

PROJETO E FABRICAÇÃO DE UM FORNO A GÁS PARA A CUTELARIA

Jackson Michels Fontanela¹

Alexandre Milanez²

Resumo: Cutelaria é uma prática realizada há tempos, sendo que hoje ela está veiculada na fabricação das facas. Esta prática está diretamente ligada aos artesãos que customizam tais utensílios ao gosto do cliente. Estes mesmos artesãos que se nomeiam de cutedeiros necessitam de equipamentos, onde o forno é uns dos mais importantes se não o mais importante para o processo de cutelaria. Se tratando do forno, é observado que muitas pessoas que as fabricam não sabem o porquê dos valores dos dimensionamentos do forno, ou seja, sabem fabricar um forno e fazê-lo funcionar, mas não tem o conhecimento científico dos dimensionamentos, o porquê dos valores extraídos. Desde modo, este trabalho tem como objetivo projetar e construir um forno de aquecimento a gás (GLP e Gás Natural), utilizados por forjadores/cutedeiros para o aquecimento de barras metálicas em tratamentos térmicos. Serão esclarecidos os valores que foram utilizados para o dimensionamento do forno, com o auxílio de equações condizentes, com boa relação estequiométrica e dissipação de calor do forno. Já no que diz a respeito à fabricação, foram abordados aspectos técnicos de funcionamento, desempenho e alterações do projeto. Ao final um forno foi apresentado de modo atingir a temperatura de têmpera necessária para o material aquecido e, discutindo se as equações que foram extraídas de fato, procedem ao esclarecimento do dimensionamento, na qual o forno estabeleceu sucesso no que diz a respeito em temperatura atingida e execução de trabalho para que consequentemente seja passível de ser fabricado e vendido para cutedeiros artesãos e amantes da arte da forja.

Palavras-chave: Cutelaria. Forja. Tratamento Térmico.

1. INTRODUÇÃO

Designado como arte ou trabalho por objetivo, a elaboração de ferramentas de corte através da cutelaria se estabeleceu no primórdio da humanidade. Ainda hoje o homem, não deixou esta prática para trás, mas não como uma necessidade comparada ao passado da fabricação de ferramentas. Atualmente o prazer e a qualidade de ter um objeto que foi fabricado artesanalmente pelo homem contemporâneo utiliza este método de fabricação. O forno de aquecimento está relacionado diretamente ao trabalho sobre a matéria prima. Como exemplos

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. E-mail: jacksonfontanela@gmail.com

² Prof. Dr. Alexandre Milanez. E-mail: alexandre.milanez@satc.edu.br

encontram-se o forno elétrico, a gás e a carvão, mas o mais convencional são os fornos elétricos e os a gás.

Não existe dificuldade em fabricar um forno a gás, existindo uma série de manuais e vídeos para ensinar qualquer pessoa com o interesse de fabricar. Suas peças são fáceis de encontrar e de produzir. Porém, a falta de embasamento teórico e técnico muitos destes equipamentos são extremamente grosseiros não existindo um projeto calculado para um melhor rendimento do forno. Neste caso esses fornos são rudimentares, não existindo um projeto calculado para um melhor rendimento de queima do forno. No entanto a maior parte delas apresentam o mesmo defeito quando se trata da relação estequiométrica. Em se tratando da utilização de ar e combustível, o cutedeiro normalmente não compreende se seu forno está consumindo o gás de forma adequada. Assim o trabalho atribui sua relevância para aperfeiçoar um queimador, pois nele será engajado um ponto importante para a economia e também consequentemente favorecendo o meio ambiente, pois com uma combustão mais adequada teremos menor emissão de gases poluentes.

A relação estequiométrica é fundamental para um bom aquecimento do forno, ou seja, a relação entre ar e combustível deve ser equilibrada para se ter boa combustão, caso contrário, o excesso de ar (mistura pobre) ou falta de ar (mistura rica), trará ao processo uma queima ineficiente e problemas na peça aquecida. Também deve se levar em conta que o revestimento do forno necessita agregar uma segurança externa, para que as pessoas que estão ao redor do forno não sofram queimaduras e internas para que o revestimento não reaja com material forjado, através de reações químicas. Outra função do revestimento é de isolamento térmico para que este não disperse o calor para fora do forno, fazendo que o queimador demande maior potência para compensar o calor perdido.

O objetivo desse trabalho é projetar e construir um forno a gás, onde será analisado o desempenho de seu queimador e do revestimento, fornecendo ao final um forno de aquecimento de barras para forja a ser utilizados em aulas práticas no curso engenharia mecânica da Faculdade SATC.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como objetivo de relatar a pesquisa a respeito de parâmetros que são considerados para a fabricação de um forno de aquecimento

de barras para forja a gás. Informações teóricas foram coletadas de tal forma a possibilitar a elaboração para este trabalho.

2.1 FUNÇÃO DO FORNO NA CUTELARIA

Existem mais de uma maneira de aquecer um metal. Sendo eles o aquecimento a gás, resistência elétrica, por banho de sal ou câmara de atmosfera controlada, eletrólise, aquecimento indutivo, aquecimento a laser e outros (HONGAN, 2014). Cada método possui suas respectivas vantagens, assim não existindo a melhor maneira, mas sim o mais adequado que atendam às necessidades. Segundo Silva (2016) estes fornos podem ser classificados como: os de aquecimento elétrico, constituídos por arco voltaico, tendo por sua vez tem um aquecimento direto, ocorre quando a corrente passa no material a ser aquecido, assim gerando calor. Ou indireta, onde o calor é gerado por resistência do forno, nos quais estas resistências fornecerão o calor por meio da convecção ou por radiação. Por indução, onde o material é aquecido por um campo magnético, e o aquecimento a combustível, utilizando carvão, óleo combustível, gás liquefeito de petróleo (GLP) ou gás natural.

Comparando os fornos de indução e a gás, o forno que usa a energia elétrica leva vantagem pela agilidade juntamente com um ambiente de trabalho mais limpo. No entanto, os fornos elétricos não alcançam facilmente altas temperaturas requeridas pela tempera (MENOSSO e PERAÇA, 2018). No caso, a capacidade de transferência de calor do forno elétrico, se torna menor comparado com a dos a gás.

2.2 REVESTIMENTO DOS FORNOS

De acordo com Sako e Pandolfelli (2014), o revestimento refratário possui a característica de suportar elevadas temperaturas por longos períodos de tempo sem comprometer a sua própria estrutura física. Isto explica o uso desse material em fornos de fundição, na área da siderúrgica, pois nesses ambientes se trabalha em elevadas temperaturas, sendo um benefício econômico não descartando o material sempre que o mesmo é usado e outro fator é o não desprendimento de suas partículas que possam afetar o produto que está sendo trabalhado.

