORNO DE FUNDIÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Revestimento Refratário.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Cadinho.....</b>	<b>24</b>
<b>4 RESULTADOS.....</b>	<b>26</b>
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>6 CRONOGRAMA.....</b>	<b>30</b>
<b>7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>31</b>
<b>8 ANEXOS.....</b>	<b>32</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Grandes indústrias metalúrgicas utilizam fornos para fundição em grande escala para confeccionar peças para as mais diversas funções, como peças automotivas, alimentícias, objetos decorativos, joias, bijuterias, entre outros. Porém, para empresas de pequeno porte, tais como oficinas, é inviável fazer a aquisição de máquinas de grande porte, por isso, foi observado a necessidade de pensar-se em meios alternativos para que essas empresas consigam realizar esse processo, com um preço acessível.

O projeto visa construir um forno de pequeno porte para fundição de metais, que possibilite transformar ligas metálicas em peças finais de variadas funcionalidades. O protótipo foi desenvolvido pensando em atender a demanda de pequenas oficinas ou como apoio didático em escolas técnicas na área de metalurgia.

### 1.1 Justificativa

A fundição é um processo barato e viável para criar novas peças praticamente acabadas, caso não fosse, seria necessário utilizar o processo de usinagem, qual tem um custo mais elevado.

### 1.2 Objetivos

Nas aulas do curso técnico em mecânica, percebeu-se a necessidade de atrelar a prática aos conhecimentos teóricos, pois surgiram dúvidas em como utilizar os conhecimentos adquiridos na rotina de trabalho das oficinas, por exemplo. São apresentados, a seguir, os objetivos desse trabalho para a construção do forno de fundição de pequeno porte, com o propósito de possibilitar a confecção de peças de diferentes aplicabilidades.

#### 1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo geral criar um pequeno forno de fundição a partir de um cilindro de gás de ar condicionado, de dois quilos, preenchido internamente

com concreto refratário. Tem como fonte de energia Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), utilizando queimador atmosférico.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Confeccionar moldes e criar peças através dos mesmos;
- Realizar aquisição dos materiais necessários para fabricação do protótipo e das peças;
- Trabalhar com procedimentos de usinagem para dar acabamento nas peças produzidas;
- Fazer testes e modificações necessárias.

### 1.3 Metodologia

Durante o desenvolvimento do projeto foi adotada uma metodologia que integra os conhecimentos teóricos construídos ao decorrer das aulas, como: soldagem, usinagem, fundição, metrologia, estudos dos materiais, entre outros, com a prática, realizando pesquisas bibliográficas para embasamento teórico.

## 2 PROCESSO DE FUNDIÇÃO

Para desenvolver um forno de fundição de pequeno porte, foi realizado uma pesquisa com referencial teórico para dar embasamento no desenvolvimento do projeto.

Na área da metalurgia, o processo de fundição é o mais multifuncional que existe, pois ele contempla as propriedades mecânicas, físicas e da forma ao objeto. E é justamente por essa multivalência que as grandes indústrias estão investindo cada vez mais, para que possam atender as demandas de fabricação das mais diversas peças e componentes metálicos com diferentes modelos e complexidades.

Segundo César (2022), “o processo de fundição consiste basicamente na produção de peças no formato desejado, através do metal líquido colocado em moldes que após o resfriamento se solidifica resultando em uma peça praticamente finalizada”. Fundição é uma técnica utilizada para confeccionar peças utilizando diversos tipos de ligas de metais, que são elevadas a altas temperaturas, levando-as ao estado líquido, ou seja, fundida. Posterior a isso, esse líquido é posto em moldes permanentes ou descartáveis, no qual irá esfriar e ficar sólido, dando forma a peça proposta, logo que retirado o molde, podendo dar origem a peças finalizadas ou semiacabadas.

