

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA  
ENGENHARIA MECÂNICA**

**YURI RAMOS BACH**

**PROJETO CONCEITUAL DE UMA MÁQUINA DE AQUECIMENTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PONTA GROSSA  
2014**

**YURI RAMOS BACH**

## **PROJETO CONCEITUAL DE UMA MÁQUINA DE AQUECIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica do Departamento Acadêmico de Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Me. Ruimar Rubens de Gouveia

**PONTA GROSSA**

**2014**



## **TERMO DE APROVAÇÃO**

### **PROJETO CONCEITUAL DE UMA MÁQUINA DE AQUECIMENTO**

por

**YURI RAMOS BACH**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 29 de maio de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Me. Ruimar Rubens De Gouveia  
Orientador

---

Prof. Me. Gilberto Zammar  
Membro Titular

---

Profa. Ma. Ana Maria Bueno  
Membro Titular

---

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima  
Responsável pelos Trabalhos  
de Conclusão de Curso

---

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior  
Coordenador do Curso de  
Engenharia Mecânica

## RESUMO

BACH, Yuri Ramos. Projeto conceitual de uma máquina de aquecimento homogêneo. 2014. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Este trabalho foi elaborado a partir de um estudo realizado em uma empresa do ramo metalúrgico, a qual apresenta necessidade em adquirir um novo processo de aquecimento para as bases das buchas de mancais de deslizamento, pois o procedimento até então utilizado no processo apresenta controle inadequado da distribuição de temperatura sobre as peças. O trabalho apresenta uma revisão de literatura dispondo informações referentes as formas e materiais de buchas de mancais de deslizamento, a fabricação das buchas, a deposição por fundição centrífuga e os sistemas de aquecimento utilizados na indústria para a fabricação de mancais. A metodologia empregada neste trabalho consiste na utilização de projeto de produto, a qual é utilizada a pouco tempo por diversos autores, apresentando primeiramente o desenvolvimento do projeto informacional e em seguida o projeto conceitual. Os resultados obtidos neste trabalho apresentam uma concepção com ótima aceitação, verificada por meio dos parâmetros estabelecidos na metodologia, onde definiu-se a escolha da melhor solução, sem preferências ou preconceitos pessoais, sobre as alternativas escolhidas a partir dos requisitos dos clientes expressos pelos questionários. Este projeto oportunizou a possibilidade de utilizar os conceitos de engenharia para desenvolver um projeto até o nível conceitual de uma máquina aplicada ao ramo metalúrgico.

**Palavras-chave:** Aquecimento homogêneo. Mancais de deslizamento. Distribuição de temperatura. Fundição.

## ABSTRACT

BACH, Yuri Ramos. Conceptual design of a machine homogeneous heating. 2014. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

This work was prepared from a study conducted in a company in the metallurgical industry, which features need to purchase a new heating process for bases bushings plain bearings, because the procedure hitherto used in the process has inadequate control of distribution temperature on the pieces. The work presents a literature review providing information regarding the forms and bushings plain bearings material the manufacture of bushings, deposition by centrifugal casting and heating systems used in industry for the manufacture of bearings. The methodology used in this work is the use of the product design, which is used to shortly by several authors, showing first the development of the informational project and then the conceptual design. The results of this study present a concept with great acceptance, verified by the parameters established in the methodology, which was defined to choose the best solution without preference or prejudice on the chosen from customer requirements expressed by alternative questionnaires. This project provided an opportunity for the possibility of using engineering concepts to develop a conceptual design to the level of a machine applied to the metal industry.

**Keywords:** Homogeneous heating. Plain bearings. Temperature distribution. Foundry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bucha simples radial Esc. 1/6.....	16
Figura 2 - Bucha bipartida radial (Esc. 1/7).....	17
Figura 3 - Bucha segmentada radial (Esc. 1/3).....	17
Figura 4 - Forno industrial elétrico .....	27
Figura 5 - Aquecimento por indução eletromagnética .....	28
Figura 6 - Função Global .....	44
Figura 7 - Desdobramento da função global.....	45
Figura 8 - Desenho do sistema de aquecimento .....	58
Figura 9 - Desenho do sistema de alocação e movimentação .....	59
Figura 10 - Desenho do sistema de controle de velocidade e temperatura .....	60
Figura 11 - Desenho da concepção genérica total da máquina.....	69
Figura 12 - Desenho da concepção genérica total com exemplar de peça .....	70

