



DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DE UM FORNO DE FUNDIÇÃO ELÉTRICO PARA FINS DE PESQUISA ACADÊMICA

Lucas Dias Clementino
lucas.clementino@aedb.br
FER

Paulo Cesar de Moura Junior
paulo.moura@aedb.br
FER

Renan Benedito Ribeiro
renan.ribeiro@aedb.br
FER

Farney Coutinho Moreira
farney.coutinho@aedb.br
FER

Resumo: Os Fornos de Fundição são equipamentos utilizados para fundir metais até que os mesmos assumam a forma líquida e então sejam vazados em um molde contendo uma cavidade com a geometria desejada para a peça final. A capacidade de fundição do forno varia em função dos materiais utilizados. Tendo isso em vista, o presente trabalho, apresenta os passos para realização do dimensionamento de um forno de fundição de baixo custo, demonstrando os cálculos necessários para se obter a geometria mais eficiente e materiais mais indicados para a aplicação e o dimensionamento detalhado da espessura das camadas de isolamento térmico e da resistência elétrica, com o intuito de desenvolver um equipamento de alto desempenho, possibilitando o estudo e a construção de um forno que tem capacidade de fundir metais com ponto de fusão de até 1100 °C, portanto, sendo capaz de fundir todos os Metais Não Ferrosos. A estrutura do forno é constituída basicamente por uma estrutura de aço 1020, concreto refratário, isolante de manta cerâmica, cadinho e o combustível, que nesse caso é a eletricidade.

Palavras Chave: Forno de Fundição - Termodinâmica - Isolamento Térmico - Eletricidade - Metais Não Ferrosos

1. INTRODUÇÃO

Dentre os mais variados processos de fabricação industrial, encontra-se o processo de fundição, o qual é um dos processos mais utilizados na indústria de bens de consumo e bens duráveis. Esse processo consiste na fundição de um metal até que o mesmo assumam a forma líquida e então, é feito o vazamento do metal líquido num molde, contendo uma cavidade com a geometria desejada para a peça final. O processo de fundição demanda materiais específicos para a sua execução, os quais devem ter características de resistência térmica e estrutural, (MOREIRA, 2011).

O processo de fundição compreende ainda uma sequência de etapas: fabricação do molde, fabricação dos machos, fusão do metal, vazamento ou enchimento, desmoldagem e acabamento. O nosso projeto, no entanto, se voltará apenas ao estudo e criação do forno para a fusão dos metais não ferrosos, tendo como plano de melhoria e aprofundamento futuro a elaboração dos moldes e consequentes etapas.

Segundo Filho (2011), os processos de conformação podem ser divididos em dois grupos: processos mecânicos, nos quais as modificações de forma são provocadas pela aplicação de tensões externas, e às vezes em altas temperaturas, mas sem a liquefação do metal; e processos metalúrgicos, nos quais as modificações de forma podem estar relacionadas também às tensões externas, e às vezes em altas temperaturas, mas com liquefação do metal (como no processo de fundição) ou com a difusão de partículas metálicas (como no processo de sinterização). A indústria metalúrgica compreende basicamente cinco grupos de atuação produção de ferro gusa e de ferroligas, siderurgia, fabricação de tubos (exceto em siderúrgicas), metalurgia de metais não ferrosos e fundição

O foco do presente trabalho consiste na Fundição. O projeto em questão visa estudar e desenvolver um forno de fundição elétrico para fundição de metais não ferrosos, elaborando seus dimensionamentos, potência necessária para fundição dos metais e um queimador com eficiência adequada para o processo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este tópico tem por objetivo apresentar as teorias fundamentais para o desenvolvimento deste artigo e as equações necessárias para a obtenção dos resultados apresentados.

2.1 TRANSFERÊNCIA DE CALOR

A transferência de calor é fundamental para todos os ramos da engenharia. Assim como o engenheiro mecânico enfrenta problemas de refrigeração de motores, de ventilação, ar condicionado, etc., o engenheiro metalúrgico não pode dispensar a transferência de calor nos problemas relacionados aos processos pirometalúrgicos e hidro metalúrgicos, ou no projeto de fornos, regeneradores, conversores entre outros (Quites 2003).

