



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS**

**CAMPUS MANAUS CENTRO  
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNO DE ASSIS FREITAS**

**PROJETO E FABRICAÇÃO DE UMA FORJA A GÁS PARA CUTELARIA**

**MANAUS**

**2022**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO  
AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS CENTRO  
DEPARTAMENTO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS  
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**BRUNO DE ASSIS FREITAS**

**PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FORJA A GÁS PARA CUTELARIA**

Projeto de pesquisa apresentado à unidade curricular de Trabalho de Conclusão de Curso, submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas – Campus Manaus Centro, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof.(a) Miécio de Oliveira Melquiades.

**MANAUS**

**2022**

**Biblioteca do IFAM- Campus Manaus Centro**

---

F866p Freitas, Bruno de Assis.  
Projeto e fabricação de uma forja a gás para cutelaria / Bruno de Assis  
Freitas. – Manaus, 2022.  
52 p. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica) – Instituto  
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus  
Centro, 2022.

Orientador: Prof. Me. Miécio de Oliveira Melquiades.

1. Engenharia mecânica. 2. Cutelaria artesanal. 3. Forja. 4. Queimador.  
I. Melquiades, Miécio de Oliveira. (Orient.) II. Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas IV. Título.

CDD 621

## RESUMO

A cutelaria é a arte milenar de elaboração de lâminas de corte. A faca é um dos instrumentos mais antigos usados pelo homem. Um dos equipamentos essenciais na cutelaria é a forja. A literatura é escassa em definir os parâmetros necessários para a construção de uma forja eficiente. Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo projetar e construir uma forja a gás para a produção de lâminas com até 250 milímetros de comprimento. Para o desenvolvimento, este trabalho dividiu-se em três etapas: o desenho da estrutura, a escolha do isolante térmico mais apropriado e a escolha do queimador, considerando o uso de materiais acessíveis para redução do custo e justificando o uso do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) como combustível. Como resultado foi obtido uma forja a gás com temperatura de trabalho média de 1200°C, com bom custo-benefício em relação às forjas convencionais.

**Palavras-chave:** Cutelaria Artesanal. Forja. Queimador.

## ABSTRACT

Cutlery is the ancient art of making cutting blades. The knife is one of the oldest instruments used by man. One of the essential pieces of equipment in cutlery is the forge. The literature is scarce in defining the necessary parameters for the construction of an efficient forge. In this context, this work aims to design and build a gas forge for the production of blades up to 250 millimeters in length. For the development, this work was divided into three stages: the design of the structure, the choice of the most appropriate thermal insulator and the choice of the burner, considering the use of accessible materials to reduce the cost and justifying the use of Liquefied Petroleum Gas (LPG) as fuel. As a result, a gas forge was obtained with an average working temperature of 1200°C, with good cost-effectiveness compared to conventional forges.

**Key words:** Handcrafted Cutlery. Forge. Burner.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Representação esquemática do recozimento, têmpera e revenido.....	17
<b>Figura 2:</b> Exemplo de estrutura da forja a carvão.....	18
<b>Figura 3:</b> Exemplo da forja a carvão acesa. ....	18
<b>Figura 4:</b> Composição de Hidrocarbonetos – GLP.....	20
<b>Figura 5:</b> Taxas de emissão de CO <sub>2</sub> desde a produção até a combustão por energia gerada (kg GJ-1) para os diferentes combustíveis. ....	21
<b>Figura 6:</b> Componentes de um queimador.....	23
<b>Figura 7:</b> Parâmetros de projeto para determinar dimensões do tubo Venturi. ....	24
<b>Figura 8:</b> Cilindro de fluido refrigerante.....	27
<b>Figura 9:</b> Retirada da alça e válvula do cilindro.....	27
<b>Figura 10:</b> Marcação das aberturas frontal e posterior da forja.....	28
<b>Figura 11:</b> Estrutura após a retirada da tinta.....	29
<b>Figura 12:</b> Detalhe da dobradiça da porta da forja. ....	29
<b>Figura 13:</b> Abertura lateral para o suporte do queimador. ....	30
<b>Figura 14:</b> Posicionamento das barras nas aberturas de exaustão. ....	30
<b>Figura 15:</b> Barras soldadas nas aberturas de exaustão.....	31
<b>Figura 16:</b> Peças de metalon para o suporte da forja.....	31
<b>Figura 17:</b> Chapa de aço de 2 mm de espessura.....	32
<b>Figura 18:</b> Chapa com recorte da curvatura do cilindro. ....	32
<b>Figura 19:</b> Chapas de suporte soldadas nas aberturas de exaustão posterior e frontal. ....	33
<b>Figura 20:</b> Peça de metalon para suporte do queimador. ....	33
<b>Figura 21:</b> Posicionamento e soldagem do suporte do queimador. ....	34
<b>Figura 22:</b> Pintura da estrutura da forja. ....	34
<b>Figura 23:</b> Marcação e recorte da fibra cerâmica. ....	35
<b>Figura 24:</b> Forja com revestimento completo. ....	35
<b>Figura 25:</b> Estrutura da forja finalizada. ....	36
<b>Figura 26:</b> Esquema de peças do queimador.....	37
<b>Figura 27:</b> Detalhes do posicionamento do bico injetor. ....	39
<b>Figura 28:</b> Funcionamento do regulador de oxigênio.....	39
<b>Figura 29:</b> Boca de saída do queimador.....	40
<b>Figura 30:</b> Queimador atmosférico montado.....	40
<b>Figura 31:</b> Projeto na vista de perspectiva. ....	41

<b>Figura 32:</b> Projeto com vista frontal.....	41
<b>Figura 33:</b> Forja em funcionamento.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Faixas de Temperatura e conformação a quente dos materiais mais comuns. ....	14
<b>Tabela 2:</b> Poder calorífico de alguns combustíveis utilizados na cocção em comparação com o GLP.....	21
<b>Tabela 3:</b> Parâmetros do conjunto de Equações (1) a (7).....	25
<b>Tabela 4:</b> Parâmetros estequiométricos para o dimensionamento do queimador. ....	37
<b>Tabela 5:</b> Lista de materiais usados no queimador atmosférico. ....	38
<b>Tabela 6:</b> Lista de materiais e análise de custo.....	43

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA</b> .....	11
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	12
3.1	Objetivo geral .....	12
3.2	Objetivos específicos .....	12
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	13
4.1	A cutelaria .....	13
4.2	Processos de fabricação na cutelaria.....	13
4.2.1	Forjamento .....	13
4.2.2	Caldeamento .....	15
4.2.3	Tratamentos Térmicos.....	16
4.3	Forjas.....	17
4.3.1	Forja a carvão .....	17
4.3.2	Forja a gás .....	19
4.4	Isolamento térmico .....	21
4.5	Queimadores.....	22
4.5.1	Queimador atmosférico.....	23
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA EXPERIMENTAL</b> .....	26
5.1	O projeto.....	26
5.2	Construção da forja.....	26
5.3	Isolamento térmico .....	35
5.4	Dimensionamento do queimador atmosférico.....	36
5.5	Construção do queimador atmosférico .....	37
5.5.1	Detalhes da montagem.....	38
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	41

6.1	A forja .....	41
6.2	Análise de custo.....	43
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>46</b>
	<b>APÊNDICE A</b> – Estrutura da forja.....	<b>49</b>
	<b>APÊNDICE B</b> – Estrutura principal do queimador.....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cutelaria é designada como a arte da elaboração de lâminas de corte. Uma prática que vem desde a antiguidade, e, ainda nos dias de hoje tem sua importância para o homem. Desde espadas às facas tradicionais de cozinha, as lâminas são peças históricas e icônicas da civilização, que se tornaram uma forma de arte única entre as pessoas (FONTANELA, 2020).

O processo de forjamento de lâminas mudou, mas a necessidade de lâminas não diminuiu de forma alguma. Apesar desse ofício ter sido, em grande parte, terceirizado para a indústria, a qualidade e o prazer que há em utilizar uma faca produzida de forma artesanal, tem atraído cada vez mais pessoas para o universo da cutelaria artesanal (NETO, 2017).

A técnica que é usada na cutelaria para transformar o aço em uma faca é o forjamento. O forjamento é o processo mais antigo de conformação de materiais e ligas, tendo sido encontrados objetos forjados em sítios arqueológicos que provam a evidência de que povos pré-históricos (8000 A.C) produziam artefatos de ouro e cobre por martelamento (NETO, 2017).

Um dos equipamentos essenciais dentro da cutelaria é a forja. A forja é utilizada para aquecer o aço até temperaturas para o forjamento e tratamento térmico. Há várias fontes de calor que podem aquecer o aço, tais como gás, resistência elétrica, por banho de sal ou câmara de atmosfera controlada, eletrólise, aquecimento indutivo, aquecimento a laser e outros. Na cutelaria artesanal, o equipamento utilizado para aquecer o aço são as forjas, e as mais utilizadas são forjas a carvão e a gás (BOTELHO, 2018; HONGAN, 2014).

Quando são analisados aspectos como geração de resíduos para o meio ambiente, eficiência energética, poder calorífico e praticidade fica evidente a superioridade do uso de uma forja a gás ao invés de uma forja a carvão. Quando se trata de uma forja a gás alguns fatores devem ser observados para o ideal funcionamento, como: a relação estequiométrica entre ar e combustível no queimador e também o material de revestimento refratário (PAIVA, 2021).

A relação estequiométrica entre ar e combustível deve ser equilibrada para uma boa combustão. Não pode haver uma mistura pobre (excesso de ar) e nem uma mistura rica (excesso de combustível), pois isso poderá trazer problemas na peça que será aquecida (FONTANELA, 2020). Outro fator é o próprio revestimento refratário do interior da forja, que deve ser feito com um material adequado e que suporte as altas temperaturas necessárias para forjar o aço (PAIVA, 2021).

## 2 JUSTIFICATIVA

Construir uma forja não é uma tarefa difícil, encontram-se muitos manuais e vídeos que podem ensinar qualquer interessado a fazer sua própria forja. No entanto, observa-se poucos conteúdos acadêmicos que mostrem quais parâmetros devem ser observados para que se construa uma forja eficiente.