## **LISTA DE FOTOGRAFIAS**

Fotografia 1 - Aquecimento com maçaricos na Metalúrgica Santa Cecília .....26

## LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Diagrama de Mudge .....	66
Imagem 2 - Casa da Qualidade .....	67
Imagem 3 - Tabela de especificações de requisitos de projeto .....	68

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Requisitos dos clientes em função do ciclo de vida.....	40
Quadro 2 - Matriz de requisitos de projeto.....	40
Quadro 3 - Princípios de solução para estrutura .....	46
Quadro 4 - Princípio de solução para inserção da peça na máquina .....	46
Quadro 5 - Princípio de solução para ligar o motor .....	47
Quadro 6 - Princípio de solução para regulagem de velocidade do motor .....	47
Quadro 7 - Princípio de solução para acender queimadores.....	48
Quadro 8 - Princípio de solução para tipo de queimador.....	48
Quadro 9 - Princípio de solução para regulagem de queimadores.....	49
Quadro 10 - Princípio de solução para controle de temperatura .....	50
Quadro 11 - Número de variações para os princípios de solução .....	50
Quadro 12 - Avaliação de tipo de estrutura .....	51
Quadro 13 - Avaliação do tipo de alocação da peça na máquina.....	52
Quadro 14 - Avaliação do tipo de interruptor para o motor .....	52
Quadro 15 - Avaliação do tipo de regulagem de velocidade do motor .....	53
Quadro 16 - Avaliação do tipo de ignitores de chama dos queimadores .....	54
Quadro 17 - Avaliação do tipo de queimador.....	54
Quadro 18 - Avaliação do tipo de regulador de queimador.....	55
Quadro 19 - Avaliação do tipo de controle de temperatura.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química de aços comerciais.....	19
Tabela 2 - Propriedades mecânicas típicas de aços normalizados .....	19
Tabela 3 - Composição química dos ferros fundidos .....	20
Tabela 4 - Composição de ligas de bronze.....	21
Tabela 5 - Composição de ligas típicas intermediárias de metal patente .....	22
Tabela 6 - Afinidade de alguns metais fundidos com aço.....	23
Tabela 7 – Avaliação de características em função do ciclo de vida .....	39
Tabela 8 - Hierarquização de requisitos dos clientes .....	41
Tabela 9 - Classificação de importância dos requisitos de projeto .....	42
Tabela 10 - Tabela de avaliação das concepções .....	57

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	13
1.2 OBJETIVOS .....	13
1.2.1 Objetivo Geral .....	13
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1 TIPOS DE BUCHAS DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO .....	15
2.1.1 Buchas Simples .....	15
2.1.2 Buchas Bipartidas .....	16
2.1.3 Buchas Segmentadas .....	17
2.2 MATERIAIS DAS BUCHAS DOS MANCAIS DE DESLIZAMENTO .....	18
2.2.1 Bases .....	18
2.2.2 Camada Intermetálica .....	22
2.2.3 Metal Patente ou <i>Babbitt</i> .....	22
2.2.4 Aderência dos Materiais e Compatibilidade de União.....	23
2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BUCHA .....	24
2.3.1 Usinagem da Base.....	24
2.3.2 Aquecimento da Base .....	25
2.3.3 Estanhagem.....	28
2.3.4 Deposição do Metal Patente por Fundição .....	29
2.3.5 Usinagem de Desbaste Interno da Bucha.....	30
2.3.6 Usinagem de Acabamento da Bucha.....	31
3 METODOLOGIA .....	32
3.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	32
3.1.1 Pesquisar Informações Sobre o Tema do Projeto .....	32
3.1.2 Identificar as Necessidades dos Clientes do Projeto .....	33
3.1.3 Estabelecer os Requisitos dos Clientes .....	33
3.1.4 Estabelecer os Requisitos do Projeto .....	33
3.1.5 Hierarquizar os Requisitos do Projeto.....	33
3.1.6 Estabelecer as Especificações do Projeto .....	34
3.2 PROJETO CONCEITUAL .....	34
3.2.1 Verificar o Escopo do Problema.....	34
3.2.2 Estabelecer a Estrutura Funcional .....	35
3.2.3 Pesquisar Por Princípios de Solução .....	35
3.2.4 Combinar Princípios de Solução.....	35
3.2.5 Selecionar Combinações .....	35
3.2.6 Evoluir em Variantes de Concepção .....	36
3.2.7 Avaliar Concepções .....	36
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	37
4.1 PROJETO INFORMACIONAL.....	37
4.1.1 Pesquisar Informações Sobre o Tema Projeto .....	37
4.1.2 Identificar as Necessidades dos Clientes do Projeto .....	38
4.1.3 Estabelecer os Requisitos dos Clientes .....	38
4.1.4 Estabelecer Requisitos do Projeto .....	40
4.1.5 Hierarquizar os Requisitos do Projeto.....	41
4.1.6 Estabelecer as Especificações de Projeto .....	42