Segundo INCROPERA (2011), a transferência de calor pode ser definida como a forma de energia que pode ser transferida de um sistema para o outro em consequência da diferença de temperatura entre eles.

É necessário o entendimento dos mecanismos físicos que permitem a transferência de calor de modo a quantificar a quantidade de energia transferida na unidade de tempo. Estes mecanismos são: condução, convecção e radiação.

2.1.1 CONDUÇÃO

Herring (2015) afirma que condução ocorre quando há o contato de dois objetos que se encontram com diferentes temperaturas. Com o contato, o calor irá fluir do corpo mais quente para o corpo mais frio, utilizando a diferença de temperatura como força motriz para essa transferência de calor. Ainda de acordo com Herring (2015), para transferência de calor por condução é dada pela Equação 1:

$$Q = \frac{K \times A \times (T_Q - T_F)}{L} . \quad (1)$$

Onde:

Q é o calor (w);

k é a condutividade térmica (W/m.K);

A é a área (m²);

$T_Q - T_F$ é a diferença de temperatura (K);

L é a espessura (m).

2.1.2 CONVECÇÃO

Incropera (2011) define convecção como sendo o processo que ocorre quando existe o contato entre um fluido em movimento e uma superfície. Pode se dar por dois mecanismos, tanto pelo movimento molecular aleatório como também pelo movimento global. Para calcular a taxa de transferência por convecção, Herring (2015) apresenta a Equação 2:

$$Q = h_c \times A \times (T_f - T_0) . \quad (2)$$

Onde:

Q é o calor (w);

h_c é o coeficiente de transferência de calor por convecção (W/m².K);

A é a área da superfície (m²);

$T_f - T_0$ é a diferença entre a temperatura do fluido e a do objeto em contato (K).

2.1.2.1 CONVECÇÃO NATURAL

Incropera (2011) define que convecção natural é o mecanismo de transferência de calor no qual o movimento do fluido ocorre somente em função das diferenças de massa específica, que por sua vez, decorre da diferença de temperatura, não sendo alterada por nenhuma fonte de movimento externa. É apresentada ainda, para o cálculo do coeficiente de transferência por convecção natural, apresentada na Equação 3:

$$h = \frac{(Nu \times k)}{L} . \quad (3)$$

Onde:

h é o coeficiente de convecção natural (W/m².K);

Nu é o número de Nusselt;

k é a condutividade térmica do material (W/m.K);

L é o comprimento característico (m).

Incropera (2011) ainda aborda que o número de Nusselt é um valor baseado na análise dimensional, que correlaciona a transferência de calor de um fluido por convecção e por condução, podendo ser calculado por meio da Equação 4.

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 \times Ra^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 ; \quad (4)$$

Onde, Nu é o número de Nusselt, Pr o número de Prandtl e Ra o número de Rayleigh; e o número de Rayleigh é simplesmente a relação entre o número de Prandtl com o número de Grashof, dado pela Equação 5:

$$Ra = Gr \times Pr = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_\infty) \times L^3}{\nu \times \alpha} . \quad (5)$$

Onde:

Ra é o número de Rayleigh;

Gr é o número de Grashof;

Pr é o número de Prandtl;

g é gravidade (m/s^2);

β é o coeficiente de dilatação térmica em K^{-1} ;

T_s é a Temperatura da superfície (K);

T_∞ é a temperatura do fluido (K);

L é o comprimento característico da geometria (m);

μ é a Viscosidade cinemática (mm^2/s);

α é a Difusividade térmica (mm^2/s).

Incropera (2011) também define o número de Grashof como o número que relaciona as forças de empuxo com a viscosidade em um fluido. Podendo ser calculado pela Equação 6:

$$Gr = \frac{g \times \beta \times (T_s - T_\infty) \times L^3}{\nu^2} . \quad (6)$$

Onde:

Gr é o número de Grashof (adimensional);

g é gravidade em (m/s^2);

β é o coeficiente de dilatação térmica em K^{-1} ;

T_s é a Temperatura da superfície (K);

T_∞ é a temperatura do fluido (K);

L é o comprimento característico da geometria (m);

μ é a Viscosidade cinemática (m^2/s).