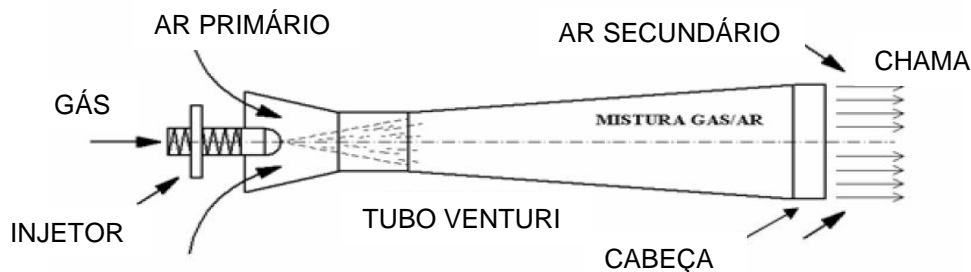
O refratário é constituído por magnesita, dolomita e alumina, onde possui um ponto de fusão acima de 1800°C (RAAD, 2008). O refratário possui características

também como refração e em alguns tipos de refratário são isolantes térmicos, mas ressaltando que são utilizados em fornos pela resistência a altas temperaturas.

2.3 PRINCIPAIS COMPONENTES PARA O QUEIMADOR

Um queimador possui diversos componentes que influenciam no desempenho deste equipamento. Na Fig. 1 é mostrado os componentes principais de um queimador.

Figura 1: Componentes do queimador



Fonte: Baseado de Ibañez (2005, p. 23)

2.3.1 Tubo de venturi

O tubo de venturi tem a função de homogeneizar com o gás combustível o ar primário misturando-os (AMELL *et al.* 1999). O componente tem essa designação pela presença de um estrangulamento que possui no meio do tubo resultando em uma diferença de pressão e velocidade da mistura.

Diante da diferença de área entre essas duas regiões, é possível medir a velocidade dos fluidos que entram e saem neste equipamento (CID, CORREA, 2018). Restringindo o diâmetro da passagem da mistura ar mais combustível, faz com que a velocidade dos fluidos aumente, uma vez que área e velocidade são inversamente proporcionais, ao contrário da pressão que irá diminuir.

2.3.2 Injetor

O injetor é responsável por inserir o gás combustível e de controlar a relação de ar/combustível no queimador. Com a liberação do gás combustível, este atua como um fluido indutor, impulsionando o ar primário para o resto do tubo (AMELL

et al. 1999). De acordo com Dantas (2010), o injetor pode ser dimensionado a partir de dados como o consumo máximo do combustível, onde por sua vez irá resultar na área do injetor e por fim no diâmetro do orifício.

Entretanto neste caso, o uso da potência térmica será a maneira de proporcionar o valor do diâmetro do injetor. Sendo que se deve exprimir primeiramente outras equações que são primordiais para o modelamento da equação final da potência térmica. Desta forma a Eq (1) apresenta valores para se encontrar a vazão do gás, a mesma será o ponto de partida dar o segmento as equações.

$$\dot{m}_f = \rho A_i u_f \text{ [kg/s]} \quad (1)$$

Com o auxílio da equação de Bernoulli expressada na Eq (2), levando em conta que os parâmetros a serem medidos são a área de entrada e de saída, pode-se determinar a velocidade de saída do queimador. Considerando o fluido permanecera na mesma altura, variáveis como altura e gravidade são desprezadas também, massa específica de entrada e saída são as mesmas, a diferença entre as duas pressões resultara em um Δp . Na Eq (3) encontra-se a expressão para encontrar a velocidade de saída do gás no tubo.

$$\frac{P_1}{\rho_1} + \frac{u_1^2}{2} = \frac{P_2}{\rho_2} + \frac{u_2^2}{2} \quad (2)$$

$$u_2 = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (3)$$

Para determinar a vazão real são necessários dois dados: a vazão ideal e o coeficiente de descarga. Para determinar a vazão ideal, deve-se retirar os valores dos dados expressados na Eq (1). Com os valores obtidos, pode-se encontrar a potência térmica atribuída ao queimador (MITRE, MOREIRA 2006). A Eq (4), Eq (5), Eq (6), Eq (7) e Eq (8), apresentam as equações para determinar a potência térmica do queimador.

$$\dot{m}_{real} = Cd \dot{m}_{ideal} \text{ [kg/s]} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{real} = Cd \rho A_i \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (5)$$

$$\dot{m}_{real} = Cd A_i \sqrt{2 \Delta P \rho} \text{ [kg/m}^3\text{]} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_t = \dot{m}_{real} PCI \text{ [W]} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_t = Cd A_i \sqrt{2 \Delta P \rho} PCI \text{ [W]} \quad (8)$$

2.4 CABEÇA

A cabeça do queimador é localizada no final do tubo, onde é efetuada a combustão dos gases. Com a homogeneização da mistura ar e combustível, o mesmo flui até ao final do bocal reproduzindo a chama (AMELL *et al.* 1999). A cabeça é responsável não só pela liberação dos gases, como também pela estabilização da chama.

2.5 COMPRIMENTO DO DIFUSOR

Segundo Ibañez (2005), o difusor é responsável pela pressurização do ar primário no início da combustão. Segundo Salvi apud Ibañez (2005) a recomendação para dimensionar um difusor deve ser relacionada com o diâmetro da garganta do tubo seguindo uma faixa relacionada pela Eq (9).

$$L_d = [6 \leftrightarrow 9] d_g \text{ [m]} \quad (9)$$

As áreas maiores do tubo, no caso a área da entrada e a área da cabeça do queimador se diferenciam no modelo de dimensionamento e na área da seção transversal. A *American Society of Mechanical Engineers* (ASME), sugere que a seção divergente (a área da cabeça) deverá variar em um ângulo entre 5° a 7°. Já a seção convergente (área de entrada do tubo) deve ter um ângulo de 20° com uma tolerância $\pm 1^\circ$.

2.6 DISTÂNCIA DA SEPARAÇÃO DO INJETOR

A boca do injetor fica situado depois da área da garganta, sendo que sua distância depende também do diâmetro da garganta. Salvi apud Ibañez (2005) recomenda que esta distância L_{ig} . (Distância da separação do injetor) seja dimensionada de acordo com a Eq. (10).

$$L_{ig} = 2,22 d_g + 15 \text{ [m]} \quad (10)$$

2.7 PARÂMETROS DA AERAÇÃO

É expressada como a relação entre a admissão do ar primário, o ar que o queimador vai admitir com o ar teórico estequiométrico. Tal valor estequiométrico que tem de calcular para se ver a relação dos fluidos para a combustão do queimador. Para a combustão ser completa, valores devem ser atribuídos a partir das reações químicas dos elementos empregados (VLASSOV 2008). Na Eq. (11), é expressa a relação entre o gás e a mistura dos fluidos, ou seja, a massa juntamente com a velocidade do gás será igual a massa juntamente com a velocidade da mistura.