Abaixo segue exemplos de aplicações do processo de fundição:



Figura 1: acessórios de tubulação



Figura.2: bloco de motor



Figura 3: mancal



Figura 4: eixo

O processo de fundição passa por seis etapas, sendo a primeira a fabricação de moldes, depois a fabricação dos machos, a fusão do metal, o enchimento da matéria prima nos moldes, o desmolde e por fim, o acabamento.

## 2.1 Modelo

Nesta etapa se constrói um modelo com o formato da peça a ser produzida durante o processo de fundição. Importante ressaltar que o modelo é diferente do molde.

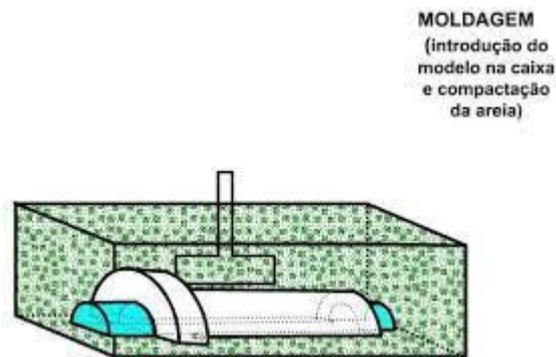


Figura 5: modelo/moldagem

## 2.2 Moldes

O molde, no processo de fundição, a primeira etapa para a construção da peça projetada. Ele é um receptáculo preparado para receber o material em estado líquido, podendo ser feito de madeira, metal, resina plástica, isopor, ao qual pode ser permanente ou não. Essa etapa é primordial para receber com eficácia a etapa de vazamento, pois é no molde que o líquido passará para o estado sólido, porém dando o formato desejado para a peça que está sendo fabricada.

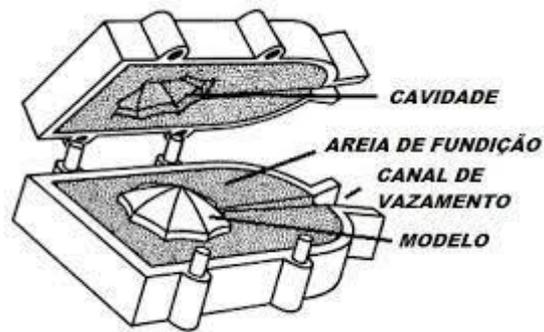


Figura 6: modelo de molde

Existe, em suma, dois tipos de moldes, sendo de fundição colapsáveis, que são descartáveis, pois para retirar a peça é necessário quebra-lo. Esses, podem ser feitos de areia, gesso e materiais cerâmicos, ou pode ser feito com moldes permanentes, ao qual são abertos, para retirada das peças.