2.1.3 RADIAÇÃO

Segundo Herring (2015) transferência de calor por radiação não se utiliza de contato direto entre os dois meios, pois a energia é transportada por ondas magnéticas, sendo mais eficiente no vácuo. A radiação térmica é emitida por todas as substâncias que tenha a temperatura maior que 0k (zero Kelvin), mas segundo a Equação 7 que define a taxa de transferência de calor por radiação, quanto maior a diferença de energia do radiador em relação ao receptor maior será a energia transferida, e como o forno chegara a 1.400 C° a radiação se torna uma variável importante e considerável.

$$Q = A \times \sigma \times F_e \times F_s \times (T_{ra}^4 - T_{re}^4) . \quad (7)$$

Onde:

Q é o calor transferido (w);

A é a área da superfície (m²);

σ é uma constante (Stefan-Boltzmann);

F_e e F_s são as emissividades;

T é a temperatura (K).

3. MATERIAIS

Um forno de resistência elétrica apresenta três elementos principais: cadinho, isolamento térmico, resistência elétrica e um painel de controle, além da estrutura que é constituído, nesse caso, chapas de aço SAE 1020.

3.1 CADINHO

O cadinho é o recipiente no qual se é colocado o material que será fundido, os cadinhos modernos de acordo com Morgan (2013) são compostos por um material altamente heterogêneo a base de carbetos de silício ligado a carbono – SiC (30% de grafite, 45% de carbetos de silício); Grafite ligado a carbono – GF (35% de grafite, 12% de carbetos de silício); Grafite-argila – GA (35% de grafite), e que o alinhamento e controle estrutural desse grafite que determinam se o cadinho alcançará a performance requerida em projeto.

3.2 ISOLAMENTO TÉRMICO

Isolante térmico é um material que apresenta uma baixa dissipação de calor, ou seja, ele evita que ocorra transferência de energia de um meio para outro. De acordo com NR-14 “Os fornos, para qualquer utilização, devem ser construídos solidamente, revestidos com material refratário, de forma que o calor radiante não ultrapasse os limites de tolerância estabelecidos pela Norma Regulamentadora - NR 15”. Dessa forma, o isolamento, além de não permitir que o calor gerado pelo forno seja dissipado, gerando uma eficiência maior e o consumo de eletricidade menor, também evita que o exterior absorva energia necessária para ultrapassar a temperatura máxima permitida pela nr-15. O projeto retratado contará com 2 materiais isolantes:

- Manta de fibra cerâmica com massa específica de 128 Kg/m^3 e coeficiente de condutividade térmica de $K=0,179 \text{ W/m.K}$;
- Concreto Isolante CHS-1515, que possui coeficiente de condutividade térmica de $K = 0,570 \text{ W/m.K}$.

3.3 RESISTÊNCIA ELÉTRICA

De maneira geral, Silva (2016) define resistência elétrica como sendo a oposição ao fluxo de carga através de qualquer material. Oposição essa oriunda do atrito entre elétrons e também dos elétrons com os átomos do material. Esta resistência tem a capacidade de convergir a energia elétrica em energia térmica.

No projeto em questão, o material da resistência elétrica será o Kanthal D, que é uma liga ferrítica de ferro-cromo-alumínio (liga de FeCrAl) para uso em temperaturas de até $1.300 \text{ }^\circ\text{C}$ ($2.370 \text{ }^\circ\text{F}$). A liga tem como características alta resistividade e boa resistência à oxidação.

3.4 PAINEL DE OPERAÇÕES

O painel de operações contará com um controlador de temperatura, um relé térmico e um termopar; além de um sistema de leds indicadores de funcionamento, sendo elas: verde indicando funcionamento e vermelho ocioso. São utilizadas também botoeiras para ligar e desligar o sistema, um disjuntor de 30 A, bem como 6 m de cabos de 6mm.