$$\dot{m}_f u_f = \dot{m}_m u_m \quad (11)$$

Para encontrar os dados de vazão mássica e velocidade do gás pode-se introduzir outros dados. Assim sendo, no caso da vazão mássica do gás, necessita-se da massa específica do gás expressado em ρ (kg/m³) e do o valor de vazão volumétrica expressada em Q (m³/s). Já para a velocidade, necessita-se do valor da vazão volumétrica e da área da garganta (entrada de ar) e do injetor, expressada em A (m²). Equações Eq. (12), (13) e (14) apresentam esta sequência.

$$\dot{m} = \rho Q \text{ [kg/s]} \quad (12)$$

$$u = \frac{Q}{A} \text{ [m/s]} \quad (13)$$

$$\rho_f Q_f \frac{Q_f}{A_i} = \rho_m Q_m \frac{Q_m}{A_g} \quad (14)$$

A demanda de ar será maior que a do gás combustível. Dependendo do tipo de gás utilizado, existe uma relação específica para que haja uma boa combustão. Para o queimador, a relação é definida pela vazão, no qual a mesma necessita-se conhecer para saber a velocidade e área entre ambas. Como as velocidades são iguais o único parâmetro que vai servir para controlar a vazão será área. Logo abaixo as Eq. (15), (16), (17), e (18) expressam a equação da relação entre ar e combustível.

$$R = \frac{Q_a}{Q_f} [\dots] \quad (15)$$

Sendo que,

$$A_i = \frac{\pi d_i^2}{4} [\text{m}^2] \quad (16)$$

$$A_g = \frac{\pi d_g^2}{4} [\text{m}^2] \quad (17)$$

Resultara em,

$$R = \frac{d_g}{d_i} \sqrt{d_{rel}} \quad (18)$$

Segundo Ibañez (2005), está diâmetro de relação d_{rel} esta atribuída a relação dos dois fluidos utilizados combustível e o comburente. Na Eq. 19 expressa a equação do diâmetro de relação.

$$d_{rel} = \frac{\rho_f}{\rho_a} [\dots] \quad (19)$$

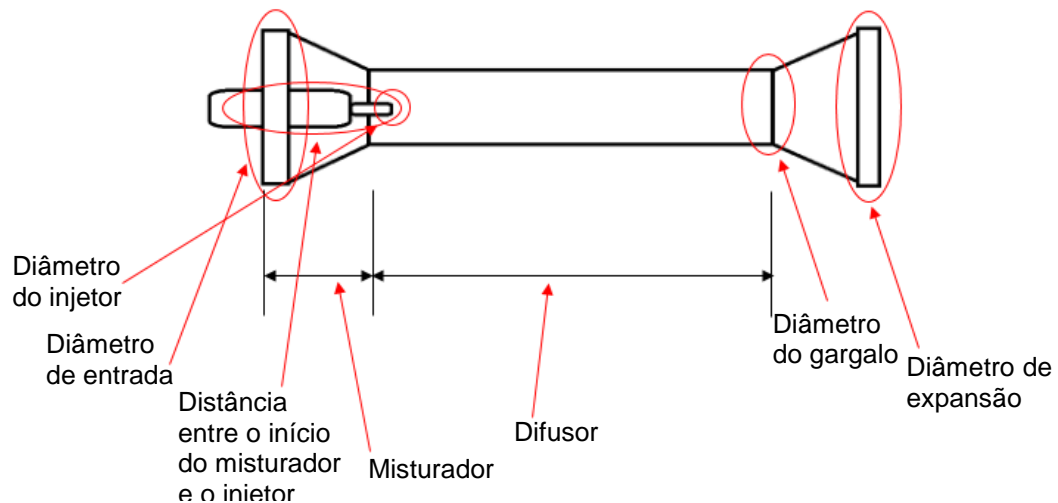
3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Neste capítulo será apresentado o procedimento dos cálculos para a fabricação do forno a gás.

3.1 DIMENSIONAMENTO DO QUEIMADOR

Para o dimensionamento do queimador, sete medidas devem ser encontradas através das equações apresentadas na revisão bibliográfica. No caso essas medidas compõem o canal onde irá passar o combustível e o comburente por onde será feita a queima e não o corpo do lado de fora do queimador. Na Fig. 2 é mostrada quais componentes serão calculados juntamente citando a localização desde queimador.

Figura 2 – Representação do queimador



Fonte: Do autor (2019)

3.11 Diâmetro do injetor

Para encontrar o diâmetro do injetor é necessário a equação da potência térmica. Tanto a potência do queimador quanto a pressão do gás GLP, são dados que o próprio fabricante do forno deverá fornecer. Porém, o valor deve ter coerência no que se diz a respeito à temperatura que se deseja. Assim foi estabelecido uma comparação com outros fornos que tiveram sucesso em atingir a temperatura de 1200°C. Dados como potência e diâmetro do injetor foram comparados com outros projetos, mas primeiramente foi necessário a determinação da pressão. Então a determinação da pressão foi proporcionada em alusão ao valor combinado entre a potência do queimador e o diâmetro do orifício. Contudo estes valores podem ser encontrados Tab. 1.

A Tab. 1 apresenta os dados necessários para calcular o tamanho do injetor

Tabela 1 – Dados para o cálculo do diâmetro do injetor

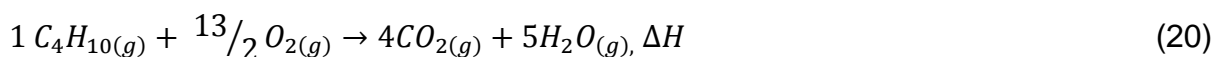
Variáveis	Valores
Potência térmica (W)	6×10^3
Poder calorífico inferior (kWh/kg)	12,69
Poder calorífico inferior (Ws/kg)	$45,7 \times 10^3$
Coefficiente de descarga	0,6
Massa específica do GLP (kg/m ³)	2,48
Diferença de Pressão (Pa)	$36,6 \times 10^3$
Área do injetor (m ²)	$5,14 \times 10^{-7}$
Diâmetro do injetor (m)	$8,09 \times 10^{-4}$
Diâmetro do injetor (mm)	0,8

Fonte: Do autor (2020)

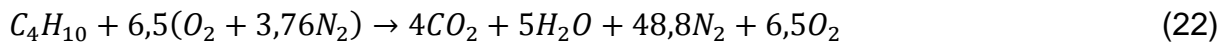
Reiterando a potência e pressão (não incluindo a pressão Atmosférica) são definidas no início do projeto. Neste caso foi definido uma potência de 6000 W e uma pressão de $13,8 \times 10^4$ Pa. Já o poder calorífico e massa específica são constantes. E por fim o coeficiente de descarga é definido pelo número de Reynolds, mas para este caso foi utilizado um valor já determinado pelo Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Gás Liquefeito de Petróleo - Sindigas.