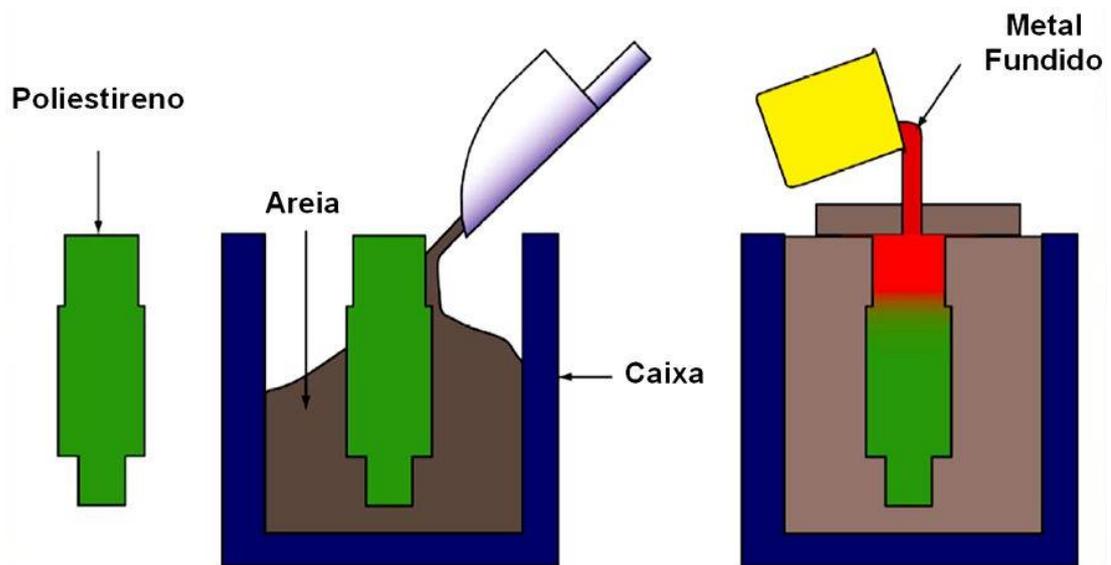


Figura 7: ilustração do molde de fundição colapsáveis

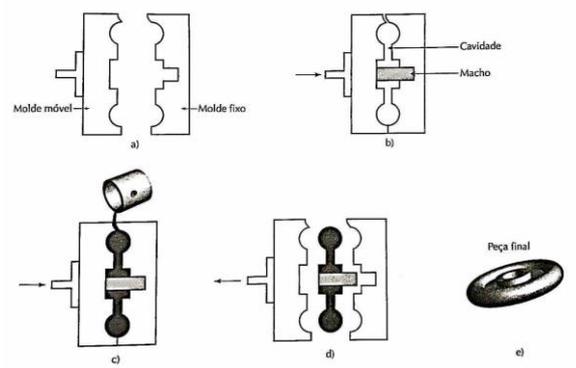


Figura 8: ilustração do molde de fundição permanente

### 2.2.1 Areia Verde

A areia verde é utilizada no processo de fundição, pois se trata de um material barato e de simples acesso, inclusive pode ser reutilizável, deixando o custo mais baixo ainda. Para utiliza-la primeiro é necessário confeccionar o molde, que é a cavidade que o líquido será posto, ao qual deve conter uma superfície lisa e sem qualquer tipo de contaminação, para que possa haver um bom acabamento da peça projetada.



Figura 9: areia verde

### 2.3 Machos

Os machos são dispositivos geralmente fabricados em areia sheel, com a finalidade de formar os vazios e furos da peça e precisam ser colocados no molde antes do metal líquido.

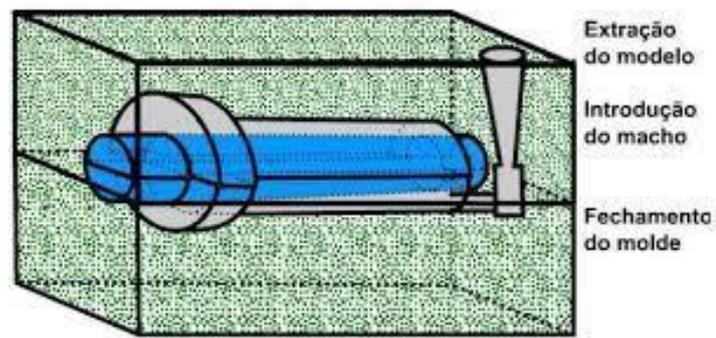


Figura 10: macho

## 2.4 Fusão

No processo de fusão, o metal é levado ao forno e submetido a elevadas temperaturas, até que se atinja o chamado ponto de fusão. No ponto de fusão, o metal passa do seu estado sólido para o estado líquido.

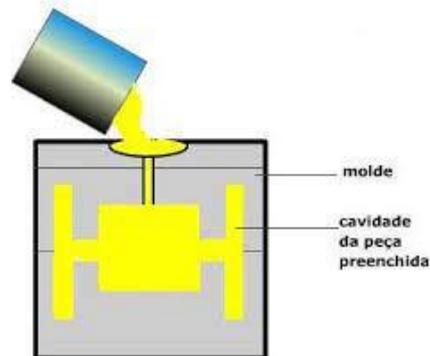


Figura.11: ilustração da fusão

## 2.5 Vazamento

O processo de vazamento consiste no enchimento dos moldes pré-fabricados com o material líquido retirado do forno. Nesta etapa, o molde será responsável por imprimir o formato desejado no metal em seu estado líquido.