Além disso, as matérias-primas dos materiais utilizados na produção de facas e também na construção da forja são mais acessíveis na região sul e sudeste do Brasil, visto que essas regiões tem grande destaque histórico na produção de facas artesanais (ROCHA, 2014; DA SILVA, 2021).

A escolha do tipo de forja está relacionado com o combustível que será utilizado. Embora existam opções de combustíveis como carvão mineral e vegetal, a escolha do GLP visa alcançar um padrão de sustentabilidade, pois trata-se de um combustível mais acessível e limpo (GIODA, 2018).

Diante disso, convém buscar na literatura soluções para que qualquer pessoa, profissional ou hobbista, observe estes parâmetros e consiga construir uma forja a gás eficiente para uma cutelaria artesanal. Também, buscou-se materiais acessíveis à realidade da região norte do país, utilizando peças provenientes de descarte (ferro-velho) e adquirindo outros elementos vendidos na internet. Ao final deste trabalho, convém avaliar a viabilidade de construção de uma forja a gás por conta própria ou a aquisição de algum modelo já disponível no mercado.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Construir uma forja a gás eficiente para lâminas de até 250 milímetros para cutelaria artesanal.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Enfatizar a importância de uma forja para o uso na cutelaria artesanal, descrevendo processos de fabricação onde a mesma será utilizada;
- Analisar os tipos de forja existentes dentro da cutelaria, e justificar a escolha da forja a gás;
- Caracterizar os materiais refratários e determinar o mais adequado para a construção da forja;
- Definir o design da forja e o tipo de queimador a ser usado no projeto;
- Verificar a temperatura atingida pela forja a gás construída e analisar os custos.

## **4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 A cutelaria**

Desde o início da humanidade, o homem desenvolveu diversas ferramentas para suprir as suas necessidades. A faca é um dos utensílios mais importantes já feitos, considerando que seu uso é indispensável nos dias de hoje (NETO, 2017).

Cutelaria é uma oficina onde são produzidas lâminas de corte em geral. O artesão, denominado de ‘cuteleiro’, trabalha o aço para transformá-lo em uma lâmina específica, de acordo com a utilidade para a qual foi projetada (BOTELHO, 2018).

Apesar de ter sido mergulhada em um grande período de ostracismo, a cutelaria tem ganhado grande notoriedade e muitos adeptos no mundo inteiro. Com a internet, muitos profissionais expuseram seus trabalhos e técnicas de produção de facas, despertando o interesse de vários curiosos, encantados com a possibilidade de produzir suas próprias lâminas customizadas (BOTELHO, 2018).

O Brasil tem mostrado um grande potencial de mercado na cutelaria artesanal, com cuteleiros de altíssimo nível, concentrados principalmente na região Sul do país, produzindo lâminas de muita qualidade para o mercado interno e também para o exterior (ROCHA, 2014; DA SILVA, 2021).

Esses cuteleiros, muitos que aprenderam o ofício de forma autodidata, produzem facas de diferentes tipos, possibilitando diversas customizações. Em grande destaque para o Brasil temos o cuteleiro Rodrigo Sfredo, vencedor de diversos campeonatos de cutelaria e o primeiro sul-americano a receber o título de Master Smith (Mestre Ferreiro) em 2009. Prêmio concedido pela American Bladesmith Society (ABS), que é a maior e mais respeitada associação de cuteleiros do mundo, sediada nos Estados Unidos (FARIAS, 2019).

Como veremos ao longo deste trabalho, a transformação do metal exige muitos processos, como também a utilização de diversas ferramentas até a produção final de uma lâmina de corte.

### **4.2 Processos de fabricação na cutelaria**

#### **4.2.1 Forjamento**

O forjamento é um processo de conformação mecânica, que consiste na deformação plástica do material realizada por uma força ou tensão externa, podendo ser realizado em matriz

fechada ou aberta e possui excepcionais estruturas granulares como também boas propriedades mecânicas (CALLISTER, 2012).

O processo de forjamento subdivide-se em duas categorias: forjamento livre, ou em matriz aberta e forjamento em matriz fechada, conhecido apenas como forjamento em matriz. Esse forjamento pode ser feito com o aquecimento do material (forjamento a quente), ou sem necessidade de aquecer (forjamento a frio). Dentro de seus mais diversos campos de aplicação do forjamento a quente, o mais específico e popular é no ramo da cutelaria, onde desde muito tempo sabe-se da utilização do forjamento para fabricação de facas e armamentos utilizados na antiguidade (CALLISTER, 2012; BOTELHO, 2018).

A fabricação de lâminas e outras ferramentas através do forjamento, têm como produto final, materiais com melhores propriedades mecânicas de resistência, microestrutura, com um acabamento superficial superior ao da fundição, melhor distribuição das fibras, entre outras características químicas e mecânicas (PEREIRA; RONALDO; JUNIOR, 2017).

Uma faca artesanal e uma faca de escala industrial não podem ser comparadas, pois possuem uma distinção muito grande na sua fabricação. A industrial é produzida em escala, desenhada através de cortes a laser em chapas inoxidáveis, ganhando, na maioria das vezes, cabos de plástico. A faca artesanal, por sua vez, possui uma construção baseada em muitos processos e muito mais elaborada. De maneira geral, o forjamento é capaz de produzir peças com resistência mecânica muito superiores, devido ao arranjo granular obtido, se comparado a fundição e usinagem (CUNHA, 2019).

Atualmente, os aços mais utilizados na cutelaria pertencem a três grupos, e o que determinará a escolha do aço é a finalidade da lâmina de corte, bem como a opção do cliente. É possível visualizar essas informações na Tabela 1.

**Tabela 1:** Faixas de Temperatura e conformação a quente dos materiais mais comuns.

<b>Material</b>	<b>Faixa de Temperatura °C</b>
Ligas de Alumínio	320 - 520
Ligas de Cobre (Latões)	650 - 850
Aços de Baixo Teor de C	900 - 1150
Aços de Médio Teor de C	850 - 1100
Aços de Alto Teor de C	800 - 1050

Aço-Liga com Mn ou Ni	850 - 1100
Aço-Liga com Cr ou Cr-Ni	870 - 1100
Aço Inoxidável (18/8)	750 - 1100

Fonte: Adaptado de CUNHA, 2019.

No primeiro grupo encontram-se os aços carbono, onde seu próprio nome revela a presença de carbono variando de 0,6 até 1,0% do material. Esses aços possuem diversas percentagens de concentração de carbono e são classificados pela tabela SAE (Society of Automotive Engineers). O próximo grupo de aços utilizados são os inoxidáveis, caracterizados por uma qualidade superior e uma melhor resistência à corrosão, graças à adição de Cromo e Níquel em sua liga. No último grupo entram os aços damasco, que caracterizam-se pela mistura de dois ou mais tipos de aço através do processo de solda por caldeamento (PEREIRA; RONALDO; JUNIOR, 2017).

Destro da cutelaria artesanal o aço é forjado a quente em matriz aberta, onde o mesmo é martelado contra uma bigorna, fazendo com que o metal aquecido se deforme e ganhe a forma desejada pelo artesão couteleiro. Para este processo, uma das ferramentas fundamentais, utilizada na cutelaria, é a forja, onde o metal é aquecido até a temperatura adequada de forjamento (BRESCIANI FILHO, 2011).

No início e no final do processo de fabricação, o metal a ser forjado precisa ser aquecido a uma temperatura que o torne altamente dúctil. Portanto, aquecer o metal a altas temperaturas torna-se interessante à medida que a forjabilidade do metal aumenta. Os metais não ferrosos à base de ligas de cobre e alumínio são forjados a temperaturas entre 300 e 800 °C e os aços a temperaturas entre 800 e 1100 °C, dependendo da composição química desses materiais (BRESCIANI FILHO, 2011).

#### 4.2.2 Caldeamento

O caldeamento é a soldagem de duas peças, geralmente metálicas por meio de aquecimento e choque mecânico, onde as mesmas são aquecidas a temperaturas próximas do seu ponto de fusão (PAZINI, 2011). Este processo é muito utilizado dentro da cutelaria para a produção de aços damasco (MARTINZ, 2018).

Dois tipos de aço são intercalados um sobre o outro, aquecidos a temperatura de aproximadamente 1200°C e depois submetidos a golpes de marreta ou prensagem hidráulica

Esse procedimento é repetido algumas vezes até a obtenção de uma peça uniforme de aço, com padrões únicos (MORENO, 2019).

#### 4.2.3 Tratamentos Térmicos

Com o objetivo de alcançar uma lâmina com boas propriedades mecânicas, alguns tratamentos térmicos são necessários e amplamente utilizados na cutelaria. São eles, a normalização, o recozimento, a têmpera e o revenimento (CALLISTER, 2012).

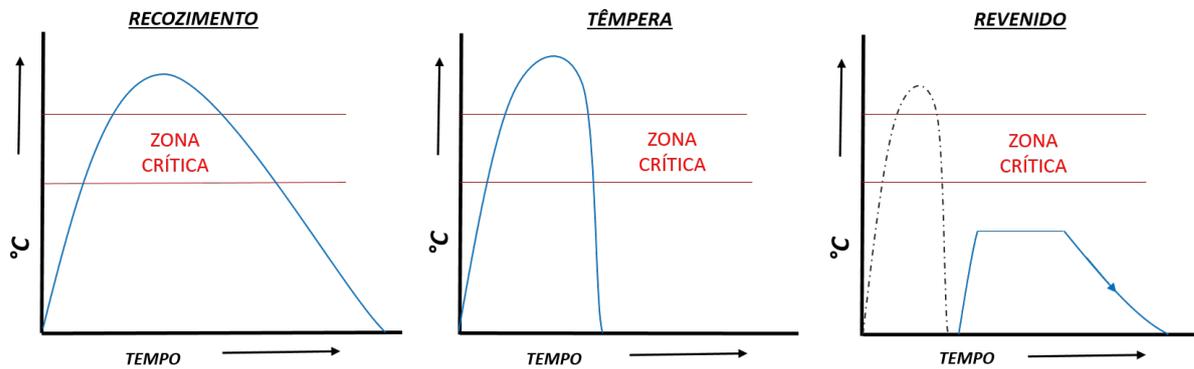
A normalização tem como finalidade refinar e homogeneizar a estrutura de aço, criando uma microestrutura que facilite a usinagem, além de eliminar ou reduzir as tensões internas criadas por tratamentos térmicos ou mecânicos anteriores. É concluída elevando-se a peça acima da zona crítica e resfriando a mesma em temperatura ambiente (COLPAERT, 2008).