4.2 PROJETO CONCEITUAL .....	43
4.2.1 Verificar o Escopo do Problema.....	43
4.2.2 Estabelecer a Estrutura Funcional .....	44
4.2.3 Pesquisar por Princípios de Solução .....	45
4.2.4 Combinar Princípios de Solução.....	50
4.2.5 Selecionar Combinações .....	51
4.2.6 Evoluir em Variantes de Concepção .....	56
4.2.7 Avaliar Concepções .....	57
4.2.8 Apresentação da Concepção do Produto .....	58
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	62
REFERÊNCIAS.....	63
APÊNDICE A.....	65
APÊNDICE B.....	66
APÊNDICE C .....	67
APÊNDICE E.....	69
APÊNDICE F.....	70

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização dos mancais de deslizamento abrange hoje diversas áreas como as siderúrgicas, hidrelétricas, termelétricas, ferroviárias, automobilísticas, madeireiras, entre outras. Desta maneira este elemento de máquina tem um papel de elevada importância das industriais que fazem o uso de máquinas rotativas, uma vez que o mesmo proporciona o movimento de rotação com atenuação da vibração do equipamento, diminuição do ruído e menor índice de manutenção.

Para tanto deve-se fazer a escolha correta do mancal a ser utilizado ou elaborar um projeto que corresponda às necessidades do equipamento. Feito isso a qualidade da peça em questão, deve atender aos requisitos do projeto, necessitando aprimorar e/ou inspecionar passo a passo o processo de fabricação destas.

A fabricação dos mancais de deslizamento corresponde a um processo de fabricação dividido em operações de fundição, usinagem e tratamentos mecânicos, sendo que a maioria destas etapas apresenta variáveis metalúrgicas a serem levadas em consideração para a execução correta das operações do processo.

Devido ao elevado custo de maquinários utilizados hoje na indústria para realizar as operações do processo de fabricação dos mancais, opta-se por alternativas mais simples e com valores mais acessíveis para as empresas de pequeno e médio porte, porém a utilização destas alternativas pode refletir numa qualidade de produto final inferior quando comparado ao uso de maquinários.

Nas operações de fundição onde a temperatura é o fator de maior importância, devem estar pré-definidos os métodos e procedimentos a serem utilizados para a execução das mesmas. Uma vez que os processos estejam adequadamente parametrizados e configurados para executar as operações, o operador deve avaliar e relatar as possíveis adversidades a fim de corrigir erros anteriormente cometidos.

Cabe ao setor de fundição e engenharia estar preparado para a alteração de parâmetros do processo ou criação de artifícios que atenuem a possibilidade do produto final apresentar defeitos.

## 1.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Em um estudo realizado em uma empresa do ramo metalúrgico, localizada na cidade de Ponta Grossa no Paraná, a qual é fabricante de buchas de mancais de deslizamento, constataram-se algumas não conformidades em peças nos processos de fabricação devido ao controle inadequado da temperatura durante uma etapa do processo de fundição nas peças. Em vista de tal problema, o processo foi avaliado e comparado, de acordo com os valores empíricos da empresa tomados como base de medição, para a obtenção de peça com características correspondentes ao projeto.

Na análise das etapas dos processos junto à equipe operacional do setor de fundição notou-se que a distribuição da temperatura, na execução do pré-aquecimento das bases dos mancais da linha especial da produção, apresenta difícil e precário controle por ser executado manualmente e também pelas peças geralmente apresentarem dimensões e geometrias não adaptáveis em outros meios de aquecimento disponíveis na empresa, desta forma ocasionando grandes variações no controle da temperatura das peças. Estas variações acarretam retrabalho e/ou refugo das peças, gerando assim atrasos na entrega e desperdícios de tempo, material e energia.