3.12 Relação Estequiométrica

Como condição de projeto, a queima deve ocorrer de forma ideal. Para isso foi utilizado o gás butano, também usualmente utilizado em vez do gás GLP. A análise é feita pela fórmula química da combustão. Nesta fórmula, a combustão ocorre entre o combustível (butano) e comburente (oxigênio). No entanto, o comburente para este projeto vai ser o ar atmosférico, ou seja, não terá somente o oxigênio, mas também nitrogênio, e outros gases. Assim, para se ter uma queima ideal, vai ser utilizado uma relação aproximadamente de 31 mols de ar para 1 mol de combustível. As Eq. (20), (21), (22) e (23) apresentam estas equações para a relação estequiométrica.



$$\frac{n_{N_2}}{n_{O_2}} = \frac{79}{21} = 3,76 \quad (21)$$



$$6,5 (1 \text{ (de oxigênio)} + 3,76 \text{ (de nitrogênio)}) \rightarrow 6,5 (4,76) = 30,94 \quad (23)$$

3.13 Definição do diâmetro do gargalo

Com o diâmetro de injeção e a relação do ar e combustível definidos anteriormente, possibilita assim o resultado para o diâmetro do gargalo em um valor final de 17,76 mm.

3.14 Definição da distância entre início do misturador, do bico injetor e do comprimento do queimador

Para calcular o comprimento do injetor, é necessário o valor do diâmetro do gargalo e sendo essa medida primordial para determinar os outros valores. A Eq. (10) foi utilizada para definir esta distância.

Já os comprimentos do queimador são dois: do difusor e bocal, onde existem faixas admissíveis, permitindo determinar um valor fixo para cada equação. O primeiro valor encontrado foi o comprimento do difusor a partir da Eq. (9), onde se necessita somente do valor do diâmetro do gargalo como incógnita. O comprimento do bocal foi definido pela Eq. 24.

$$L_c = [0,2 - 0,3] L_{ig} \text{ [m]} \quad (24)$$

Na Tab. 2 mostra os dados necessários e os resultados encontrados para dimensionar algumas partes do queimador.

Tabela 2 – Dados para o cálculo das distâncias do queimador

Variáveis	Valores
Diâmetro do gargalo (mm)	17,76
Distância do injetor (mm)	54,44
Faixa admitida do difusor (mm)	7,5

Variáveis	Valores
Distância do difusor (mm)	133,26
Faixa admitida do bocal (mm)	0,25
Distância do bocal (mm)	13,61

Fonte: Do autor (2020)

3.13 Definição do diâmetro de entrada e de expansão

Os diâmetros de entrada e de expansão são definidos através dos ângulos. Para o diâmetro de entrada o ângulo foi de 20°, convergente. Já para o diâmetro de expansão o ângulo foi de 4°, divergente. A Eq. 25 e 26 são utilizadas para encontrar os diâmetros de entrada e expansão respectivamente.

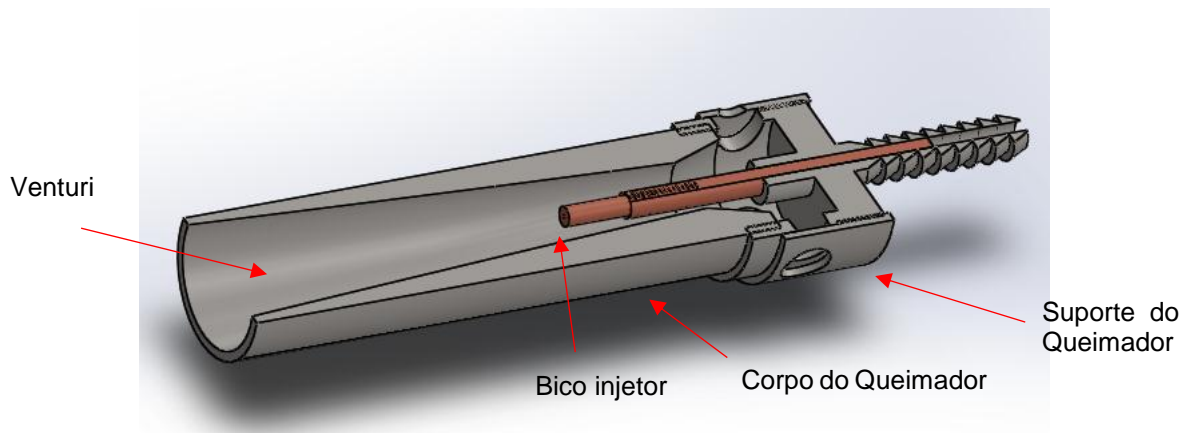
$$d_e = 2L_d \tan(a_c) + d_g [\text{m}] \quad (25)$$

$$d_{exp} = 2L_d \tan(a_d) + d_g [\text{m}] \quad (26)$$

Os valores encontrados foram de 27,67mm para a entrada e 36,4 mm para a saída. Para a construção do queimador foi utilizado um torno universal. Com as técnicas de usinagem realizando processos sendo, de desbaste, furação e acabamento possibilitou o queimador ter a mesma forma que foi estipulada no projeto anterior. Nota-se que este queimador é fabricado em duas partes: Uma é o suporte do bico injetor, onde se encontra a válvula de ar no qual a mesma possibilitará a restrição da passagem de ar e a outra é o corpo do queimador que resulta no tubo de Venturi onde se tem a mistura entre o combustível e o comburente liberando enfim a chama que será distribuída por todo o comprimento do forno.

É importante ressaltar que o software Solidworks® foi utilizado para se proporcionar os desenhos técnicos para este projeto. Passo importante para se ter uma noção de como construir o forno e o queimador também levando em conta que estes desenhos facilitarão para as próximas fabricações. Na Fig. 3 é possível verificar o projeto do queimador.

Figura 3 – Representação do queimador no Solidworks®

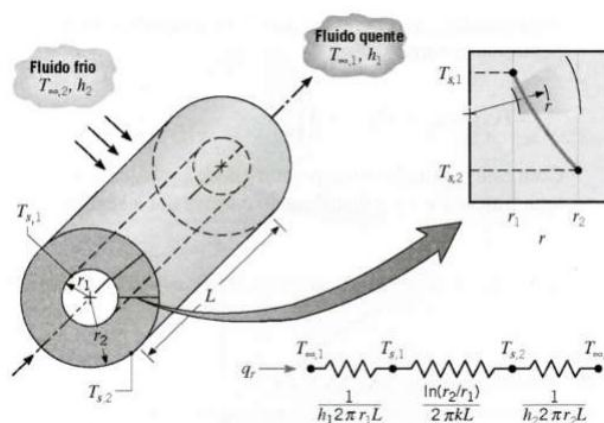


Fonte: Do autor (2020)

3.1 DIMENSIONAMENTO DO REVESTIMENTO

O dimensionamento do revestimento foi a última etapa de cálculos, onde compreenderam-se os cálculos para o revestimento do corpo do forno e nas duas portas. O corpo do forno será revestido com material refratário. A geometria definida foi cilíndrica, então os cálculos seguem os parâmetros para este formato. A equação resulta em uma resistência a condução térmica desde a parte interna até a parte externa do forno. Na Fig. 4 ilustra esta resistência.