4. MÉTODO

Para estruturação desse estudo, reuniu-se materiais de pesquisa com direcionamento exploratório, utilizando-se de artigos científicos voltados tanto para a área de fundição, quanto para a área da elétrica, no que diz respeito ao seu uso no projeto. Para assegurar a confiabilidade da pesquisa, em uma triagem do material encontrado, selecionou-se pontos importantes objetivando a fundamentação da pesquisa. Com isso, após escolhida a ideia central, verificou-se a viabilidade técnica, utilidade prática e funcionalidade. Feito isso partiu-se para a elaboração prática, iniciando-se com a definição dos recursos disponíveis para a sua elaboração. Um cronograma de atividades foi elaborado, baseado nos conhecimentos bibliográficos estudados, de maneira que possibilitasse atingir os objetivos propostos no capítulo introdutório deste trabalho.

4.1 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMENTO

Após as revisões literárias, verificou-se que devem ser imputados alguns dados de entrada para o dimensionamento do forno, como a temperatura máxima interna a ser alcançada, a temperatura máxima de superfície no exterior da estrutura, além de outros componentes construtivos do forno. Estes dados podem ser observados na Tabela 1.

O forno deverá atingir uma temperatura em seu interior de 1.100°C , assim possibilitando a proposta de realizar a fundição de todos os metais não ferrosos, e em seu exterior uma temperatura que não exceda 80°C .

Para que o forno mantenha a temperatura interna e não ultrapasse os valores de temperatura externa estabelecida, será necessário uso de elementos isolantes na parte construtiva do forno, como concreto refratário, manta isolante e uma camada de ar da estrutura interna do forno.

Os dados de entradas e as constantes obtidas através da literatura que serão necessários para os cálculos do dimensionamento foram relacionados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados de entrada

Dados de Entradas		
T_{Int} (°C)	Temperatura Interna do Forno	1100
T_{Sup} (°C)	Temperatura de Superfície	80
T_A (°C)	Temperatura Ambiente	21,8
K_{Manta} (W/m.K)	Condutividade Térmica do Isolante	0,179
ρ_{Manta} (Kg/m ³)	Densidade da Manta de Fibra Cerâmica	128
H (m)	Altura interna	0,30
D_{int} (m)	Diâmetro Interno	0,25
$L_{aço}$ (mm)	Espessura chapa interna - aço inox	2,60
L_{ar} (mm)	Espessura Camada de ar Lateral	50,00
$K_{aço}$ (W/m.K)	Condutividade Térmica da chapa externa de aço	50,20
K_{Tijolo} (W/m.K)	Condutividade Térmica do Concreto Isolante	0,57
Bar (1/K)	Coefficiente de dilatação térmica do ar	$3,67 \times 10^3$

Fonte: Autoral (2020)

Para os cálculos da espessura do isolamento térmico foram usados alguns valores interpolados da tabela de dados da literatura, que estão dispostos na Tabela 2, sendo eles:

Tabela 2: Dados de entrada de valores interpolados da tabela da literatura

Dados de Entradas de Valores Interpolados da Tabela da Literatura		
μ_{ar} (m ² /s)	Viscosidade cinemática do ar considerando T_A	$1,54 \times 10^5$
α_{ar} (m ² /s)	Difusividade térmica considerando T_A	$2,18 \times 10^5$
K_{ar} (W/m.K)	Condutividade Térmica do ar considerando T_A	0,026
Pr_{ar} (adimensional)	Número de Prandtl considerando T_A	0,708

Fonte: Autoral (2020)

Após determinar as características e realizar a seleção de materiais com base na capacidade estabelecida. Iniciam-se os cálculos para o dimensionamento do isolamento térmico, calculando as espessuras da camada dos isolantes que revestem o forno.

Para a definição da espessura do isolante térmico que será necessário para o forno, foi estabelecida uma relação entre a taxa de transferência de calor por condução e por convecção, conforme apresentado nas Equações (1) e (2).

Considerando que a temperatura do ambiente seja de 20°C e que a temperatura máxima desejada na parede externa do forno seja de 80°C, pode-se definir o número de Rayleigh, através da Equação 5.

Já de posse do número de Rayleigh, pode-se calcular o número de Nusselt através da Equação 4.

Após obter o número de Nusselt é possível obter o valor do coeficiente de convecção natural, através da Equação 3.