O recozimento caracteriza-se por elevar a peça a uma temperatura não magnética, assim como a normalização. Porém, a diferença está no resfriamento da peça, que deve ser o mais lento possível. Na prática, a própria forja a gás ou um forno podem ser usados como isolante para baixar a temperatura o mais lentamente possível, ou em um recipiente com cal viva, cinza ou outro meio isolante térmico (COLPAERT, 2008).

A têmpera consiste, em regra, no aquecimento da peça até acima da zona crítica, seguido de um resfriamento rápido em água, óleo etc. (COLPAERT, 2008). O objetivo é, em geral, aumentar a dureza do aço e tornar mais elevado o seu limite de escoamento e sua resistência à tração, à compressão, e ao desgaste. Uma lâmina de corte, por exemplo, após a têmpera, adquire uma grande dureza, porém se torna frágil (PAULI; ULIANA, 1997).

O revenimento é um tratamento térmico, geralmente aplicado logo após a têmpera, que tem por finalidade diminuir e equalizar a dureza do aço, aliviando tensões internas provocadas pela têmpera. É executado elevando-se a peça a uma temperatura inferior à zona crítica e a manutenção dessa temperatura por um determinado período. A temperatura para o revenimento, bem como o tempo de manutenção, será determinado pelo tipo de aço e pelas dimensões da peça (PAULI; ULIANA, 1997). Observa-se uma representação esquemática entre os tratamentos de recozimento, têmpera e revenimento na Figura 1.

**Figura 1:** Representação esquemática do recozimento, têmpera e revenido.



Fonte: Adaptado de COLPAERT, 2018.

### 4.3 Forjas

A forja é, talvez, o equipamento mais essencial dentro da cutelaria. Isso porque a mesma é utilizada em diversos processos até a obtenção de uma boa lâmina de corte. Basicamente dois tipos mais comuns de forja são utilizadas: a forja à carvão e a forja a gás. Sua tarefa é simples, produzir uma temperatura suficientemente alta e com capacidade para conformar metais (ferro ou aço) ou até mesmo derretê-los (BOTELHO, 2018).

Na prática, uma boa forja ajuda a concentrar o calor para fazer um ponto de alto poder calorífico, transferindo essa energia para peça a ser forjada (BOTELHO, 2018).

#### 4.3.1 Forja a carvão

A forja a carvão, é uma forja mais simples de ser reproduzida e também mais recomendada para cuteleiros iniciantes. Trata-se de uma estrutura de aço ou ferro fundido com algum revestimento refratário, possuindo orifícios no seu interior para a passagem do ar, exemplificado na Figura 2 e 3. Dessa forma, a peça a ser forjada é posicionada diretamente dentro do braseiro.

**Figura 2:** Exemplo de estrutura da forja a carvão.



Fonte: BOTELHO, 2018.

**Figura 3:** Exemplo da forja a carvão acesa.



Fonte: BOTELHO, 2018.

O combustível usado nessas forjas pode ser de origem vegetal ou mineral (coque). O carvão mineral é considerado um recurso natural não renovável, por serem necessários milhões de anos para sua formação (CARBONARO; SILVA, 2008). Dentre os tipos de carvão mineral, para a utilização em forjas de cutelaria é escolhido o carvão ‘coque’ derivado do carvão tipo hulha (BOTELHO, 2018).

Observa-se bastante, o uso desse carvão por cuteleiros e ferreiros, principalmente no exterior. No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as maiores reservas de carvão mineral ficam na região sul do país (ANEEL, 2016; COSMO;

GALERIANI, 2020). Mesmo assim, o uso do carvão mineral na cutelaria não é muito comum, pois é de difícil acesso para a compra. Sua maior utilização é na área industrial (ROCHA, 2014; DA SILVA, 2021)

O carvão de origem vegetal, por sua vez, bem mais abundante e acessível, é amplamente utilizado pelos cuteleiros e ferreiros. É produzido através de fontes renováveis. A produção do carvão vegetal consiste da queima parcial da madeira e, para isso, se faz necessário aplicar calor de forma controlada. Apesar de ser produzido por fontes renováveis, o carvão vegetal apresenta desvantagens, como a grande emissão de poluentes devido a queima da madeira para sua produção, liberando de fuligem e gases poluentes (SANTOS; HATAKEYAMA, 2013).

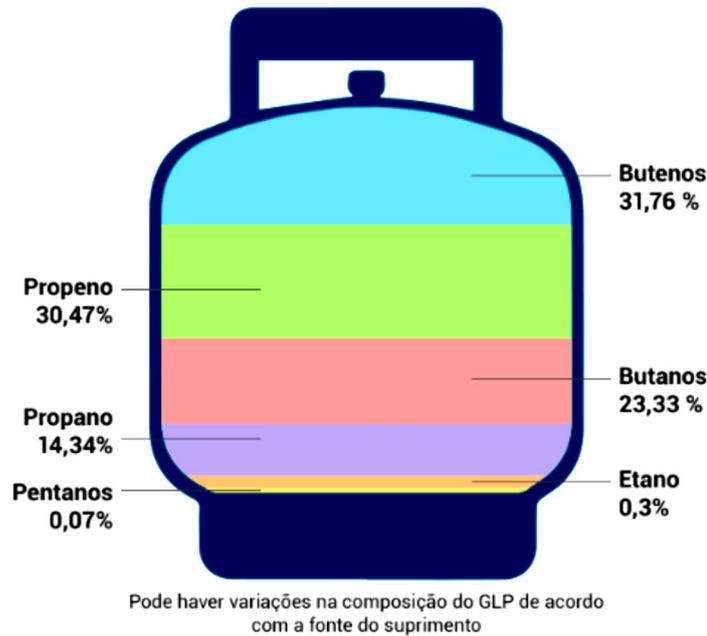
Sabe-se que o oxigênio (comburente) é necessário para a queima de qualquer combustível. Em forjas, o ar tem fundamental importância pois tem a função de aumentar o poder calorífico da chama. O ar pode ser fornecido por tubos de sopro, foles, compressores de ar modernos e sopradores elétricos (BOTELHO, 2018).

#### 4.3.2 Forja a gás

A forja a gás, diferentemente da alimentada à carvão, tem um grau de complexidade mais elevado na sua construção e manuseio. Sua estrutura deve possuir um sistema mais isolado termicamente que a forja à carvão, para que o calor gerado pela chama permaneça no interior da forja (BOTELHO, 2018).

A estrutura da forja consiste em uma câmara isolada termicamente e um queimador que terá como alimentação um gás combustível. O gás mais utilizado na cutelaria, é o gás liquefeito de petróleo (GLP), ou comumente conhecido como gás de cozinha. Sua constituição é uma mistura de hidrocarbonetos, predominando frações de propano (C3) e butano (C4), como exemplificado na Figura 4 (TOMÁZIO, 2006).

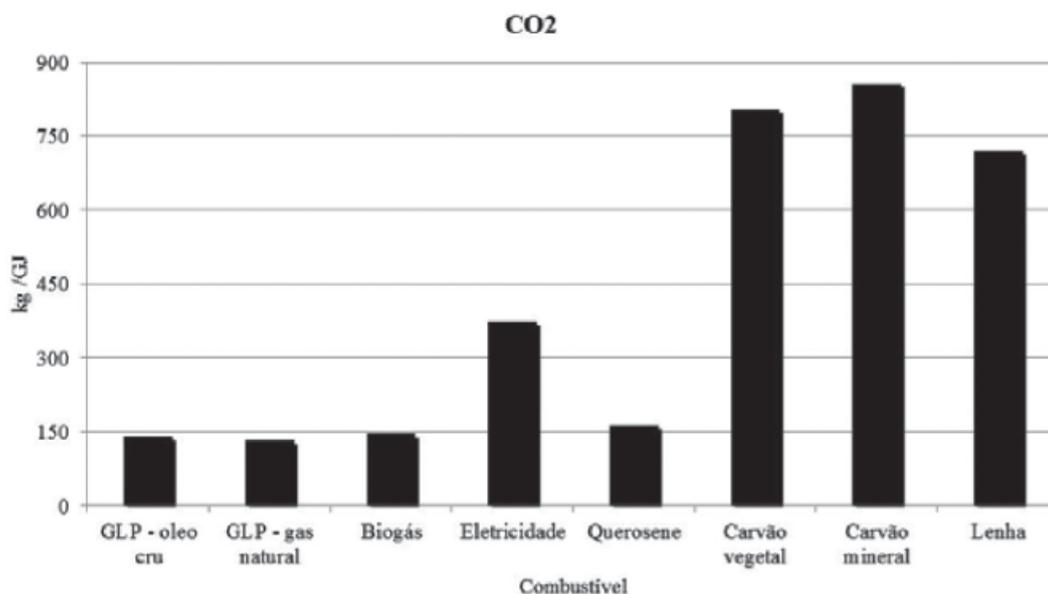
**Figura 4:** Composição de Hidrocarbonetos – GLP.



Fonte: Adaptado de FOGÁS, 2022.

O GLP tem algumas vantagens em relação ao carvão. Quando se trata de processos como o caldeamento, utilizado para a fabricação de aços damasco, forjas a gás são melhores pois a queima do GLP gera menos resíduo que o carvão. Portanto, para esse processo, onde não pode haver contaminações nas peças a serem caldeadas, o gás demonstra sua primeira vantagem sob o carvão (BOTELHO, 2018). Segundo, como já expressado neste trabalho, a produção de carvão gera muitos gases poluentes na atmosfera. A queima do carvão tem maior emissão de CO<sub>2</sub> que o gás GLP (GIODA, 2018). Na Figura 5, podemos observar as taxas de emissão de CO<sub>2</sub> de alguns combustíveis.

**Figura 5:** Taxas de emissão de CO2 desde a produção até a combustão por energia gerada (Kg GJ-1) para os diferentes combustíveis.



Fonte: GIODA, 2018.