Figura 4 – Esquema representativo da resistência em um corpo cilíndrico



Fonte: Baseado em Incropera (2008, p. 74)

Para definir o volume do revestimento, alguns parâmetros devem ser definidos, como: o tipo do revestimento (para determinar o coeficiente de

condutividade térmica) e os dados do volume interno do forno e a temperatura máxima atingida pelo forno. Na Eq. 27 é apresentada a equação usada para determinar o volume do revestimento.

$$r_2 = e^{\left(\frac{ts_1 - ts_2 - \frac{qa}{h \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_1 \cdot L}}{2 \cdot \pi \cdot k \cdot L}\right)} \cdot r_1 [\text{m}] \quad (27)$$

A mesma já deveria estar definida os valores necessários para esta equação são o raio externo e o raio interno com esses valores é possível calcular a quantidade do revestimento. Além dos raios é necessário conhecer a resistência a condução térmica do forno, e essa resistência será definida pelo número de revestimento. Neste projeto será somente uma parede refratária, optando por não usar duas paredes, uma refratária e outra isolante. Será utilizado a potência térmica, temperatura térmica definido como a temperatura ambiente, coeficiente convectivo do ar, tamanho do forno e o coeficiente condutividade térmica do material refratário.

Na Tab. 3 ilustra os dados das incógnitas solicitadas e o valor da espessura

Tabela 3 – Dados para o cálculo e a da espessura do revestimento

Variáveis	Valores
Potência térmica (W)	3 x 10 ³
Temperatura interna (K)	298,15
Temperatura externa (K)	1473,15
Coeficiente convectivo do ar interno (W/m ² K)	25
Raio interno (m)	7,5 x 10 ⁻²
Comprimento (m)	4,7 x 10 ⁻¹
Condutividade térmica W/mK	1,04
Raio externo (m)	15 x 10 ⁻²
Espessura (mm)	7,5

Fonte: Do autor (2020)

Lembrando que a potência usada é a taxa de transferência de calor do material. Assim com a definição da espessura do revestimento, foi possível determinar o diâmetro externo do forno. A construção do forno foi realizada, fazendo os cortes das chapas, calandrando e soldando. Após isso foi a instalação do revestimento. O preparo para a instalação do revestimento do refratário se baseia, em colocar em um recipiente o pó do refratário e misturando com 12% de água em uma relação ao

refratário, isso foi solicitado pelo fornecedor. Quando colocando o refratário, este necessita de uma mesa vibratória para compactar todo o material. Se no caso não possuir essa mesa se deve vibrar manualmente todo material que será preenchido na carcaça do forno. Na Fig. 5 ilustra o revestimento instalado no forno.

Figura 5 – Preparação do revestimento



Fonte: Do autor (2020)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Serão apresentados nesta etapa os resultados que foram obtidos neste trabalho, onde serão analisados o comportamento da chama, o isolamento do revestimento e a distribuição da queima no material forjado.

4.1 TESTE DO QUEIMADOR

Após a fabricação do queimador o mesmo foi colocado para teste. Esse teste é feito com auxílio de equipamentos, sendo eles um botijão de gás butano conhecido por gás de cozinha, válvula reguladora de pressão do gás onde deve ter uma pressão de no mínimo de 20 psi e mangueira que liga o botijão ao queimador sendo usado uma mangueira recomendada para o gás.

4.1.1 Primeiro teste

Para se iniciar a chama é necessário além do ar e do gás, uma propagação da centelha. Para o teste inicial, foi ateado fogo a um pano umedecido com álcool, amarrado em uma vareta para se manter uma distância segura para o operador do queimador.

No primeiro teste observou-se um primeiro problema a partir de uma medida de proteção que não foi tomada. Como não foi realizada uma boa vedação no bico injetor, o gás estava saindo antes do injetor e a chama estava sendo realizada dentro do queimador.

Com a correção desse problema, outro teste foi iniciado. Dessa vez com sucesso a chama se propagou na saída do queimador. A partir deste teste, a próxima etapa foi regular uma chama ideal para a aplicação. Para isso foi necessário o uso de uma válvula, onde foi controlada a passagem de ar no queimador.

Para a entrada de ar no queimador foi fabricado uma válvula onde será feita a restrição deste fluido para se chegar na melhor adequação para se ter uma boa queima.

4.1.2 Teste com uma vela de ignição

Utilizar um pano com álcool para acionar o queimador pode colocar o operador em risco por se expor diretamente a chama. Desta forma deve-se se promover uma medida para a partida do forno diminuindo os riscos.

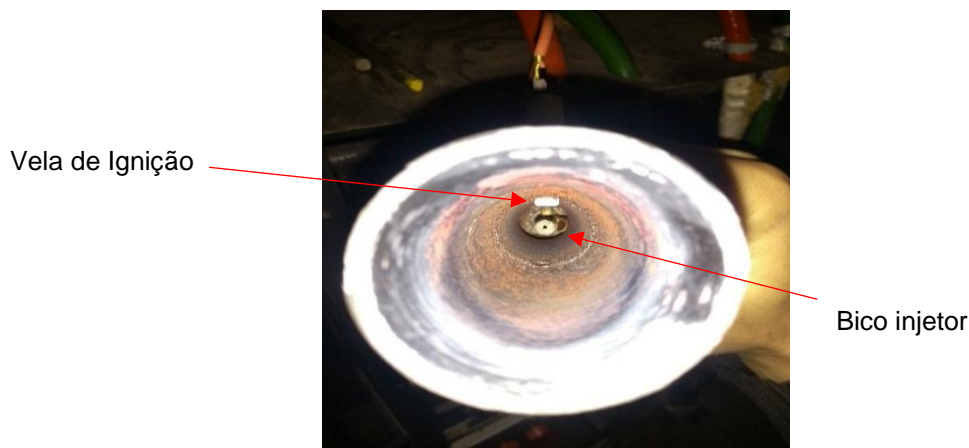
Para isso foi desenvolvido um processo automatizado, onde com botões e válvulas para o gás foi possível realizar a partida do queimador. A solução para isso veio com uma vela de ignição usualmente usadas em bocas de fogão. Deste modo um botão aciona a vela que propaga uma faísca e como consequência a chama é iniciada.

Os equipamentos para esta automatização, foram um botão de partida, uma bobina de ignição e uma vela.

Para instalar a vela de ignição, o maior problema está em definir a distância entre a vela e o queimador. Esta etapa de projeto realizada de maneira experimental mudando a posição da vela e verificando a melhor posição. Na primeira tentativa não se obteve sucesso, pois a vela estava muito distante e a faísca propagada pela vela

não alcançava no bico. Na segunda tentativa aconteceu a chama, mas dentro do queimador e queimando diretamente a vela. Na terceira tentativa obteve-se sucesso, tanto para a propagação da chama até no ponto onde a mesma era emitida. A vela ficou por fim instalada próxima do bico pronta para uso. Na fig. 6 mostra o local onde ela está instalada.