## 1.2 OBJETIVOS

Com o intuito de otimizar o processo de fabricação das buchas dos mancais, desenvolveu-se uma solução alternativa em resposta aos problemas de controle de temperatura registrado nas operações de fundição. Para isto optou-se por contemplar o objetivo geral deste trabalho a partir de seus objetivos específicos.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar um projeto até o nível conceitual de uma máquina como alternativa para aprimorar o controle da

distribuição de temperatura no aquecimento das bases das buchas de mancais com base nos processos da Metalúrgica Santa Cecília.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

Para contemplar o objetivo geral deste trabalho, os seguintes objetivos específicos devem ser estabelecidos:

- Especificar os requisitos dos clientes;
- Definir os requisitos do projeto;
- Apresentar uma concepção genérica por meio de desenho em computador.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

Neste trabalho a revisão de literatura apresenta informações referentes aos tipos de buchas de mancais de deslizamento e seus materiais, a fabricação das buchas, a deposição por fundição centrífuga e os sistemas de aquecimento utilizados na indústria para a fabricação de mancais.

### 2.1 TIPOS DE BUCHAS DE MANCAIS DE DESLIZAMENTO

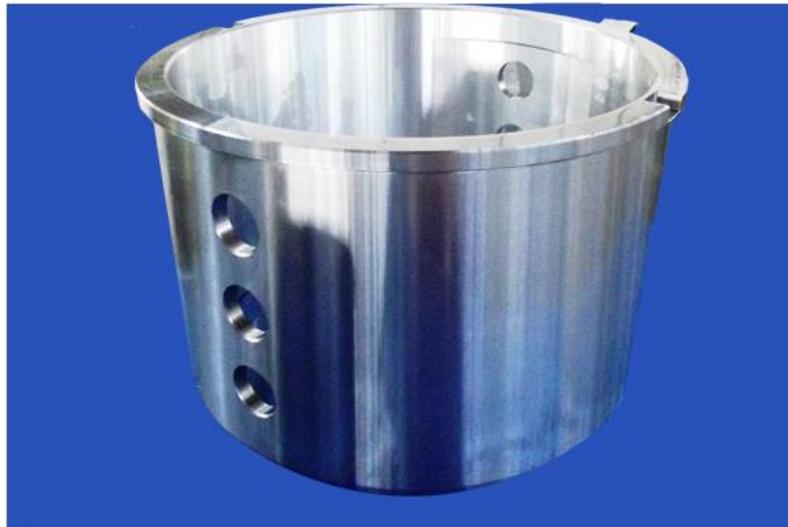
A bucha é o componente que permite o movimento de rotação relativo ao eixo de um mancal de deslizamento. Neste componente encontram-se geometrias e formas definidas no projeto a partir das condições de funcionamento do equipamento que utilizará o mancal.

Segundo Wilcock e Booser (1957, p.178) as buchas são mecanicamente os tipos mais simples de mancais envolventes.

As geometrias definem funcionalidades como a forma de trabalho, o tipo de lubrificação do mancal e sua fixação na carcaça. Suas dimensões definidas a partir de estudos de transferência de calor, mecânica dos fluidos, química entre outras ciências são concebidas para garantir ao sistema um bom funcionamento. Estes componentes são definidos por suas formas como simples, bipartidas ou segmentadas.

#### 2.1.1 Buchas Simples

As buchas simples são os tipos de buchas há mais tempo utilizados, uma vez que sua forma é de simples concepção. A superfície de deslizamento compreende toda a parede interna da bucha, podendo apresentar-se também em superfície axial flangeada.



**Figura 1 - Bucha simples radial Esc. 1/6**  
**Fonte: (SMAGON, 2014)**

Estas buchas são utilizadas em larga escala em laminadores, moinhos, motores a combustão e compressores. Muitos equipamentos de dimensões pequenas fazem o uso das buchas simples ao invés de rolamentos pelo preço ser mais acessível e a manutenção ser mais fácil, como por exemplo aparelhos odontológicos.

### 2.1.2 Buchas Bipartidas

As buchas bipartidas apresentam as superfícies de deslizamento em duas metades sendo estas radiais e/ou axiais, caso haja um elemento de encosto no eixo do motor. Este é o tipo mais comum de buchas utilizadas em turbinas, redutores, ventiladores e motores elétricos.



**Figura 2 - Bucha bipartida radial (Esc. 1/7)**  
**Fonte: (CS TURBINAS, 2013)**

Buchas bipartidas são utilizadas nos mais diversos setores por apresentarem formas de manutenção rápida e possibilitarem uma recuperação do metal patente mais simples quando excessivamente desgastado.