Além disso, quando fazemos uma análise do poder calorífico do carvão, vegetal ou mineral, e o GLP, observa-se uma grande discrepância nos valores. Sendo o GLP muito mais eficiente em relação ao carvão, como vemos na Tabela 2.

**Tabela 2:** Poder calorífico de alguns combustíveis em comparação com o GLP.

Quantidade	Combustível	1Kg de GLP corresponde a	Poder calorífico (KCAL)
1Kg	GLP	-	11.500
1Kg	Carvão Mineral	2,30Kg	3.000-5.000
1Kg	Carvão Vegetal	2,30Kg	6.400-6.700

Fonte: Adaptado de GIODA, 2018.

Um ponto em comum, é que ambos tipos de forja necessitam da adição de um fluxo de oxigênio constante para aumentar o poder calorífico, neste caso específico, da chama proveniente do queimador. Considerando essas informações, é importante enfatizar que forjas a gás conseguem ser superiores em eficiência às de carvão, se observarmos um requisito fundamental, o isolamento térmico.

#### 4.4 Isolamento térmico

Isolantes térmicos são materiais ou combinações de materiais que são usados para

diminuir a passagem de calor dos sistemas, reduzindo a condução, a convecção e a radiação, pois eles produzem uma grande resistência no caminho do fluxo de calor (KAPUNO; RATHORE, 2011).

Refratários, ou cerâmicas refratárias, são materiais de base cerâmica que possuem como principais características, capacidade de resistir à temperaturas elevadas sem se fundir ou sem decompor-se, além de permanecerem não-reativos e inertes quando são expostos a ambientes severos (CALLISTER, 2012).

A importância dos materiais refratários é justificada pela busca de eficiência energética nos equipamentos. Muitos estudos tem relacionado a reutilização e conservação do calor como elemento fundamental para o aumento da eficiência (VIVALDINI, 2014). Opta-se, pelos cutedeiros, em utilizar materiais refratários acessíveis em suas forjas, como concretos e argamassas refratárias ou mantas de fibra cerâmica (BOTELHO, 2018).

Existem vários tipos de concreto e argamassas refratárias, como também tijolos de isolamento. De um modo geral, os concretos refratários são produzidos pela adição de diferentes teores de cimento de aluminato de cálcio de acordo com sua utilização (RAAD, 2008). Cada concreto, ou mesmo tijolo possui sua aplicação específica de acordo com os aditivos utilizados em sua produção. Garantem baixa condutividade térmica e grande resistência à altas temperaturas (CARDOSO, 2013).

As fibras cerâmicas refratárias (FRC) têm grande destaque na indústria metalúrgica devido às suas propriedades físicas, químicas e especiais, tais como, baixa condutividade térmica, baixa capacidade calorífica, alta resistência ao dano por choque térmico, baixa densidade, alta resiliência e flexibilidade. Sua flexibilidade garante a instalação em superfícies de diversos formatos, sem muito esforço (SILVA; VASCONCELOS, 2017).

Comparando as opções de refratários entre fibras e concretos, e considerando as vantagens de aplicação e propriedades refratárias, escolheu-se a fibra cerâmica refratária para ser usada este projeto.

#### **4.5 Queimadores**

Os queimadores são componentes fundamentais utilizados nas forjas. Através deles o calor é fornecido para o aquecimento da peça a ser forjada. É no queimador que acontece a mistura de oxigênio e gás (combustível), produzindo uma chama com alto poder calorífico (RAMOS, 2017).

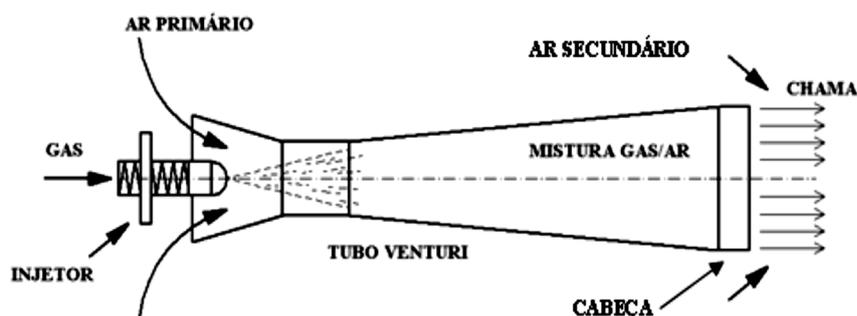
Queimadores a gás são divididos conforme o processo de adição de oxigênio na mistura. O primeiro tipo são os queimadores soprados, com mistura de oxigênio forçada, onde é utilizado algum equipamento para forçar a entrada de ar no queimador, seja por um soprador, um compressor, ou até mesmo um cilindro de oxigênio. Queimadores soprados são melhores para aplicações em altitudes elevadas devido ao ar mais rarefeito, e à incapacidade dos queimadores atmosféricos de fornecer a quantidade adequada de ar por causa disso (DAVIS, 2016).

A principal desvantagem dos queimadores soprados observada, é que eles exigem outra fonte de energia para o seu funcionamento e, portanto, geram um custo mais elevado. Considerando esse ponto, para este projeto escolheu-se o queimador atmosférico como fornecedor de calor para a forja.

#### 4.5.1 Queimador atmosférico.

Queimadores atmosféricos são dispositivos que trabalham com os gases de combustão parcialmente pré-misturados, nos quais o gás combustível é injetado sob pressão através de um bico injetor, que é uma restrição com um pequeno orifício. Ao passar pelo injetor, o gás acaba arrastando ar primário do ambiente. Após esse arrasto, os dois gases entram em um tubo de Venturi, onde passam pela constrição e, em seguida, pela expansão, sendo misturados e seguindo para a câmara de combustão (JONES, 2005). Observa-se o esquema do queimador na Figura 6.

**Figura 6:** Componentes de um queimador



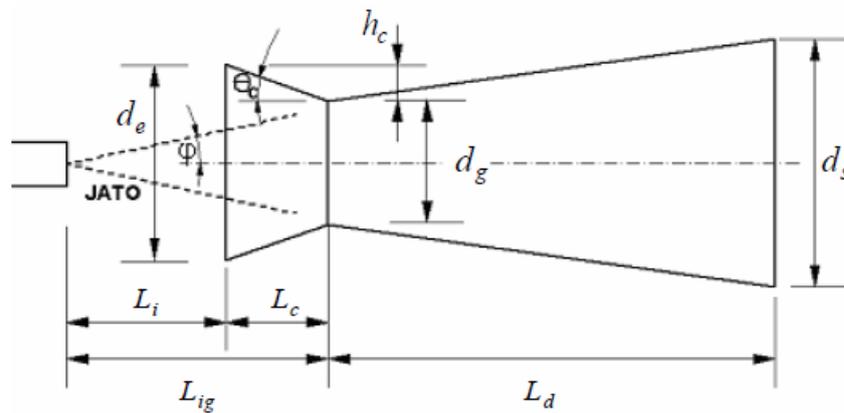
Fonte: IBAÑEZ, 2005.

Um tubo Venturi pode utilizar essa pressão negativa para atrair um segundo fluido para o fluxo central (BUBLITZ FILHO, 2017).

Conforme a Figura 6, um queimador atmosférico é composto por três principais componentes com suas respectivas funções de acordo com Ibañez, 2005:

- **Injetor:** dispositivo que injeta o combustível, fazendo-o expandir e gerar o arrasto do ar primário. Fisicamente, o injetor atua para converter a energia potencial do gás que está sob alta pressão em energia cinética, formando o jato de gás;
- **Venturi:** parte do queimador formado por uma constrição seguido de uma expansão, servindo para homogeneizar a mistura de ar primário e gás combustível;
- **Cabeça:** parte do queimador onde se efetua a combustão da mistura ar-combustível e a estabilização da chama.

**Figura 7:** Parâmetros de projeto para determinar dimensões do tubo Venturi.



Fonte: IBAÑEZ, 2005.

A Figura 7 exemplifica as dimensões a serem calculadas para um queimador atmosférico. As Equações 1 a 7 trazem os parâmetros para as dimensões do queimador a partir da metodologia proposta por Ibañez, 2005.

$$R = 1,3 \frac{\rho_{comb}}{\rho_a} \left[ \frac{d_g}{d_i} \left( \frac{\rho_m}{\rho_{comb}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad (1)$$

$$R = 4,76nA \quad (2)$$

$$L_{ig} = 0,97d_g + 42 \quad (3)$$

$$L_d = [4 \leftrightarrow 7]d_g \quad (4)$$

$$L_c = [0,2 \leftrightarrow 0,3]L_{ig} \quad (5)$$

$$d_e = 2L_c \tan(\alpha_c) + d_g \quad (6)$$

$$d_{exp} = 2L_d \tan(\alpha_d) + d_g \quad (7)$$

A Tabela 3 traz a definição dos parâmetros presentes nas equações.

**Tabela 3:** Parâmetros do conjunto de Equações (1) a (7).

<b>Parâmetros</b>			
$\rho_{comb}$	Densidade do combustível (kg/m <sup>3</sup> )	$L_{ig}$	Distância do injetor à garganta do Venturi (mm)
$\rho_a$	Densidade do ar (kg/m <sup>3</sup> )	$L_d$	Comprimento do difusor (mm)
$\rho_m$	Densidade da mistura ar/combustível (kg/m <sup>3</sup> )	$L_c$	Comprimento do bocal de entrada (mm)
$d_g/d_i$	Diâmetro garganta / Diâmetro injetor (mm)	$d_e$	Diâmetro do bocal de entrada (mm)
R	Relação volumétrica ar/combustível	$\alpha_c$	Ângulo da convergência do Venturi (°)
A	Quantidade de ar teórico (mol)	$d_{exp}$	Diâmetro de expansão do difusor (mm)
$n$	Parâmetro de aeração (razão do ar primário e teórico)	$\alpha_d$	Ângulo da expansão do Venturi (°)

Fonte: Adaptado de PAIVA, 2021.

## **5 METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

Neste capítulo será abordado todo o procedimento utilizado para construção da forja, levando em consideração as informações encontradas na literatura, desde o seu projeto até a etapa da construção.

### **5.1 O projeto**

Este projeto pretendia construir uma forja a gás para ser utilizada exclusivamente em uma cutelaria artesanal, atendendo principalmente a premissa de que qualquer cuteleiro interessado poderia utilizar este referente trabalho como base para construir sua própria forja. Buscou-se diversas referências e modelos tanto na literatura como em produtos amplamente comercializados no mercado brasileiro de cutelaria.