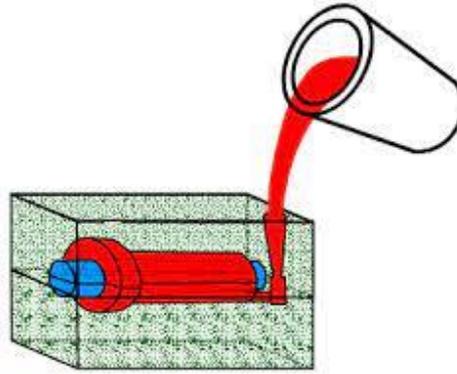


Figura 12: ilustração do processo de vazamento

## 2.6 Desmoldagem

A desmoldagem consiste na retirada da peça do molde. Moldes colapsáveis só podem passar por um processo de desmoldagem, enquanto que moldes permanentes podem passar por este processo diversas vezes.

## 2.7 Acabamento

Após a desmoldagem a peça apresentará algumas rebarbas que são retiradas por processos de usinagem e lixamento.

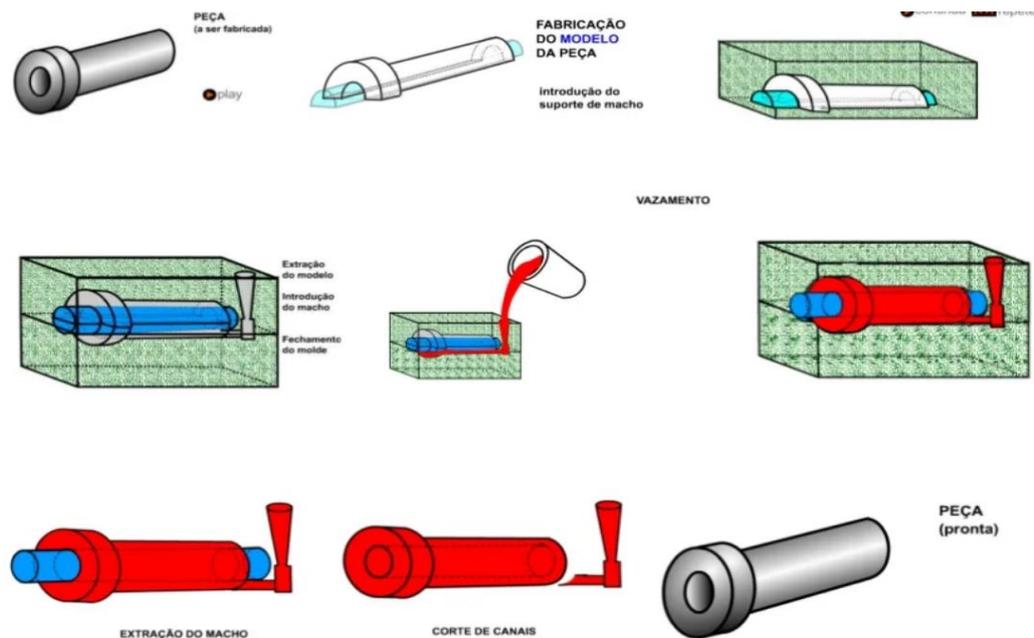


Figura 13: etapas do processo de fundição

### 3 PROTÓTIPO DO FORNO DE FUNDIÇÃO

Há no mercado, hoje, vários modelos de fornos de fundição, como cúpula, indução e fornos elétricos. O forno de cúpula, conhecido por ser o mais antigo, é feito de argila, tijolos e alguns outros materiais para proteger a fornalha, ao qual a cúpula é levada a alta temperatura, junto com os elementos que foram levados dentro dela para derreter. O forno por indução, mais modernizado, utiliza de meios elétricos combinados com uma corrente alternada para criar calor necessário para fundir os elementos desejados. E os fornos elétricos, por sua vez, realizam uma indução, em que as barras de carbono são aquecidas por meios elétricos, criando uma temperatura elevado que possibilita fundir o elemento desejado. Para o protótipo realizado, foi usado como inspiração o modelo de forno de cúpula.