### 2.1.3 Buchas Segmentadas

Este tipo de bucha apresenta a superfície de deslizamento dividida em segmentos podendo estes ser axiais ou radiais, onde estes segmentos são fixados em uma carcaça de bucha de modo a envolver a superfície de rotação do eixo do equipamento.



**Figura 3 - Bucha segmentada radial (Esc. 1/3)**  
**Fonte: (CS TURBINAS, 2013)**

Em muitos sistemas produtivos faz-se necessário a utilização de equipamentos que apresentem sistemas de amortecimentos e redução da vibração para que não haja interferência nos processos, para exemplos como estes as buchas segmentadas fornecem formas de amortecimento de vibrações a partir de suas geometrias.

## 2.2 MATERIAIS DAS BUCHAS DOS MANCAIS DE DESLIZAMENTO

Os materiais utilizados para a fabricação das buchas seguem um padrão de seleção devido a estudos científicos e também empíricos que possibilitam uma escolha adequada para a sua fabricação.

A combinação dos processos de lubrificação com o desenvolvimento que vêm sendo adquiridos sobre a metalurgia dos materiais dos mancais, tornam a vida útil dos mancais mais duradoura e promovem mancais de maior confiabilidade. (SHIGLEY et al., 2005, p. 578).

### 2.2.1 Bases

A base, ou substrato, é o componente onde irá ser depositado o metal patente. As especificações dos materiais pelos quais são fabricadas as bases das buchas dependem dos requisitos apresentados pelo equipamento.

Bases para mancais são normalmente feitos de ferro fundido, aço maleável ou bronze, dependendo de espaço disponível, a força exigida ou influência corrosiva. (MAGNOLIA..., 2013, p. 51)

Os materiais escolhidos para os processos de fabricação das bases devem atender as propriedades mecânicas necessárias para não ocorrer danos ao equipamento.

### 2.2.1.1 Base de aço carbono

As especificações dos aços pelos quais são fabricadas as bases das buchas dependem dos requisitos apresentados no projeto. A tabela 1 apresenta as composições de alguns tipos de aço carbono comerciais utilizados na fabricação de buchas conforme a norma AISI.

**Tabela 1 - Composição química de aços comerciais**

Aço AISI	% C	% Mn	% P	% S
C 1010	0,08 – 0,13	0,30 – 0,60	0,04	0,05
C 1020	0,18 – 0,23	0,30 – 0,60	0,04	0,05
C 1025	0,22 – 0,28	0,30 – 0,60	0,04	0,05
C 1030	0,28 – 0,34	0,60 – 0,90	0,04	0,05
C 1035	0,32 – 0,38	0,60 – 0,90	0,04	0,05
C 1040	0,37 – 0,44	0,60 – 0,90	0,04	0,05
C 1045	0,43 – 0,50	0,60 – 0,90	0,04	0,05

Fonte: (MARKS, 1951)

As quantidades de elementos de liga adicionados aos aços influenciam as propriedades mecânicas, sendo as propriedades mecânicas parâmetros de análise para seleção correta do aço a ser utilizado como base. A tabela 2 apresenta algumas propriedades mecânicas dos aços carbonos normalizados conforme norma AISI.

**Tabela 2 - Propriedades mecânicas típicas de aços normalizados**

Grau do aço	Tensão de escoamento (ksi)	Resistência à tração (ksi)	Alongamento de ruptura %
1015	44,5	60	37,5
1020	46,5	63,5	35,5
1022	48	68,5	34
1030	50	74	29,5
1040	53,5	86,5	28
1050	61,5	109	20
1060	60,9	113	18
1080	70,5	141	10,5

Fonte: (REVISTA FORGE, 2013)

A maioria das buchas de mancais fabricados tem sua base em aço carbono por apresentar melhores propriedades mecânicas e também custo não apenas pela matéria prima, mas também para ferramentas e máquinas utilizadas para processar.

#### 2.2.1.2 Base de ferro fundido

O ferro fundido é um material de fácil acesso no mercado e de fácil usinabilidade, porém sua afinidade com o metal patente é precária devido ao seu elevado percentual de carbono.

O termo ferro fundido abrange uma vasta gama de ligas de ferro-silício contendo carbono de 2,0 a 4,0 por cento de carbono e de 0,25 a 3,0 por cento de silício, em combinação com percentagens variáveis de manganês, enxofre e fósforo, e por vezes um ou mais elementos de liga, como níquel, cromo, molibdênio, cobre, vanádio e titânio. (MARKS, 1951, p. 570)

Para a fabricação de buchas a partir de ferro fundido faz-se necessário a inserção de garras mecânicas para aumentar a área de contato do metal patente e o substrato.