Figura 6 – Queimador com a vela de ignição



Fonte: Do autor (2020)

O bom resultado obtido da chama se fez na saída do queimador. Isso se deve a fatores como velocidade da chama e do gás. De acordo com Diman (2006) a velocidade da mistura entre ar e combustível tende a deslocar a chama afastando-a do queimador. Já a velocidade da chama, tende ir ao contrário para dentro do queimador. Neste caso a velocidade do gás foi superior à da chama e por isso ela ocorreu no final do queimador como esperado.

4.1.3 Queimador no forno

Já quando instalado no forno, o queimador foi ligado com sucesso proporcionando uma chama estável, mas somente com as portas abertas do próprio forno. Quando ocorreu o fechamento das portas, a chama era reduzida até a sua extinção. Nesse caso gerou-se uma chama redutora, pois de acordo com Diman (2006) também nomeado de sub estequiométrica, pois a proporção de comburente é inferior aos valores ideais. A extinção da chama gerou um questionamento sobre o motivo deste problema estar acontecendo, ressaltando que modificações a partir deste problema deverão ser realizados para não somente proporcionar a chama, mas

também para realizar uma chama condizente com o processo de queima para este forno, uma combustão completa. Na Fig. 7 mostra o comportamento da chama com a porta aberta.

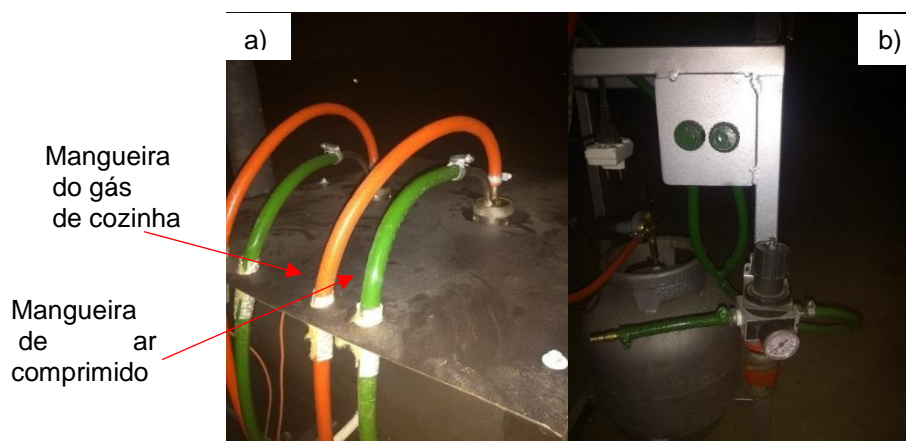
Figura 7 – Comportamento da chama com a porta aberta



Fonte: Do autor (2020)

Foi constatado que com as portas fechadas, a pressão interna do forno aumentava, impedindo a entrada de ar, para dentro do queimador, gerando uma mistura muito rica até o momento que não há mais ar para manutenção da chama. A solução foi utilizar o ar comprimido, assim havendo um dispositivo que empurre o ar mesmo havendo uma pressão interna. Na Fig. 8 o ilustra o sistema com ar comprimido.

Figura 8 – Sistema de ar comprimido, onde a) Tubulação de alimentação; b) Combustível do forno.



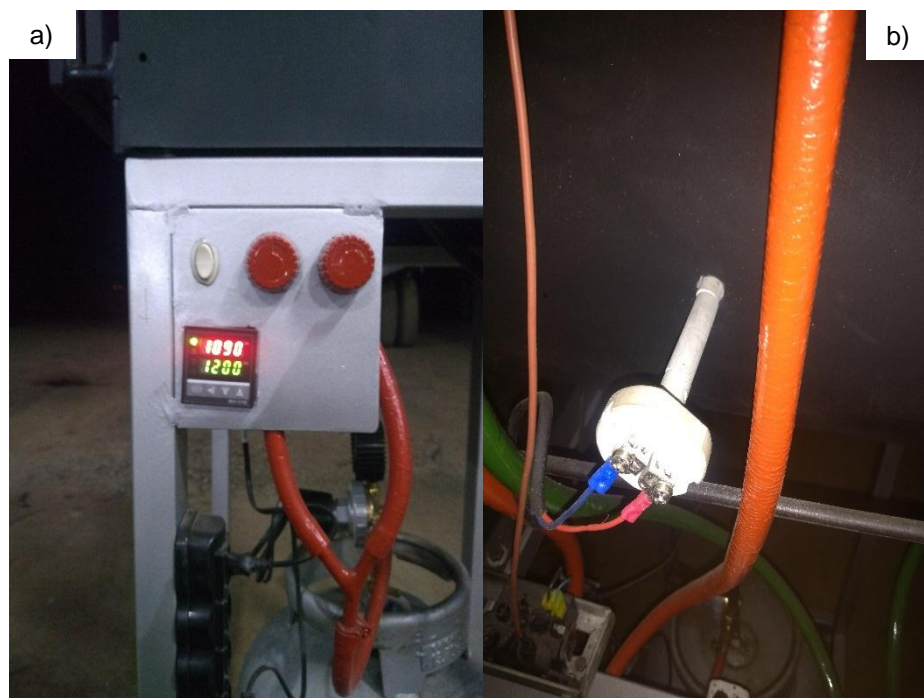
Fonte: Do autor (2020)

Neste caso gerou-se uma chama pré-aquecida onde se propaga mais calor do que propriamente a luz. Outra consideração é que se formou uma chama ligeiramente oxidante, chama requerida para este queimador, pois é uma chama em que se pretende fazer combustão completa inibindo uma mistura pobre ou rica, proporcionando uma melhor eficiência.

4.2 TESTE DE TEMPERATURA DO FORNO

Primeiramente por recomendação do fabricante do refratário, o forno foi ligado de uma forma gradativa, subindo a temperatura de forma lenta e controlada até atingir a temperatura máxima de 1200°C. Esse processo se deve ao fato de o revestimento possuir água em seu interior e para não ocasionar nenhum problema físico no corpo do refratário. Então este processo gradativo é essencial para retirar a água em seu interior. Após o primeiro teste, o forno seria ligado novamente aquecendo naturalmente. Na Fig. 9 mostra o controlador de temperatura e o sensor tipo K.

Figura 9 – Controlador de temperatura e sensor, onde: a) Leitor de temperatura; b) Posicionamento do sensor no forno.