Como forjas a gás são equipamentos que atingem altas temperaturas internas, foi necessário desenvolver uma estrutura grande o suficiente para acomodar as peças a serem forjadas e também permitir um bom isolamento térmico, garantindo a eficiência da mesma. Para confecção do projeto foi utilizado o software CAD Fusion 360, versão de estudante.

### **5.2 Construção da forja**

Este trabalho propõe a construção de uma forja a gás para uma cutelaria artesanal, reunindo informações encontradas na literatura para que o próprio cuteleiro construa a sua forja. Levou-se em conta a utilização de materiais outrora descartados ou encontrados em ferro velho. Dessa forma foi possível reduzir o custo do valor final da construção.

Para o corpo da forja foi utilizado um cilindro de fluido refrigerante encontrado em ferro-velho com capacidade para 11,3 kg, observado na Figura 8. A estrutura do cilindro foi o mais compatível com o projeto desenhado em software CAD.

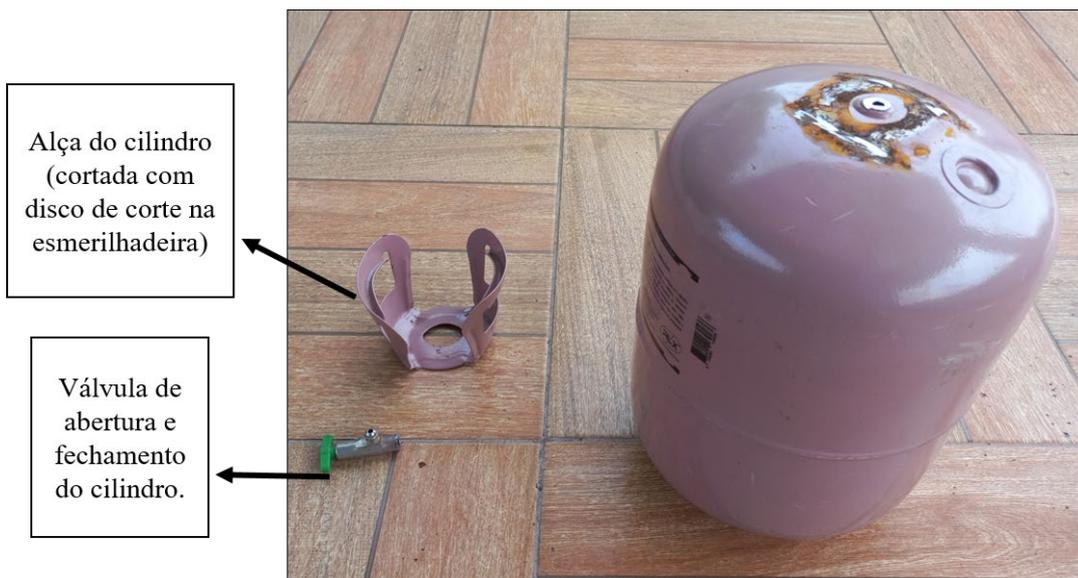
**Figura 8:** Cilindro de fluido refrigerante.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Com o auxílio de uma esmerilhadeira foi feito a retirada da alça do reservatório de fluido refrigerante para que se pudesse iniciar a marcação das linhas de corte, conforme mostrado na Figura 9.

**Figura 9:** Retirada da alça e válvula do cilindro.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

**Figura 10:** Marcação das aberturas frontal e posterior da forja.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Após as marcações e corte das aberturas de exaustão, conforme Figura 10, foi realizado a retirada da tinta do cilindro com a esmerilhadeira e um disco de lixa grão 120, conforme observado na Figura 11. Depois realizou-se o corte da porta na abertura frontal da forja. A função da mesma consiste em fornecer acesso ao interior da forja para instalação do isolamento térmico bem como sua manutenção.

**Figura 11:** Estrutura após a retirada da tinta.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Com pedaços de barra chata de ½” e um pedaço de barra roscada de 3/16” foi construído uma dobradiça simples, permitindo a abertura e fechamento da parte frontal da forja, como podemos ver na Figura 12.

**Figura 12:** Detalhe da dobradiça da porta da forja.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Para a colocação do queimador no interior da forja cortou-se uma abertura de 40 x 40 mm na estrutura da parede do cilindro. A abertura feita no centro do cilindro, tem um posicionamento inclinado de aproximadamente 45°, conforme Figura 13.

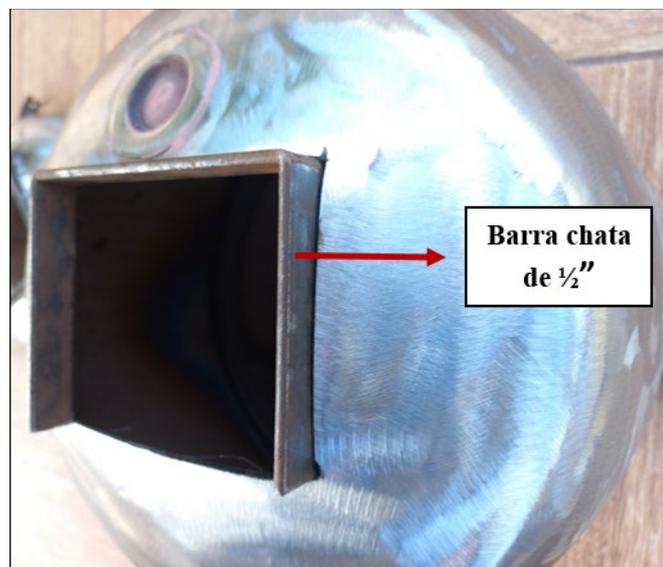
**Figura 13:** Abertura lateral para o suporte do queimador.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Para promover rigidez e permitir uma futura vedação das portas de exaustão, foram usadas as barras chatas de  $\frac{1}{2}$ ". As mesmas foram dobradas e posicionadas, seguindo o desenho retangular, e soldadas em cada abertura de exaustão (frontal e posterior).

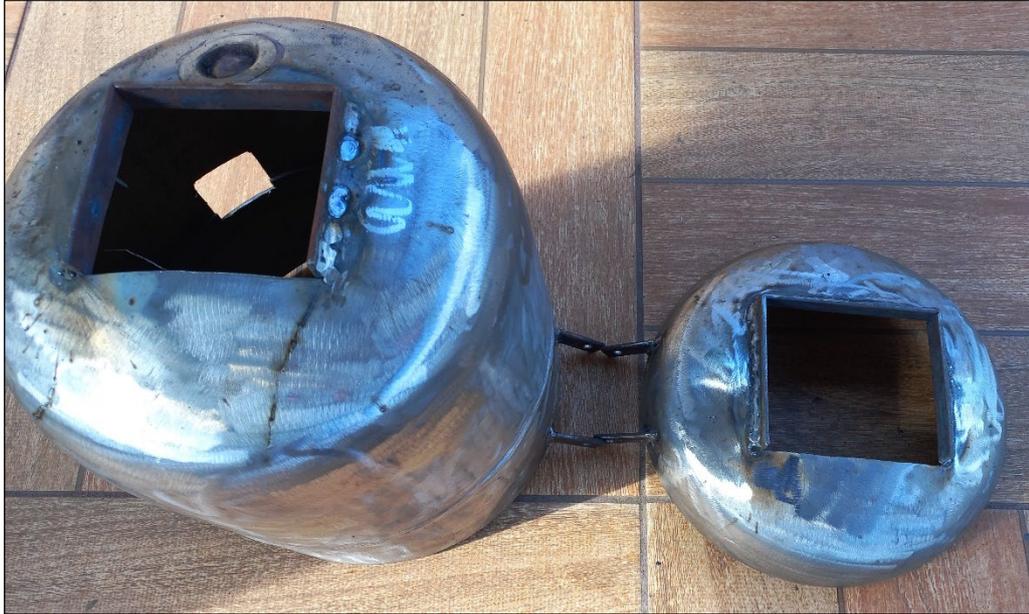
**Figura 14:** Posicionamento das barras nas aberturas de exaustão.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Depois de posicionar a barra chata dentro das aberturas da forja, conforme Figura 14, foi feito a união através de cordões de solda para completa vedação das estruturas, de acordo com a Figura 15.

**Figura 15:** Barras soldadas nas aberturas de exaustão.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Para o suporte da forja, foram usados pedaços de metalon 20 x 20 mm, com espessura de 1,4 mm. Cortados com angulação de aproximadamente 35°, como na Figura 16, garantem uma boa estabilidade para forja e a possibilidade de ser posicionada em qualquer superfície plana.

**Figura 16:** Peças de metalon para o suporte da forja.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Foram cortados dois pedaços de chapa de aço com 2 mm de espessura para soldá-las

junto às aberturas de exaustão, conforme observado na Figura 17. Essa estrutura servirá como suporte para peças a serem forjadas e também para apoio de ferramentas, conforme Figura 19. Além disso, permitirá o posicionamento de tijolos refratários bloqueando as duas aberturas de exaustão.

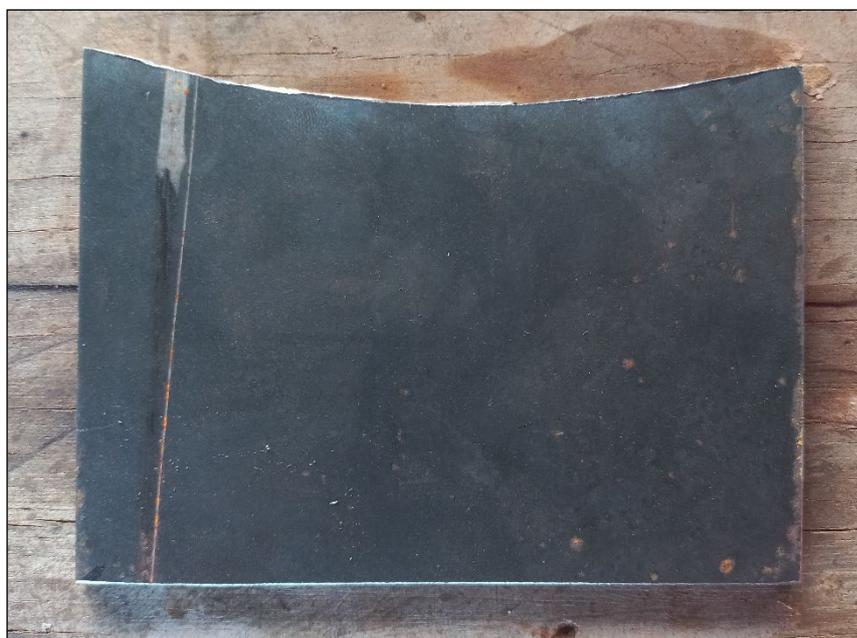
**Figura 17:** Chapa de aço de 2 mm de espessura.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

É importante que o corte siga a curvatura das aberturas de exaustão, para um melhor encaixe no corpo cilíndrico da forja de acordo com a Figura 18.