Figura 14: forno de cúpula



Figura 15: forno por indução



Figura 16: forno elétrico

O processo de fabricação do forno partiu do momento em que foi adquirido o cilindro de gás, utilizado em instalações de ar-condicionado automotivo. Assim, foi cortado ao meio e soldado o sistema de dobradiças, para que possua uma tampa articulada. Ainda no cilindro foi realizado a furação no local onde se posicionaria o queimador, foi necessário realizar fora de centro, na intenção de melhorar o processo de queima. No mesmo furo foi realizado soldagem de um tubo de maior diâmetro, para o encaixe do queimador. A parte superior (tampa), ouve a necessidade de furar o centro para que haja saída dos gases e que possa ter visualização do material que está em seu interior. Na parte exterior foram adicionados alguns acessórios para melhorar a segurança e o posicionamento do forno, como alça e pés. Na parte interna ouve a necessidade de realizar uma armação, com ferro redondo para que o material refratário ganhe resistência.



Figura 17: estrutura do protótipo do forno de pequeno porte

### 3.1 Revestimento refratário

Para realização do protótipo, um tipo de liga refrataria, que atendia as necessidades do forno de fundição, por se tratar de um forno compacto, não havia espaço suficiente para assentar tijolos refratários, e se o revestimento fosse somente com massa refrataria, poderia haver trincas e ou até mesmo quebra da mesma. Com isso foi criado uma espécie de liga refratária unindo a terra refratária com o tijolo refratário quebrado em pequenos pedaços (tipo brita), chegando assim a uma massa fácil de modelar no interior do forno, com resistência a temperatura.



Figura 18: massa refratária



Figura 19: tijolo refratário

Com a parte estrutural do forno pronta, foi realizado o revestimento com o material refratário, sendo assim, com um tubo de PVC de 6" posicionado no centro do forno, para que seja feito o molde da parte interior do forno, adicionando o material refratário em sua volta, sendo assim formando uma parede refrataria, o mesmo processo foi realizado na tampa, a única diferença foi o furo central de menor diâmetro 2". Para a o revestimento usado no forno foram usados os materiais nas tais proporções: 10kg de Terra refratária; 5 Tijolos refratários; 2 kg de cimento; 3 l de água.

Segundo Viven (2022),

A Terra Refratária é um cimento refratário seco, cujo preparo requer adição de água para atingir a consistência adequada para aplicação. Sua aplicação é recomendada ao assentamento e rejuntamento de peças e alvenarias refratárias em geral, tais como fornos industriais (rotativos, túnel, sinterização, cadinhos, cerâmicas, laminações, caldeiras, fundições, indução, etc.) e construção civil (churrasqueiras, lareiras, fornos de pizzas, fogão a lenha e etc.). A terra refratária seca para uso geral (pega ao ar, hidráulica ou cerâmica), é composta por produtos sílico-aluminosos (até 1.500 °C), aluminosos (até 1.700 °C) e silicosos. (VIVEN, 2022)



Figura 20: estrutura do forno de fundição de pequeno porte com o revestimento refratário

Para o queimador foi necessário realizar a compra de alguns materiais, para que fosse possível a sua montagem, sendo a mangueira de alta pressão, giclê de fogão, registros, tubo de inox e abraçadeiras. Para sua montagem foi realizado a fabricação de um adaptador, para a fixação do registro e giclê no tubo de inox e a fabricação do difusor no tubo para controle da entrada de oxigênio.

### 3.2 Cadinho

Para realizar a fundição de materiais é necessário um recipiente capaz de suportar tamanhas temperaturas, que pode ser feito de diversos materiais, porém deve ser de extrema resistência. O mais comum é encontrar cadinhos feitos de cerâmica, porém, o de cerâmica não coube dentro do protótipo realizado e não atingiu a segurança mínima necessário para realização das peças, por tanto, foi necessário confeccionar um cadinho de aço inox, que atingisse os resultados esperados de sua função.