Fonte: Do autor (2020)

4.3 DISTRIBUIÇÃO DE CALOR NO MATERIAL

O termopar tipo K é de uso genérico possui um baixo custo e pode registrar temperaturas entre -200 a 1200°C (DA SILVA; DA COSTA, 2015). Com essas descrições foi empregado este tipo de sensor e posicionado meio do forno para coletar a temperatura do volume interno. Além do controle por termopar, foi realizado critério de cor do material a ser forjado para controle da temperatura do forno. De acordo com de Pauli e Uliana (1997) o aço 1060 a 1080 em uma temperatura de tempera de 790°C possui uma cor vermelho escuro. Isto é um exemplo para esta análise, ou seja, para o material que vai ser aquecido a cor será levada como referência não somente pela temperatura que se encontra, mas também se está havendo a distribuição de calor.

Para este teste foi colocado uma chapa de aço de duas polegadas dentro do forno. Quando ligado, pode-se observar a vermelhidão nos pontos onde a chama estava focada. A vermelhidão se estende ao corpo todo da peça quando o forno atinge uma temperatura em torno de 400°C. A cor muda de vermelho para amarelo quando o forno se encontrava com uma temperatura de 1000°C. Nota-se que a cor se estende a todo comprimento do material deduzindo que a distribuição de calor se estendeu ao todo seu corpo. O teste mostrou que o forno pode alcançar temperatura de até 1200°C quando parte de temperatura ambiente em torno de 30 minutos.

4.4 ORÇAMENTO FINAL

Os custos finais da fabricação do forno são importantes, uma vez que é possível trabalhar com valores razoáveis para a construção de novos fornos.

A Tab. 4, mostra de forma detalhadas os custos de materiais utilizados na fabricação do forno. A tabela não engloba os custos com a mão de obra na fabricação do equipamento.

Tabela 4 – Orçamento de gasto de materiais

Variáveis	Unidade de venda	Valor da unidade	Quantidade utilizada	Total
Chapa metálica 2 mm espessura	m ²	R\$ 64,00	5	R\$ 320,00
Eixo para o queimador	Kg	R\$ 10,00	5	R\$ 50,00

Variáveis	Unidade de venda	Valor da unidade	Quantidade utilizada	Total
Cano de cobre	Metro	R\$ 26,00	0,5	R\$ 13,00
Tubo quadrado 40x30mm	Metro	R\$ 60,00	6	R\$ 360,00
Roda louca	Unitário	R\$ 14,00	4	R\$ 56,00
Parafuso M6 x 30	Unitário	R\$ 1,00	16	R\$ 16,00
Arruela lisa 1/4	Unitário	R\$ 0,50	16	R\$ 8,00
Arruela de pressão 1/4	Unitário	R\$ 0,50	16	R\$ 8,00
Porca M6	Unitário	R\$ 1,00	16	R\$ 16,00
Parafuso M8 x 30	Unitário	R\$ 1,00	8	R\$ 8,00
Arruela lisa 3/8	Unitário	R\$ 0,50	8	R\$ 8,00
Porca M8	Unitário	R\$ 1,00	4	R\$ 4,00
Vela de ignição	Unitário	R\$ 15,00	2	R\$ 30,00
Lã de Vidro	Unitário	R\$ 44,00	2	R\$ 88,00
Refratário	Pacote	R\$ 87,50	4	R\$ 350,00
leitor digital	Unitário	R\$ 139,90	1	R\$ 139,90
Pino mais bucha da porta	Unitário	R\$ 6,00	10	R\$ 60,00
Cantoneira 50 X 50 mm	Metro	R\$ 64,00	1	R\$ 64,00
Chapa metálica 1 mm espessura	Metro	R\$ 64,00	1	R\$ 64,00
Abraçadeira 9 – 13 mm	Unitário	R\$ 5,00	4	R\$ 20,00
Tinta preta alta temp. 500°C	Unitário	R\$ 24,00	4	R\$ 96,00
Tinta Opalescente	Unitário	R\$ 28,00	1/4	R\$ 7,00
Válvula de gás de alta pressão	Unitário	R\$ 200,00		R\$ 200,00
Sensor tipo K	Unitário	R\$ 107,00	1	R\$ 107,00

Fonte: Do autor (2020)

Total: R\$ 2102,90

O tempo levado para a fabricação se estendeu em torno de dois meses levando-se em conta que ajustes foram feitos após a fabricação. Além do mais a construção foi de forma gradativa, sendo que em média de trabalho a fabricação do forno foi de aproximadamente 2 horas por dia.

5. CONCLUSÃO

Os objetivos iniciais foram projetar e construir um forno destinado para a cutelaria, onde o mesmo deveria proporcionar um queimador com uma potência suficiente para proporcionar a temperatura de forja de 1200°C. Também, fornece um forno com revestimento que proteja o operador do calor e o material que levasse em conta que o próprio revestimento não agrida o material que está sendo trabalhado.

Esses objetivos foram cumpridos para elaboração deste projeto, onde através de testes, observa-se a temperatura final sugerida no projeto e um volume com espaço útil para forjamento de peças de pequeno porte.

Outra ponderação a ser feita quanto ao queimador é pelo comportamento deste quando esteve ao ar livre e no forno. Ao ar livre não existiu problema, pois tinha todo ar para puxar em seu interior e liberar toda chama e calor que eram gerados. Já no forno o mesmo não funcionou de forma adequada necessitando de uma sobre alimentação do ar, no caso utilizando ar comprimido. Foi cogitada a utilização de um ventilador, mas esta solução necessita de modificação do queimador.

É importante reiterar que o controle neste processo para uma boa queima do gás se atribuiu pelo comportamento da chama, no caso uma chama ligeiramente oxidante. Sendo que com o aumento de temperatura, a pressão de ar do e combustível muda frequentemente. Assim, necessitou-se de um controle das válvulas de forma permanente para o alcançar a temperatura de trabalho.

Outro problema ocorreu na porta de onde foi feita uma janela de trabalho. Todas as vezes que o forno era testado a mesma sofria empenamento devido a dilatação térmica. Foi percebido que o calor interno encontrava uma fuga por dentro da porta e a solução foi preencher com mais refratário para evitar a saída desse calor. Outro problema encontrado foi no botijão que gelava durante o processo, mas isso se deve ao fato a pressão baixa do botijão causada pela pouca demanda de vazão.

Por fim o proposito maior deste trabalho que era proporcionar ao leitor os dimensionamentos e explicar o porquê da utilização de cada um deles, foi alcançado. Além do mais, trazendo quesitos como uma boa relação estequiométrica oriunda do queimador, e uma boa dissipação de calor oferecida pelo revestimento. Deste modo pode-se fabricar um forno para cutelaria atingindo estes desempenhos de trabalho.

Agradecimentos

Agradeço ao professor Agaci Junio Lavor Pereira por me ajudar no cálculo do revestimento e o orientador Alexandre Milanez por esclarecer todas as minhas dúvidas sobre o forno. A empresa CEPAC LTDA por ceder os maquinários para a fabricação. E aos meus familiares por sempre me incentivar.