**Figura 18:** Chapa com recorte da curvatura do cilindro.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

**Figura 19:** Chapas de suporte soldadas nas aberturas de exaustão posterior e frontal.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Para o suporte do queimador cortou-se um pedaço de metalon 40x40 mm. Foram feitos quatro furos com uma broca de 11 mm em cada uma das faces. Os furos devem estar bem ao centro da peça.

**Figura 20:** Peça de metalon para suporte do queimador.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Devido as paredes desse metalon serem finas, não é possível abrir roscas nesses furos. Como solução para este problema, optou-se por soldar porcas para colocação de parafusos que servirão para fixar o queimador na forja, conforme demonstrado nas Figuras 20 e 21.

**Figura 21:** Posicionamento e soldagem do suporte do queimador.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Após o término da estrutura da forja, foi realizada a limpeza da peça com um desengraxante à base de solvente, preparando a superfície para receber a pintura.

Para a pintura usou-se uma tinta com resistência à temperaturas de até 800°C, conforme observado na Figura 22.

**Figura 22:** Pintura da estrutura da forja.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

### 5.3 Isolamento térmico

Como isolamento, foi escolhido a manta de fibra cerâmica, que, segundo o fabricante, possui resistência à temperaturas de 1250°C. A manta utilizada no projeto possui uma polegada de espessura.

**Figura 23:** Marcação e recorte da fibra cerâmica.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

De acordo com a Figura 23, a tampa da forja foi usada como referência para marcação de corte do revestimento frontal e posterior da forja. Foram instaladas duas camadas de fibra em todo o interior da forja, garantindo um revestimento total de duas polegadas de manta refratária.

**Figura 24:** Forja com revestimento completo.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Depois de colocada a manta em todo o interior da forja, conforme mostrado na Figura 24, as partes de fibra sobre as aberturas de exaustão foram cortadas, com o auxílio de um estilete. O mesmo foi feito na entrada do queimador. Além disso, na base da forja foi posicionado um tijolo refratário de 25 mm de espessura, capaz de suportar 1500°C.

**Figura 25:** Estrutura da forja finalizada.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

#### **5.4 Dimensionamento do queimador atmosférico**

Para o dimensionamento do queimador à partir do conjunto de Equações de 1 a 7, é necessário definir alguns parâmetros como densidades, quantidade de ar teórico, parâmetro de aeração, e relação volumétrica de ar e combustível.

Esses parâmetros podem ser encontrados à partir da estequiometria de reação da combustão do GLP. Por sair do escopo desse trabalho, o desenvolvimento dessas equações estequiométricas será considerado como apresentado em Ramos (2017). A observação destes parâmetros na Tabela 4, são interessantes para projetos onde cada peça é desenhada conforme as medidas obtidas. Porém, neste trabalho, esses parâmetros não serão seguidos de forma literal, pois as peças foram adaptadas de materiais descartados.

**Tabela 4:** Parâmetros estequiométricos para o dimensionamento do queimador.

Variáveis	Resultados
Densidade do combustível	$\rho_{comb} = 2,44 \text{ kg/m}^3$
Densidade do ar	$\rho_a = 1,184 \text{ kg/m}^3$
Densidade da mistura	$\rho_m = 1,22 \text{ kg/m}^3$
Quantidade do ar teórico	$A = 5,75 \text{ mols}$
Parâmetro de Aeração	$n = 1$
Relação volumétrica de ar e combustível	$R = 27,37$

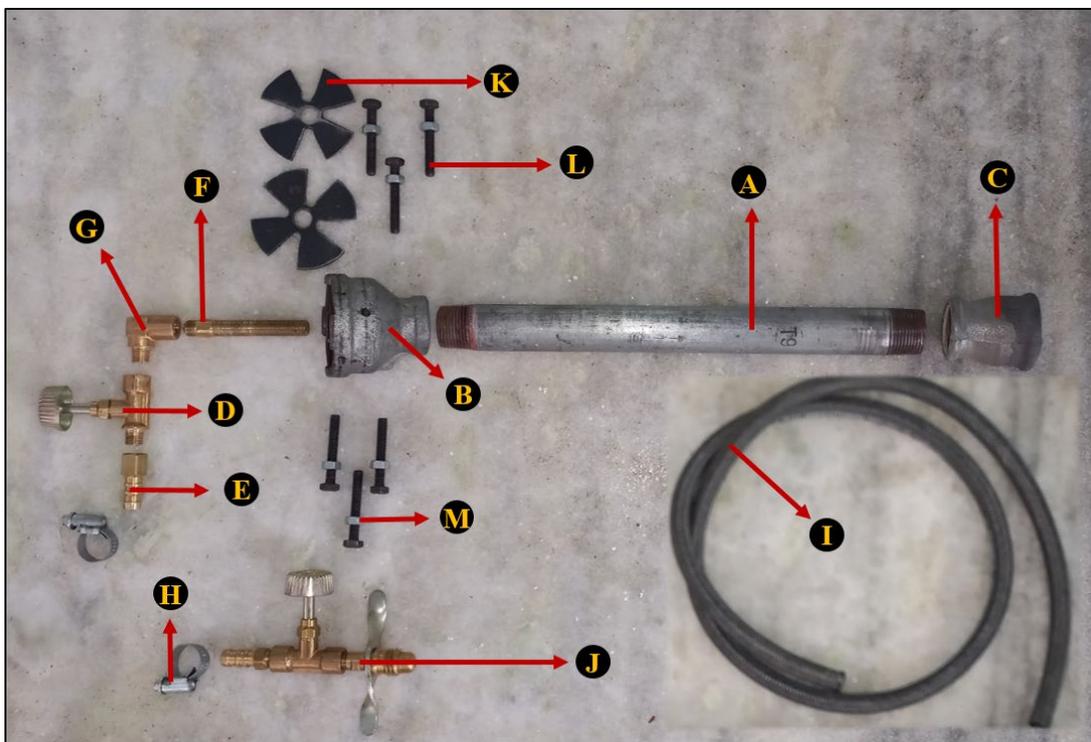
Fonte: Adaptado de RAMOS, 2017

### 5.5 Construção do queimador atmosférico

Muitos projetos foram encontrados com modelos diversos de queimadores atmosféricos. Então optou-se por escolher um modelo em que seria exigido menos trabalhos de usinagem e que as peças poderiam ser encontradas com mais facilidade.

Para a confecção do corpo do queimador, foram utilizados materiais básicos de encanamento, retirados de descarte. Cada uma das peças do queimador são mostradas na Figura 26, e suas especificações encontram-se na Tabela 5.

**Figura 26:** Esquema de peças do queimador.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

**Tabela 5:** Lista de materiais usados no queimador atmosférico.

<b>Item</b>	<b>Nome</b>	<b>Quantidade</b>
A	Cano de 1" com roscas de 3/4"	01pç (270 mm)
B	Luva de redução de 1 1/2" para 3/4"	01pç
C	Luva de redução de 1" para 3/4"	01pç
D	Torneira com roscas NPT 1/8" (externa) x 1/8"(interna)	01pç
E	Terminal para mangueira 1/8" NPT(interna)	01pç
F	Bico injetor de 0.7 mm com rosca 1/8" NPT	01pç
G	Joelho 90 1/8" NPT x 1/8"	01pç
H	Abraçadeira 9 mm	02pçs
I	Mangueira GLP/GN 3/8"	1,5m
J	Válvula com Niple borboleta 5/8" x 5/16"	01pç
K	Chapa para regulador 1,5 mm de espessura	02pçs
L	Parafusos M6	06pçs
M	Porcas M6	06pçs

Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

### 5.5.1 Detalhes da montagem

A montagem do queimador atmosférico é bem simples, no entanto, existem alguns passos que exigem atenção para que se alcance um funcionamento eficiente. O primeiro deles, observado na Figura 27, se trata sobre o bico injetor (F), que deve ser posicionado exatamente ao centro da luva de redução. Também é possível regular a entrada de oxigênio através do posicionamento do bico injetor em relação a saída da luva de redução. Afastar o injetor e posicioná-lo mais atrás permite a entrada de mais oxigênio na mistura.

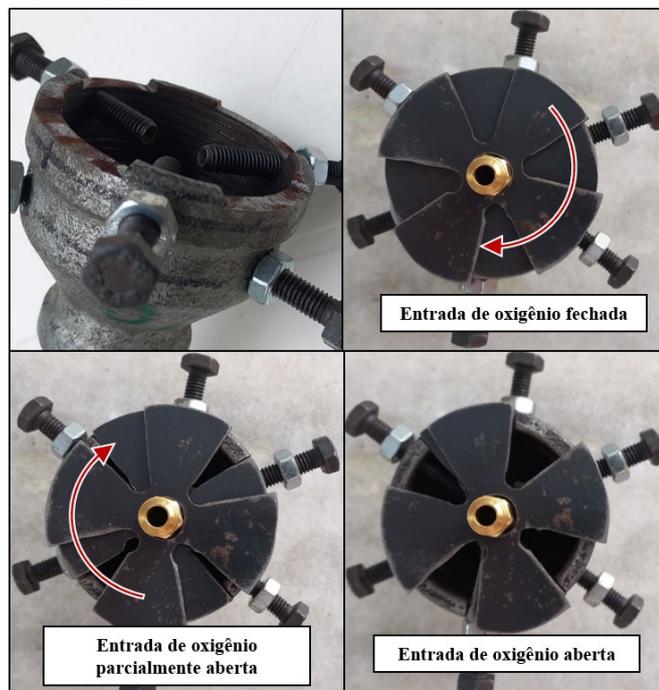
**Figura 27:** Detalhes do posicionamento do bico injetor.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Outro detalhe importante são as chapas do regulador de oxigênio, que podem ser fabricadas preferencialmente em alumínio, facilitando a usinagem. O funcionamento do regulador de oxigênio consiste em uma das chapas assentadas na luva de redução, enquanto a outra tem livre rotação de movimento, representado na Figura 28. As duas devem ter um furo central onde será colocado o bico injetor.