Figura 21: cadinho confeccionado pelo grupo

## 4 RESULTADOS

Foi necessário realizar alguns testes para averiguar a funcionalidade do forno de fundição de pequeno porte, e para isso foi realizado o molde com areia verde, como especificado na pesquisa acima. O primeiro teste foi realizado com o material de bronze, ao qual foi utilizado um modelo feito na impressora 3D, em formato de barra de ouro. O primeiro teste teve êxito na finalização, chegando a um produto final com qualidade.



Figura 22: primeiro modelo impresso



Figura: 23: molde fechado com o líquido já vazado



Figura 24: teste 1

No segundo teste, foi trocado o elemento, utilizando alumínio, porém, não houve tanto êxito, no produto final, como no primeiro teste, pois a peça saiu com imperfeições. O erro avaliado pela equipe, foi na altura do posicionamento da entrada do metal fundido, e a humidificação da areia verde.

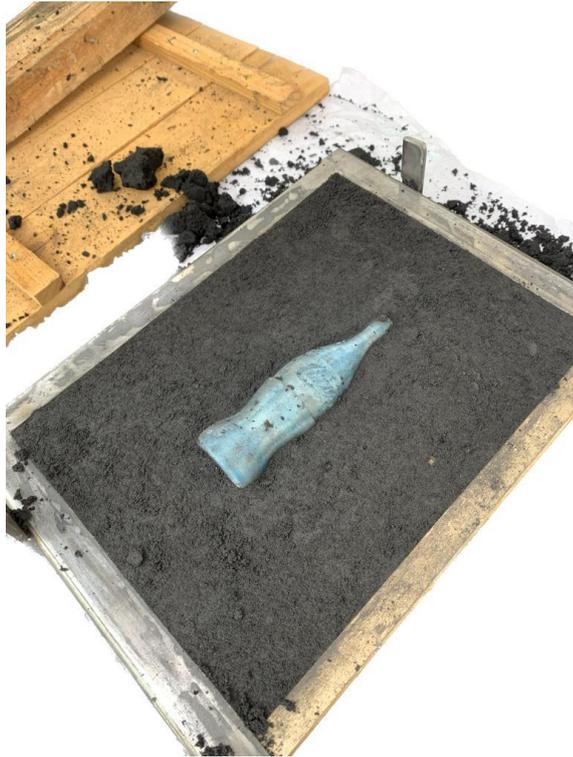


Figura 25: modelo impresso na areia verde



Figura 26: teste 2

## 5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o projeto do forno de fundição de pequeno porte atingiu seus objetivos com o apoio das empresas parceiras para adquirir os materiais necessários para fabricação do mesmo e das peças foi possível confeccionar moldes e criar peças novas através dos mesmos, possibilitando o trabalho com usinagem para acabamento das peças produzidas, através de testes e modificações necessárias ao decorrer do desenvolvimento.

O trabalho possibilitou integrar a parte teórica estudada ao decorrer dos semestres do curso técnico em Mecânica, a parte prática, que foi adquirida ao decorrer do desenvolvimento do protótipo e dos testes que foram realizados, dando oportunidades para aprimorar ainda mais os conhecimentos construídos ao decorrer do curso.

## 6 CRONOGRAMA

ETAPAS	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO
I - Estabelecimento do orientador	■			
II – Definição do tema do TCC		■		
III – Elaboração dos materiais do projeto			■	
IV – Definições do custo dos materiais			■	
V – Ajustes no projeto em relação ao custo dos materiais			■	
VI – Criando um esboço do projeto			■	
VII – Redação do TCC				■
VIII – Análise dos resultados				■
IX – Apresentação do TCC				■

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CADINHO DE FUNDIÇÃO. **3M recuperadora**, 2022. Disponível em: <<https://www.3mrecuperadora.com.br/cadinho-fundicao#:~:text=O%20cadinho%20fundido%20%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9%20uma,etapas%20do%20processo%20de%20fundido%20%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 02 de outubro de 2022.