A seguir apresenta-se tabela 3 com algumas ligas de ferro fundido com seus elementos de liga em sua composição química.

**Tabela 3 - Composição química dos ferros fundidos**

<b>Tipo</b>	<b>% C</b>	<b>% Si</b>	<b>% Mn</b>	<b>% S</b>	<b>% P</b>
Cinzento	2,5 – 4,0	1,0 – 3,0	0,2 – 1,0	0,02 – 0,25	0,002 – 1,0
Dúctil	3,0 – 4,0	1,8 – 2,8	0,1 – 1,0	0,01 – 0,1	0,01 – 0,03
Compacto grafitico	2,5 – 4,0	1,0 – 3,0	0,2 – 1,0	0,01 – 0,03	0,01 – 0,1
Maleável	2,0 – 2,9	0,9 – 1,9	0,15 – 1,2	0,02 – 0,2	0,02 – 0,2
Branco	1,8 – 3,6	0,5 – 1,9	0,25 – 0,8	0,06 – 0,2	0,06 – 0,2

**Fonte: (THE METAL CASTING, 2013)**

A base de ferro fundido pode ser uma vantagem considerável, sob condições de temperatura muito baixa, uma vez que pode evitar o engaste do eixo

pela bucha, a qual pode ocorrer com o bronze como material da base. (AMERICAN..., 1949).

### 2.2.1.3 Base de bronze

Existem diversos tipos de ligas de bronze para a fabricação de uma bucha, a tabela 4 apresenta a composição de algumas ligas de bronze utilizadas na fabricação de mancais conforme norma ASTM.

**Tabela 4 - Composição de ligas de bronze**

<b>Metal</b>	<b>% Cu</b>	<b>% Sn</b>	<b>% Zn</b>	<b>% Pb</b>	<b>% Ni</b>
Gun Bronze	88	10	2	..	..
Liga 4N	Rem.	7,5	2	..	3
Bronze fosforoso	80	10	..	10	..
Red brass	85	5	5	5	..
SAE 63	88	10	..	..	..
SAE 67	Rem.	6	Máx. 1,5	Máx. 1,5	..
High Lead	Rem.	6	Máx. 1,5	20	..
Car brass	Rem.	5	Máx. 3,0	Máx. 24	..

**Fonte: (AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1949)**

Há muitas aplicações de buchas de bronze, notavelmente em motores diesel, virabrequins, bielas, moinhos, base de buchas de locomotivas e diversas buchas presentes em máquinas, motores, motores elétricos, etc. (AMERICAN..., 1949)

Deve-se selecionar a liga de acordo com as condições de trabalho, pois o bronze é um material de baixo ponto de fusão não sendo tão resistente a temperaturas elevadas como o aço carbono e ferro fundido.

Bronze tem mais do que qualquer outro metal a força para resistir a impactos e os efeitos de vibração ao qual o mancal é submetido durante o uso, em conjunto com as melhores possíveis qualidades em condutividade térmica. (MAGNOLIA..., 2013, p. 51)

Apesar da sua boa condutividade térmica, as ligas de bronze apresentam um ponto de fusão relativamente baixo quando comparados ao aço carbono e ao ferro fundido.

### 2.2.2 Camada Intermetálica

Esta camada é a interface de ligação entre o metal patente e a base ou substrato. A função desta é conceder a bucha uma aderência efetiva entre o metal da base e a liga da superfície de deslizamento para que não ocorram descolamentos.

O estanho tem a propriedade de reagir facilmente com todos os metais comuns e também formar compostos intermetálicos com muitos dos metais menos comuns. (HOUWINK; SALOMON, 1978, p. 562)

Assim como o estanho, o níquel também é um material muito utilizado para esta finalidade, porém o valor agregado ao processo se torna maior.

### 2.2.3 Metal Patente ou *Babbitt*

*Babbitt* é o mais comum e geralmente o material de revestimento mais satisfatório para alta velocidade e serviço de carga bastante elevada. (AMERICAN..., 1949)

Para este revestimento são utilizados materiais que apresentem baixo coeficiente de atrito e resistência. Como estes materiais trabalham em deslizamento deve-se ressaltar que a temperatura de fusão é um parâmetro de grande importância na seleção do material.