**Figura 28:** Funcionamento do regulador de oxigênio



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

O último item que merece ser observado é a boca de saída do queimador, formada pela luva de redução de 1” para ¾”, conforme a Figura 29. É importante retirar a rosca interna de 1”, pois permitirá uma saída de chama mais estável.

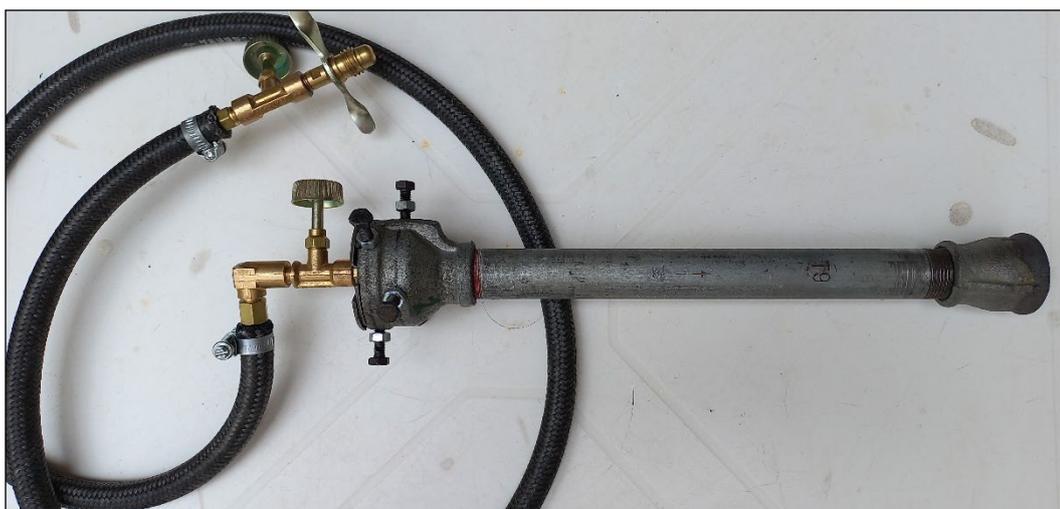
**Figura 29:** Boca de saída do queimador



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Observados esses pontos, o queimador estará pronto para a montagem. Deve-se usar fita de vedação nas conexões que receberão pressão do gás. Após concluída a montagem, representado na Figura 30, o queimador poderá ser fixado na forja.

**Figura 30:** Queimador atmosférico montado.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta etapa serão apresentados os resultados obtidos no dimensionamento da forja a gás e análise de custo de materiais.

### 6.1 A forja

O modelo 3D da forja projetada no software CAD Fusion 360 está apresentado nas Figura 31 e 32. Os desenhos técnicos da forja e queimador, podem ser consultados nos Apêndices deste trabalho.

**Figura 31:** Projeto na vista de perspectiva.



Fonte: Do autor, renderizado em CAD Fusion 360. Manaus, 2022.

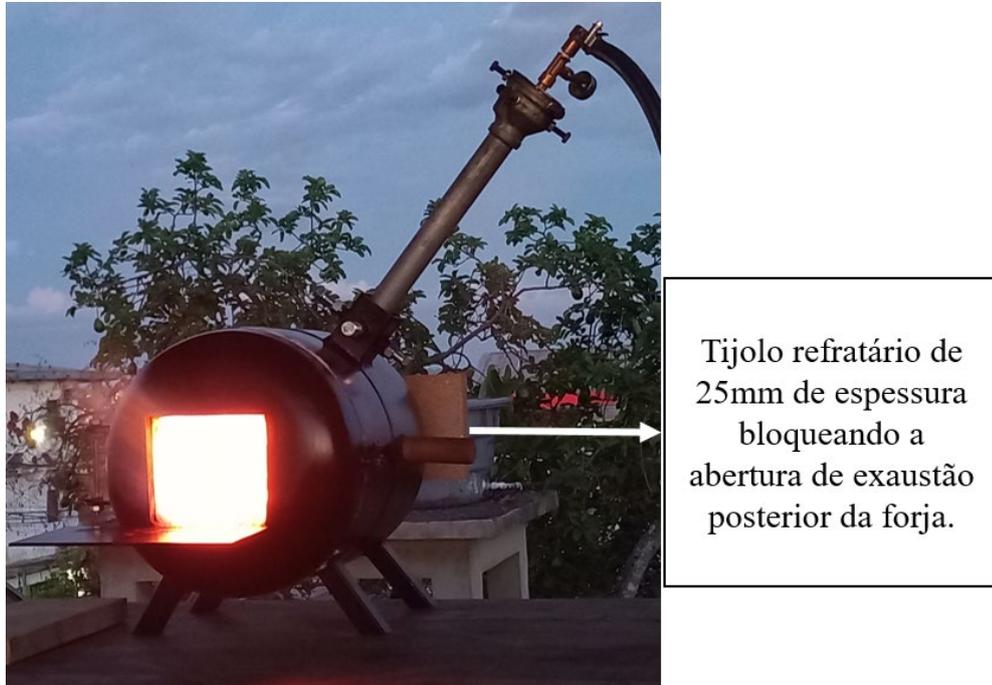
**Figura 32:** Projeto com vista frontal.



Fonte: Do autor, renderizado em CAD Fusion 360. Manaus, 2022.

Para o teste de funcionamento, a forja foi acesa com a abertura de exaustão posterior fechada por um tijolo refratário, conforme a Figura 33.

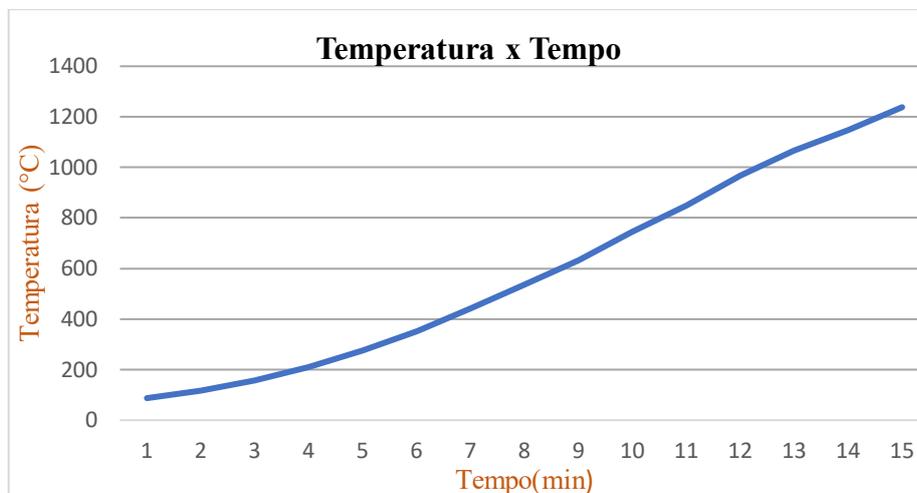
**Figura 33:** Forja em funcionamento.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Para a medição de temperatura foi utilizado um termômetro digital a laser com range de  $-50^{\circ}$  a  $1500^{\circ}\text{C}$ . Assim que a forja foi acesa foi iniciado um cronômetro, onde a cada minuto seria feito a medição de temperatura no centro da forja. Com os dados foi elaborado um gráfico de Temperatura( $^{\circ}\text{C}$ ) x Tempo (min).

**Quadro 1:** Gráfico de temperatura x tempo.



Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

Após 15 minutos do acendimento da forja, a mesma atingiu a temperatura de aproximadamente 1200°C, que é uma excelente temperatura, pois é capaz de suprir a necessidade de todos os processos dentro de uma cutelaria. Mesmo o mais exigente deles, o caldeamento.

Esses resultados são compreendidos, e até esperados, visto que a forja possui um volume interno pequeno. Além disso, o isolamento térmico cerâmico, com duas polegadas de espessura, demonstrou ter bastante eficiência em reter o calor no interior da forja. Esse resultado apresentou semelhanças com o projeto de um forno proposto por Ramos (2017).

## 6.2 Análise de custo

Levando em consideração que uma forja disponibilizada para compra na internet custa em média 400 reais, sem contabilizar valores de frete, e já incluso o queimador, a construção dessa forja consegue ter um bom custo benefício. No entanto, esta relação de materiais não abrangeu equipamentos e materiais essenciais para a construção da forja, como exemplos: inversora de solda, eletrodos, brocas de diferentes diâmetros, esmerilhadeira, discos de corte e desbaste, lixas diversas e equipamentos de proteção. Além disso, se o indivíduo possuir o interesse em fazer a sua própria forja, precisa ter habilidade com os diferentes equipamentos listados acima.

**Tabela 6:** Lista de materiais e análise de custo.

Quantidade	Materiais	Custo	Custo total
	Item		
01	Cilindro de fluido refrigerante	R\$10,00	R\$10,00
1m	Barra chata de ½"	R\$5,00	R\$5,00
0.2m <sup>2</sup>	Chapa de aço (2 mm)	R\$7,00	R\$7,00
0.5m	Metalon 20x20 mm	R\$4,00	R\$4,00
0.5m	Metalon 40x40 mm	R\$6,00	R\$6,00
0.8m <sup>2</sup>	Manta de fibra Cerâmica	R\$79,90	R\$79,90
02	Tijolo refratário (25 mm)	R\$7,10	R\$14,20
04	Porcas M10	R\$0,90	R\$3,60
04	Parafusos M10	R\$1,20	R\$4,80
01	Tinta Alta Temperatura (Lata Spray)	R\$45,90	R\$45,90

---

Custo total da estrutura da forja: R\$ 180,40

---

Fonte: Do autor. Manaus, 2022.