Agora de posse de todos os valores necessários, pode-se voltar na relação entre as equações da taxa de transferência de calor por condução e por convecção, para encontrar o valor da espessura de isolante necessária para o forno.

Os resultados obtidos após os cálculos foram listados na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3: Cálculos de espessura do isolamento térmico.

Cálculos de Espessura do Isolamento Térmico		
GrL (adimensional)	Número de Grashof para placa Lateral	$2,37 \times 10^8$
RaL (adimensional)	Número de Rayleigh para placa Lateral	$1,68 \times 10^8$
NuL (adimensional)	Número de Nusselt para placa Lateral	71,317
heL (W/m.K)	Coef. Transferência de calor - convecção natural Lateral	6,156
LL (mm)	Espessura da Camada de Isolante - Lateral	114
D _{ext} (mm)	Diâmetro Externo do forno	583

Fonte: Autoral (2020)

Feitos os cálculos necessários para o isolamento térmico do forno, serão necessários os cálculos de dimensionamento das resistências elétricas. Sendo que para a realização dos cálculos será necessário imputar alguns valores assim como feito no dimensionamento dos isolamentos térmicos, como o diâmetro do arame, a voltagem de alimentação, volume do cadinho a ser utilizada, a temperatura de fusão e as constantes do material a ser utilizado como resistência elétrica. Dados dispostos na Tabela 4:

Tabela 4: Dados de entrada da resistência elétrica.

Dados de Entradas		
V (Volts)	Voltagem de Alimentação do forno	220
V _c (L)	Volume do cadinho usado	3,5
T _{F-Al} (°C)	Temperatura de fusão do Cobre	1084,62
D (mm)	Diâmetro do Arame de Kanthal Al	2,052
D _{int} (mm)	Diâmetro interno da Espira	8
c _{Al} (J/Kg°C)	Calor específico do Cobre	380,99
ρ _{Al} (Kg/m ³)	Peso específico do Cobre	8900
ρ (Ω.mm ² /m)	Resistividade Elétrica	1,35
C _t (adimensional)	Fator de Temperatura	1,04

Fonte: Autoral (2020)

De posse dos dados acima listados, iniciam-se os cálculos para o dimensionamento da resistência elétrica, calculando a massa de aço no volume útil, a quantidade de calor e a potência necessária para fundir 3,5L de cobre (que é o material com maior ponto de fusão). Sabendo-se do volume suportado pelo cadinho e o peso específico do material, obtemos a massa do aço no volume útil.

Utilizando a massa do volume útil anteriormente referenciado, o calor específico e a diferença entre a temperatura de fusão e a temperatura ambiente é possível calcular o calor necessário para fundir os 3,5L de cobre. Feito isso, calculou-se a potência necessária para fundir a referida quantidade de cobre e em seguida determina-se a corrente elétrica, a resistência por metro de arame, a resistência total a temperatura máxima e à ambiente. Determinada as resistências, é possível se calcular o comprimento total do arame e da bobina e por fim calcular a carga de superfície. Os resultados obtidos estão dispostos na Tabela 5, abaixo:

Tabela 5: Cálculos do dimensionamento da resistência.

Cálculos do Dimensionamento da Resistência		
Mal (Kg)	Massa de aço no volume útil	31,150
Q (J)	Quantidade de Calor para fundir 3,5L do Cobre	$1,26 \times 10^6$
P (W)	Potência necessária fundir 3,5 L de Cobre	$1,04 \times 10^4$
I (A)	Corrente elétrica Total	48
Ω/m (Ω/m)	Resistência por metro de Arame	0,408
R_{teq} (Ω)	Resistência Total a Temperatura Máxima	4,603
R_{ra} (Ω)	Resistência Total a Temperatura Ambiente	4,43
L (m)	Comprimento total de Arame	10,8
x (mm)	Comprimento total da Bobina	705
S (W/cm^2)	Carga de Superfície	3,05

Fonte: Autoral (2020)

4.2 DIMENSIONAMENTO

A estrutura externa do forno foi construída com uma chapa de aço SAE 1020. Foi utilizada uma chapa inteiriça de 1880 mm x 410 mm, que foi dobrada para formar a estrutura Cilíndrica, como visto na Figura 1, para posteriormente serem feitos os rasgos, facilitando a circulação da camada interna de ar do forno.