REFERÊNCIAS

AMELL, Andrés; GIL, Edison; CADAVID, Francisco. **EMISIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO Y METANO EN UN QUEMADOR ATMOSFÉRICO DE GAS NATURAL.** ano 1999.

THE AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEERS. ASME. **FLOW MEASUREMENT: PERFORMANCE TEST CODES.** NEW YORK: [s. n.], 2004. 166 p.

CID, A. S.; CORREA, T. Venturino. **Análise da variação de pressão em um tubo de Venturi utilizando Arduino e sensor de pressão,** [s. l.], ano 2019, v. 41, ed. 3, 15 out. 2019.

DANTAS, Marcelo Araujo. **ANALISE DE DESEMPENHO DE UM QUEIMADOR INFRAVERMELHO FUNCIONANDO COM GÁS LIQUEFEITO DE PETRÓLEO E GLICERINA.** 2010. 94 p. DISSERTAÇÃO (Pós-Graduação em Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

DA SILVA, Camila de Lima; DA COSTA, Valdinei Dias. **APLICAÇÕES DE TERMOPARES.** 2015. 11 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia elétrica) - FER/AEDB, Resende, 2015.

DE PAULI, Evandro Armini; ULIANA, Fernando Saulo. CPM - Programa de Certificação de Pessoal de Manutenção. **Mecânica Tratamentos Térmicos,** Espírito Santo, p. 1-14, 1997.

DIMAN, Cristiano Manechini. **MEDIDOR DE VAZÃO DE AR PRIMÁRIO PARA QUEIMADORES A GÁS.** 2006. 128 p. DISSERTAÇÃO (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2006.

HOGAN, Tomas Christian. **SISTEMA DE AQUECIMENTO INDUTIVO INTEGRADO A UM RETIFICADOR DE ALTO FATOR DE POTENCIA.** 2014. DISSERTAÇÃO

(POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELETRICA E INFORMATICA INDUSTRIAL)
- UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CURITIBA, 2014.

INCROPERA, Frank. P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 6. ed.
Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007. 657 p

IBAÑEZ, WILLIAM ALEXANDER CARRILLO. **ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE PROJETO DE QUEIMADORES ATMOSFÉRICOS TIPO TUBO PERFURADO**. 2005. 154 p. DISSERTAÇÃO (Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, Florianópolis, 2005.

LIMA, Antonio. **GERAÇÃO TÉRMICA: Poder Calorífico**. 2014. Disponível em:
<http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>. Acesso em: 19 set. 2019.

MENOSSO, Gilvan; PERAÇA, Mauro. PROJETO INFORMACIONAL, CONCEITUAL E PRELIMINAR DE UM FORNO DE INDUÇÃO PARA USO EM CUTELARIA ARTESANAL. **FORNO DE INDUÇÃO**, [s. l.], ano 2018, v. 7, p. 90-103.

MITRE, Omar Toste de Carvalho; MOREIRA, José Roberto Simões. **ESTUDO E ESCOLHA DE UM GERADOR DE GASES QUENTES**. ano 2006.

RAAD, Henrique Jardim. **Influência das Condições de Mistura e Moldagem na Permeabilidade de Concretos Refratários Aluminosos**. 2008. DISSERTAÇÃO (PÓS GRADUAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, [S. l.], 2008.

SAKO, E.Y.; PANDOLFELLI, V.C. A relação entre a corrosão e a microestrutura: a chave para o desenvolvimento de concretos refratários espinelizados de alto desempenho. **Artigo revisão**, [s. l.], p. 127-143, 2014.

SILVA, Darlan Henrique. **PROJETO DE UM FORNO À RESISTÊNCIA ELÉTRICA PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO**. Orientador: Prof. Me. Lober Hermany. 2016. 51 p.

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Mecânica) - Centro Universitário UNIVATES, Lajeado, 2016

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**, [s. l.], ano 2017, p. 281-294.

SILVA, Marinilda; SILVA, Marly; BARRIONUEVO, Bruno; FEITOSA, Igor; SILVA, Givanildo. REVESTIMENTOS CERÂMICOS E SUAS APLICABILIDADES. **REVESTIMENTOS**, [s. l.], ano 2015, v. 2, ed. 3, p. 87-97.

SINDIGÁS (Brasil). PRÊMIO GLP DE INOVAÇÃO E TECNOLOGIA. **METODOLOGIA DE CÁLCULO**: Emissões de Poluentes na Distribuição de Gás LP. 2014. Disponível em: http://www.sindigas.org.br/novosite/wp-content/uploads/2017/10/METODOLOGIA_DE_CALCULO_DE_EMITSOES_DE_POLUENTES_NA_DISTRIBUICAO_DE_GAS_LP-MEIO_AMBIENTE.pdf. Acesso em: 1 out. 2019.

VLASSOV, D. **Fundamentos de combustão**: Balanço material de reações de combustão. [S. l.: s. n.], 2008. 69 p.

LISTA DE SÍMBOLOS

\dot{m}_f	[kg/s]	Vazão do gás combustível
A_i	[m ²]	Área do injetor
u_f	[m/s]	Velocidade do gás
ρ	[kg/m ³]	Massa específica
P_1	[Pa]	Pressão de entrada
P_2	[Pa]	Pressão de saída
u_1	[m/s]	Velocidade de entrada
u_2	[m/s]	Velocidade de saída
ΔP	[Pa]	Diferença de pressão

\dot{m}_{real}	[kg/s]	Vazão mássica real do gás
\dot{m}_{ideal}	[kg/s]	Vazão mássica ideal do gás
Cd	[...]	Coeficiente de descarga
$\dot{Q}t$	[W]	Potência térmica
PCI	[kj/kg]	Poder calorífico inferior
Ld	[m]	Comprimento do difusor
dg	[m]	Diâmetro da garganta
Lig	[m]	Distância da separação do injetor
Ag	[m ²]	Área da garganta
Lc	[m]	Comprimento do bocal
d_e	[m]	Diâmetro de entrada
d_i	[m]	Diâmetro do injetor
d_{exp}	[m]	Diâmetro de expansão
a_c	[°]	Ângulo convergente
a_d	[°]	Ângulo divergente
$\dot{m}m$	[kg/s]	Vazão da mistura
um	[m/s]	Velocidade da mistura
R	[...]	Relação entre ar e combustível
Qa	[m ³ /s]	Vazão do ar primário
Qf	[m ³ /s]	Vazão do gás
ρf	[kg/m ³]	Massa específica do combustível
ρa	[kg/m ³]	Massa específica do ar
d_{rel}	[...]	Relação entre as vazões mássicas entre o ar e o combustível
qa	[W]	Taxa de transferência de calor
$Ts1$	[K]	Temperatura interna
$Ts2$	[K]	Temperatura externa
h	[W/m ² K]	Coeficiente convectivo
L	[m]	Comprimento do forno
$r1$	[m]	Raio interno
$r2$	[m]	Raio externo
K	[W/m.k]	Condutividade térmica