FORNO DE FUNDIÇÃO. **Sieca Equipamentos**, 2022. Disponível em: <[https://www.sieca.com.br/forno-fundicao#:~:text=No%20mercado%20existem%20muitas%20op%C3%A7%C3%B5es,que%20geram%20um%20arco%20el%C3%A9trico](https://www.sieca.com.br/forno-fundicao#:~:text=No%20mercado%20existem%20muitas%20op%C3%A7%C3%B5es,que%20geram%20um%20arco%20el%C3%A9trico.)>. Acesso em: 09 de outubro de 2022.

FUNDIÇÃO, o que é e como funciona? **Ferramental**, 2021. Disponível em: <<https://www.revistaferramental.com.br/artigo/fundicao-o-que-e-e-como-funciona/>>. Acesso em: 02 de outubro de 2022

MOLDE DE FUNDIÇÃO. **Monferrato**, 2022. Disponível em: <<https://monferrato.com.br/o-que-e-um-molde-de-fundicao-quais-sao-os-seus-tipos/>>. Acesso em: 09 de outubro de 2022.

SOUSA, Eduardo. O que são e para que servem os tijolos refratários? **Arch Daily**, 2020. Disponível em: <[https://www.archdaily.com.br/br/949948/o-que-sao-e-para-que-servem-os-tijolos-refratarios#:~:text=Para%20usos%20domésticos%20C%20como%20fornos,sílica%20é%20um%20excelente%20isolante](https://www.archdaily.com.br/br/949948/o-que-sao-e-para-que-servem-os-tijolos-refratarios#:~:text=Para%20usos%20domésticos%20C%20como%20fornos,sílica%20é%20um%20excelente%20isolante.)>. Acesso em: 16 de outubro de 2022.

TERRA REFRASTRÁRIA. **Grupo Refratil**, 2022. Disponível em: <[https://www.refratil.com.br/produto/terra-refrataria#:~:text=A%20Terra%20Refratária%20é%20um,a%20consistência%20adequada%20para%20aplicação](https://www.refratil.com.br/produto/terra-refrataria#:~:text=A%20Terra%20Refratária%20é%20um,a%20consistência%20adequada%20para%20aplicação.)>. Acesso em: 08 de outubro de 2022.

## 8 ANEXOS

### ANEXO A – TABELA DOS MATERIAIS COMPRADOS PARA CONFECÇÃO DO PROTÓTIPO

MATERIAL COMPRADOS	QUANT	VALOR
MANGUEIRA	3m	R\$45,00
REGISTRO	2 unid	R\$18,90
RAMAL	1 unid	R\$16,50
INJETOR	1 unid	R\$5,90
TUBO DE PVC 6 POLEGADAS (30cm)	1 unid	R\$19,50
PARAFUSO BROCANTE	20 unid	R\$12,00
MASSA REFRACTARIA	5 kg	R\$25,00
TIJOLO REFRACTARIO	10 unid	R\$30,00
BOTIJÃO DE GÁS	1 unid	R\$110,00

<b>TOTAL GASTO</b>	R\$282,80
--------------------	-----------

### ANEXO B – TABELA DOS MATERIAIS DOADOS PELAS EMPRESAS PARCEIRAS

MATERIAL DOADOS E SUCATA	DOAÇÃO E SUCATA
BOTIJÃO DE AR CONDICIONADO	NEW HOLLAND
TUBO E CHAPA PARA CADINHO	WM TECNOLOGIA (MIRASSOL)
CANO DE INOX	NEW HOLLAND
MATERIAIS PARA FERRAMENTAS	NEW HOLLAND
AREIA VERDE	FUNDIÇÃO GIACCHETTO
FLUXO	FUNDIÇÃO GIACCHETTO
CIMENTO	ETEC PHILADELPHO GOUVÊA NETTO
VALVULA CORTA CHAMA	NEW HOLLAND