Figura 1: Estrutura externa.

Fonte: Autoral (2020)

O interior do forno foi projetado com altura, e diâmetro interno de 430mm e 540mm, respectivamente, como mostrado na Figura 2. A escolha do volume interno se deu à sua aplicação e a facilidade da transmissão de calor e homogeneização térmica para essas dimensões. Tendo em vista que ele será empregado basicamente para ensaios, utilizando corpos de provas, com propósitos acadêmicos e científicos, foi decidido que esse volume era suficiente.



Figura 2: Estrutura interna.

Fonte: Autoral (2020)

Para garantir que a temperatura na película externa se mantivesse em até 80°C, a estrutura do forno foi construída em duas partes, com uma camada de ar de 50 mm de espessura separando as mesmas, minimizando assim a transmissão de calor entre a parte interna para a externa. O ar foi escolhido para preencher essa camada devido ao fato de ter grande poder isolante, sendo ideal para reduzir drasticamente a transmissão de calor entre a parte interna e a externa do forno. A ligação entre essas duas partes foi feita por meio de cantoneiras, com a menor superfície de contato possível, para reduzir a transmissão de calor por condução, conforme pode ser observado na Figura 3.

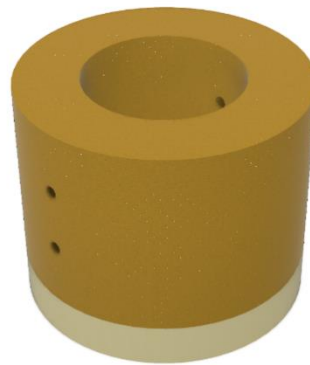


Figura 3: Isolamento lateral e inferior.

Fonte: Autoral (2020)

Com relação ao isolamento térmico, parte inferior é composta de uma camada de concreto isolante de 450 mm; nas laterais foram aplicadas uma camada de placa de fibra isolante de 50 mm.

Para garantir que a temperatura na película externa se mantivesse em até 80°C, a estrutura do forno foi construída em duas partes, com uma camada de ar de 50 mm de espessura separando as mesmas, minimizando assim a transmissão de calor entre a parte interna para a externa. O ar foi escolhido para preencher essa camada devido ao fato de ter grande poder isolante, sendo ideal para reduzir drasticamente a transmissão de calor entre a parte interna e a externa do forno. A ligação entre essas duas partes foi feita por meio de cantoneiras, com a menor superfície de contato possível, para reduzir a transmissão de calor por condução, conforme apresentado na Figura 4.

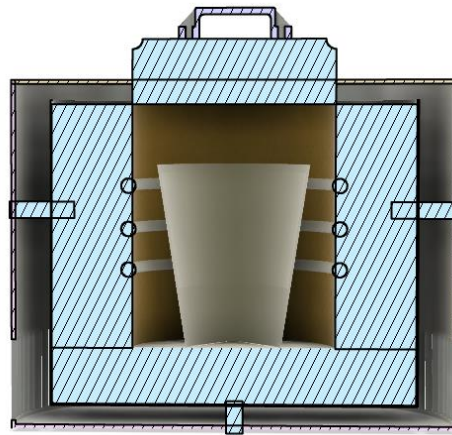


Figura 4: Isolamento lateral e inferior.

Fonte: Autoral (2020)

Para a disposição do sistema elétrico, foi anexado um painel elétrico na lateral do forno, nele foi fixado o kit controlador de temperatura com relé e termopar, as botoeiras para ligar/desligar o sistema e o disjuntor. O termopar foi introduzido no interior do forno através de um furo na parte traseira do mesmo, passando pelo centro do isolamento térmico.

Com relação às resistências elétricas apresentadas na Figura 5, foram feitos rasgos nas placas de fibra isolante nas laterais do forno, nas quais foram fixadas as resistências, conforme pode ser observado na Figura 6.



Figura 5: Resistência Elétrica.