Geralmente os tipos de ligas utilizadas para este revestimento são ligas a base de chumbo ou estanho. A tabela 5 apresenta alguns tipos de ligas a base de estanho e chumbo.

**Tabela 5 - Composição de ligas típicas intermediárias de metal patente**

Liga	% Sn	% Pb	% Sb	% Cu
ASTM N° 6	20	63,5	15	1,5
WM 20	20	64	14	2
WM 42	42	41	14	3
WM 50	50	33	14	3
ASTM N° 5	65	18	15	2
WM 70	70	12	13	5

ASTM N° 4	75	10	12	3
-----------	----	----	----	---

Fonte: (FORRESTER, 1963)

As propriedades ideais de um metal patente em um mancal são: baixo módulo de elasticidade, alta resistência a fadiga, alta resistência a corrosão, médio ponto de fusão, média resistência a compressão e excelente molhabilidade. (AMERICAN..., 1949)

#### 2.2.4 Aderência dos Materiais e Compatibilidade de União

Os materiais utilizados na fabricação das buchas devem apresentar o aço como a base ou substrato e o metal patente como metal líquido a aderir ao substrato já com a camada intermetálica. Para a aderência ser efetiva as superfícies devem estar limpas para não ocorrer a presença de óxido que venham a atrapalhar a união.

A aderência pode dever-se a forças eletrostáticas, a forças de Van der Waals ou forças de valências. (HOUWINK; SALOMON, 1978, P. 22)

A tabela 6 mostra afinidade de alguns materiais utilizados na fabricação de buchas em relação ao aço quando fundidos.

**Tabela 6 - Afinidade de alguns metais fundidos com aço**

Material	Afinidade com o aço
Pb	Baixa
Sn	Alta
Ag	Baixa
Al	Alta
Cu	Alta
Zn	Alta
Ni	Alta

Fonte: (HOUWINK; SALOMON, 1978)

A compatibilidade dos metais é relacionada a solubilidade mútua dos átomos e a formação de compostos metálicos entre si.

Para a compatibilidade das uniões dos metais uma condição importante é que as superfícies fundam simultaneamente, ou seja, que os metais tenham pontos de fusão próximos para evitar que uma venha a fundir antes da outra sendo assim insuficiente para haver uma dissolução. (HOUWINK; SALOMON, 1978, p. 558)

Neste ponto de vista faz-se necessário a camada intermetálica entre a base e o metal patente pelo fato do metal patente apresentar temperatura de fusão próxima a temperatura de fusão do estanho intermetálico o que proporcionará uma melhor fusão.

## 2.3 PROCESSO DE FABRICAÇÃO DA BUCHA

Os processos de fabricação da bucha são definidos a partir da viabilidade econômica e requisitos do projeto. A fundição e a usinagem são os processos fundamentais na fabricação de uma bucha de mancal de deslizamento, porém estes podem variar de acordo com a metodologia adotada pelo fabricante.

O processo de fabricação das buchas bi metálicas podem variar de fabricante para fabricante, na Metalúrgica Santa Cecília o processo basicamente é definido pela seguinte sequência:

- Usinagem da base;
- Pré-aquecimento da base;
- Estanhagem;
- Deposição do metal patente por fundição;
- Usinagem de desbaste interno da bucha;
- Usinagem de acabamento da bucha.

### 2.3.1 Usinagem da Base

Na etapa de usinagem da base, a superfície de desbaste será a superfície que irá posteriormente receber a estanhagem e o metal patente, logo as condições do acabamento superficial devem estar de acordo com os requisitos necessários para a posterior deposição do material de deslizamento.

Nesta etapa a geometria e a rugosidade específica da superfície de desbaste devem estar de acordo com as especificações do projeto para que a aderência da estanhagem seja suficientemente elevada.

### 2.3.2 Aquecimento da Base

O aquecimento da base é necessário para condicionar a estanhagem e a deposição por centrifugação. A base da bucha deve ser homogeneamente aquecida para que não haja variações no nível de aderência do estanho e não ocorra choque térmico entre o metal patente e bucha, evitando assim a solidificação precoce do metal patente em pontos distintos.

A fim de que *babbitt* e base estabeleçam contato total um com o outro e contrair juntos em vez de separados, os "calções frios" devem ser evitados. (MAGNOLIA..., 2013, p. 64)

A temperatura deve ser superior ao ponto de fusão do estanho, ter um acréscimo conforme o tempo de manuseio da peça e seu valor geralmente está entre 320°C e 400°C.