O estudo feito por Davis (2016), analisou também o custo-benefício de fabricação de uma forja semelhante à esta, chegando à conclusão que terceirizar a mão de obra deste serviço, elevaria muito o custo de produção.

## 7 CONCLUSÃO

O projeto e desenvolvimento da forja, com dimensões para trabalho em lâminas de até 250 milímetros, obteve êxito em seu objetivo, considerando que foi desenvolvido um equipamento capaz de atingir temperatura média de 1200°C.

Os resultados obtidos no desenvolvimento deste projeto são satisfatórios e refletem o esperado conforme as literaturas consultadas de Davis (2016) e Ramos (2017). Visto que foi obtido uma forja com temperatura média de 1200°C, comprova-se a capacidade de suprir todas as necessidades para a utilização em uma cutelaria artesanal. Este resultado é justificado pela utilização da fibra cerâmica como isolante térmico e pela escolha do queimador atmosférico. Além disso, o custo total do projeto para a construção da estrutura da forja foi de aproximadamente R\$ 180,00.

Mesmo alcançando os objetivos propostos, pode-se citar sugestões para a melhoria do dispositivo desenvolvido. Dentre elas, um estudo mais aprofundado para o dimensionamento do queimador atmosférico conforme Ibañez (2005). Outra sugestão seria o estudo da utilização de outro isolante, além da fibra cerâmica refratária, e até mesmo a combinação de outros materiais de isolamento térmico.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - **Agência Nacional de Energia Elétrica**. Acessado em 13 de nov. 2022. Disponível em: < [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par3\\_cap9.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par3_cap9.pdf)>

BOTELHO, D. **Mestre do Aço**. Curso de Cutelaria. 2018.

BRESCIANI FILHO, E.; SILVA, D. A.; FERREIRA BATALHA, G. **Conformação plástica dos metais** / coord. rev. E. Bresciani Filho; pesq. atual. I.B. Silva; transc. dig. G.F. Batalha; rev. ed. dig. S.T. Button. – 1. ed. dig. -- São Paulo: EPUSP, 2011.

BUBLITZ FILHO, E. et al. **Tubo de Venturi**. Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR-e-ISSN 2447-1208, v. 4, n. 4, 2017.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 8ª Edição ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CARBONARO, B. F.; SILVA, V. DA. **Combustíveis e queimadores em caldeiras**. 2008.

CARDOSO, L. R.. **Concreto refratário-constituintes, propriedades e aplicações**: constituintes; propriedades e aplicações. 2013.

COLPAERT, H.; SILVA, A. L. V. DA C. E. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4ª Edição. São Paulo: 2008.

COSMO, B. M. N.; GALERIANI, M. T.; NOVAKOSKI, F. P.; RICINI, B. M. F. **Carvão mineral**. p. 10, 2020.

CUNHA; DA, L. F. M. **Projeto e construção de queimador atmosférico com controle de temperatura de chama para cutelaria**. 4 jul. 2019.

DA SILVA, CARLA RODRIGUES; DA SILVA, JAQUELINE ARGUELHO; GRIPP, Rebeca Espíndola. **Aplicação do método do caixeiro viajante em uma empresa de cutelaria**. In: v. 1, n. 1: I Simpósio Nacional de Engenharia de Produção. 2021.

DAVIS, S. **Design, Construction, and Evaluation of a Gas Forge**. BioResource and Agricultural Engineering, 1 jun. 2016.

FARIAS, J. L. DO N. **Processo de elaboração de uma faca artesanal**. 5 dez. 2019.

FOGAS. **Composição Mistura Gás Liquefeito de Petróleo** - Fogás. Disponível em: <[https://www.fogas.com.br/?page\\_id=681](https://www.fogas.com.br/?page_id=681)> Acesso em 08 nov. 2022.

FONTANELA, J. M. **Projeto e fabricação de um forno a gás para a cutelaria**. Engenharia Mecânica, 18 jul. 2020.

GIODA, A. **Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global**. Química Nova, v. 41, n. 8, p. 839–848, 1 ago. 2018.

HOGAN, T. C. **Sistema de aquecimento indutivo integrado a um retificador de alto fator de potência**. 28 ago. 2014.

IBAÑEZ, W. A. C. **Análise e desenvolvimento de uma metodologia de projeto de queimadores atmosféricos tipo tubo perfurado**. 154 p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

JONES, H. R. N. **The applications of combustion principles to domestic gas burner design**. 6 ed. Londres: Taylor & Francis e-Library, 2005.

KAPUNO, R. R. A.; RATHORE, M. M. **Engineering heat transfer**. 2nd. ed. Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2011.

MARTINS, J. H. **Avaliação das propriedades mecânicas do aço damasco sae 5160 com sae 1020 para fabricação de facas artesanais**. Conformação, 2018.

MORENO, A. M. **Estudo das propriedades mecânicas e estruturais do aço damasco resultante do caldeamento do aço SAE 1095 e UHB 15n20**. 5 dez. 2019.

NETO, A. C. **Otimização de fabrico numa cutelaria**. 8 nov. 2017.

PAIVA, T. M. A. **Projeto e desenvolvimento de um forno tipo cadinho utilizando queimador atmosférico de GLP para fundição de alumínio com fins didáticos**. 2021.

PAULI, E. A. DE; ULIANA, F. S. **Mecânica Tratamentos Térmicos**. Vitória, ES. 1997 .

PEREIRA, L.; RONALDO, M.; JUNIOR, E. **Comparação entre uma faca forjada artesanalmente e uma usinada**. 2017.

**RAAD, H. J. Influência das condições de mistura e moldagem na permeabilidade de concretos refratários aluminosos.** 9 abr. 2008.

**RAMOS, J. P. A.. Projeto de um queimador para forno de cadinho utilizando gás liquefeito de petróleo (GLP).** 2017. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017.

**ROCHA, A. M.; LEAL, C. L. C. Concentração espacial de fábricas de cutelaria em Arroio Grande – Santa Maria-RS: uma abordagem locacional.** GEOUSP – Espaço e Tempo, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 547-560, 2014.

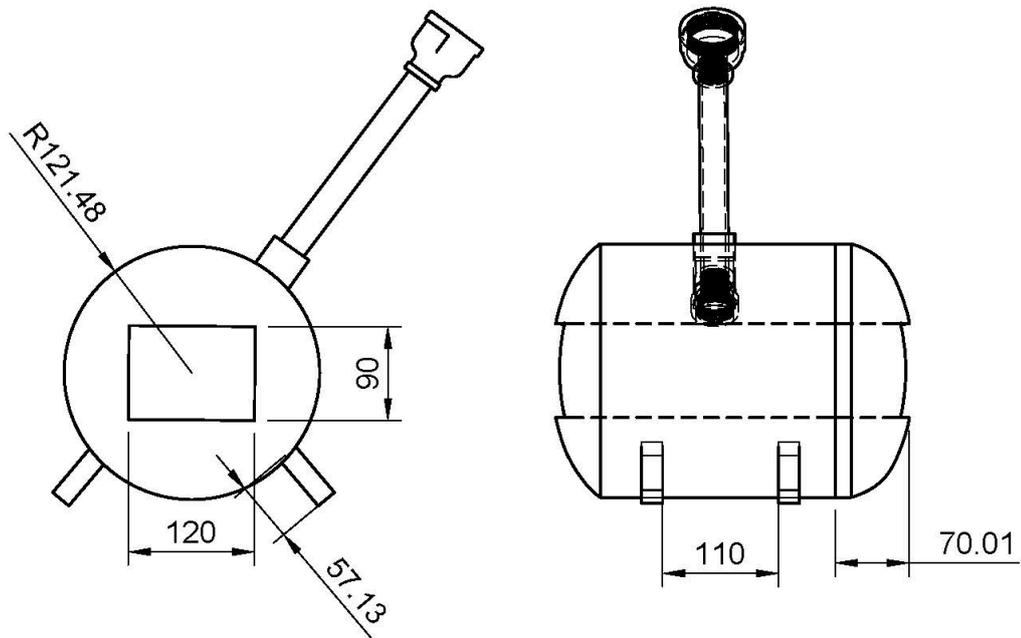
**SANTOS, S. DE F. DE O. M.; HATAKEYAMA, K. Sustainable charcoal production process focusing the environmental, economical, social and cultural aspects.** Produção, v. 22, n. 2, p. 309–321, 4 jun. 2013.

**SILVA, D. G. M.; VASCONCELOS, W. L. Isolante térmico fibroso: motivos de sua utilização como revestimentos de trabalho em equipamentos industriais que operam em altas temperaturas -revisão da literatura -parte I.** Ceramica, v. 63, n. 367, p. 281–294, 1 jul. 2017.

**TOMÁZIO, D. M. Equilíbrio colusivo no mercado brasileiro de gás liquefeito de petróleo (GLP).** 23 mar. 2006.

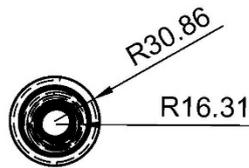
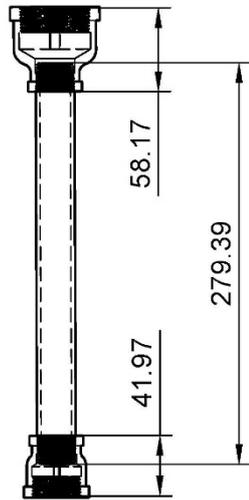
**VIVALDINI, D. O. et al. Revisão: fundamentos e materiais para o projeto da microestrutura de isolantes térmicos refratários de alto desempenho.** Cerâmica, v. 60, n. 354, p. 297–309, 2014.

## **APÊNDICE A – Estrutura da forja**



Dept.	Technical reference	Created by Bruno de Assis Freitas 28/10/2022	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Estrutura da Forja</b>	DWG No. <b>01</b>	
		Rev.	Date of issue 20/11/2022	Sheet 1/1

## **APÊNDICE B – Estrutura principal do queimador**



Dept.	Technical reference	Created by <b>Bruno Freitas</b> 26/10/2022	Approved by	
		Document type	Document status	
		Title <b>Queimador</b>	DWG No. <b>02</b>	
		Rev.	Date of issue	Sheet <b>1/1</b>