Fonte: Autoral (2020)

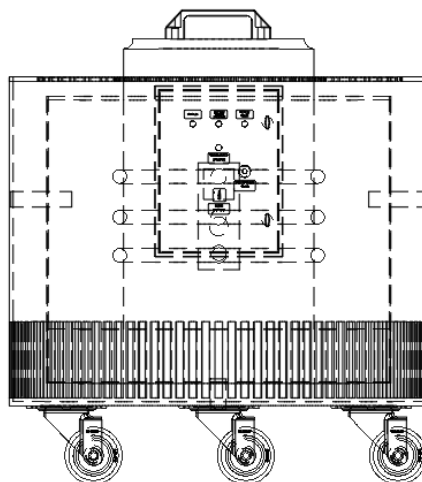


Figura 6: Vista de corte lateral do forno.

Fonte: Autoral (2020)

5. RESULTADO E DISCUSSÃO

Seguindo-se todas as etapas indicadas no capítulo de metodologia, dentre as quais podemos listar: revisão literária, viabilidade técnica e financeira, capacidade de fundição do forno, temperatura máxima interna e externa, dimensionamento, projeção 2D e 3D, feita com o auxílio de um software; que além de possibilitar o desenho do projeto foi capaz de realizar a simulação do funcionamento dos componentes mecânicos; definição dos fornecedores, compra dos materiais e por fim a execução propriamente dita do projeto; concluiu-se o projeto conforme é mostrado na Figura 7.



Figura 7: Forno completo.

Fonte: Autoral (2020)

Com a finalização de todas as etapas do projeto, tendo o forno pronto, constatou-se a viabilidade da construção do forno, uma vez que o preço total do projeto foi de R\$3.013,15, e os preços desse tipo de forno, no mercado atual, variam entre R\$3.500,00 e R\$5.000,00 para essas especificações aproximadas a essa. Além da viabilidade financeira, o projeto demonstrou aos autores grande valor acadêmico, uma vez que foi necessária a revisão detalhada da literatura de vários assuntos que foram abordados no decorrer do curso e até mesmo alguns que não foram, dessa forma reforçando e possibilitando novos aprendizados, sobretudo no que diz respeito as etapas de um projeto que foram até então pouco vivenciadas pelos mesmos. Melhorando assim a capacidade de desenvolver cronogramas, metodologias a serem seguidas, esboço de projeto, comprometimento com cada entrega, dentre outras.

6. CONCLUSÃO

Este trabalho demonstrou todas as etapas de um processo de fundição possibilitando assim um entendimento de todo o processo teórico e prático sobre fundição com fonte de aquecimento por resistência elétrica e das propriedades térmicas de todos os metais não ferrosos, que são o objetivo de fundição do projeto.

Os trabalhos literários consultados forneceram bases acadêmicas para o dimensionamento através de cálculos, para definir quais as dimensões necessárias para os principais elementos, plano de montagem do forno, potência necessária para fundição dos metais e a eficiência adequada para o processo.

Ao final do projeto, conclui-se que o projeto atendeu aquilo que fora proposto, obtendo resultados satisfatórios, cumprindo o objetivo proposto e atestando os resultados teóricos e práticos, resultando em um produto satisfatório e eficiente.



7. REFERÊNCIAS

FILHO, ETTORE BRESCIANI. ET AL. Conformação plástica dos metais, p. 16, São Paulo, 2011.

HERRING, DANIEL H. Transferência de calor. Industrial Heating, p. 24, jan./set. 2015.

INCROPERA, FRANK P. et al. Fundamentos de transferência de calor e massa. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

MOREIRA, D. A. Administração da Produção e Operações. 2a edição; São Paulo, editora Cengage Learning, 2011.

MORGAN ADVANCED MATERIALS. Matching your crucible to your application. 2013. Disponível em:
Acesso em: 10 maio 2016.

QUITES, EDUARDO EMERY CUNHA. ET AL. Introdução a transferência de calor. São Paulo 2003.

SILVA, Darlan. PROJETO DE UM FORNO À RESISTÊNCIA ELÉTRICA PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO. Lajeado 2016.