Os métodos utilizados para o pré-aquecimento das bases buchas são caracterizados pela transferência de calor para as bases por meio de:

- Aquecimento manual de maçaricos;
- Fornos Industriais;
- Indução eletromagnética.

#### 2.3.2.1 Aquecimento manual com maçaricos

Este aquecimento consiste no controle manual de maçaricos realizando o aquecimento da base homogeneamente. O processo dispõe da utilização de um ou mais operadores, conforme o tamanho da peça, e ocorre por meio de aquecimento da base com chamas, as quais devem ser direcionadas constantemente ao entorno da base da bucha, a fotografia 1 apresenta o aquecimento de uma base de bucha na empresa.



**Fotografia 1 - Aquecimento com maçaricos na Metalúrgica Santa Cecília**  
**Fonte: Autoria própria**

Este é o processo utilizado na empresa por ser o processo que utiliza GLP e que também abrange a maior quantidade e peças.

#### 2.3.2.2 Fornos industriais

Este método consiste na inserção das bases no interior de fornos industriais elétricos, os quais realizam o aquecimento por meio de transferência de calor por convecção natural, ou seja, o ambiente onde está inserido a base aquece gradativamente a peça. A figura 4 apresenta um forno industrial elétrico comumente utilizado para este tipo de aplicação.



**Figura 4 - Forno industrial elétrico**  
**Fonte: (INFORGEL, 2013)**

O tempo necessário para aquecer as peças dependem da espessura das peças e também do material, onde peças com tamanhos e espessuras elevados apresentam tempo de aquecimento proporcional aos mesmos. O aquecimento utilizando este método geralmente é elevado pelo fato de haver necessidade de o ambiente onde a peça está inserida também ser aquecido.

#### 2.3.2.3 Indução eletromagnética

As bases pré-aquecidas por indução elétrica dispõem da utilização de uma bobina de material condutor elétrico e de tamanho relativo ao tamanho da peça a ser aquecida. A figura 5 apresenta um modelo de sistema de indução eletromagnética disponível no mercado.



**Figura 5 - Aquecimento por indução eletromagnética**  
Fonte: (DAWEI INDUCTION HEATING MACHINE COMPANY, 2013)

O aquecimento por indução usa campos magnéticos variáveis em alta frequência para induzir uma alta corrente no interior da peça a se trabalhar. (GATTI, 2013)

### 2.3.3 Estanhagem

A estanhagem é definida como a deposição de um filme de fluxo de estanho na superfície interna da base onde será depositado o metal patente. Este fluxo deve ter seu excesso retirado da superfície para que não haja influência na ligação entre a camada intermetálica e o metal patente.

O estanho sobre a superfície deve permanecer aquecido a uma temperatura entre 260°C e 426°C, a temperatura preferível é cerca de 650°F. (MOHLER, 1955)

A temperatura da estanhagem é a temperatura decorrente do pré-aquecimento realizado anteriormente, não devendo ser superior a temperatura de fusão do metal patente para não haver segregação dos materiais componentes do metal patente.

### 2.3.4 Deposição do Metal Patente por Fundição

A deposição do metal patente ocorre por três diferentes tipos de processos de fundição e a escolha do tipo de processo dependerá da geometria e material de que é feito a base da bucha. Dois processos são utilizados na deposição por fundição do metal patente:

- Fundição centrífuga;
- Fundição por gravidade ou conquinha;

Em ambos o processo faz-se necessário a fundição do metal patente utilizado em temperaturas pré-determinadas para a contato entre o substrato e o fundido ser eficaz.

O *babbitt* deve ser derretido lentamente em uma panela de ferro limpo ou chaleira e a temperatura da massa fundida deve ser mantida uniformemente entre 460 e 482°C. (MAGNOLIA..., 2013, p. 65)

#### 2.3.4.1 Fundição centrífuga

A fundição centrífuga consiste em vaziar o metal patente no interior de um molde em rotação para tomar a geometria e as dimensões da peça desejada.

A utilização da fundição centrífuga é um método eficiente e de baixo custo para produzir diversas peças complicadas e delicadas de joalheria, boutique e itens industriais, os quais não podem facilmente ser produzidos por outros processos de moldagem conhecidos requerendo moldes metálicos e máquinas caras. (KOMANOFF, 1981, p. 25)

A aderência do metal patente na parede interna do molde é, também, definida pela força centrífuga gerada pela rotação do molde na máquina.

#### 2.3.4.2 Fundição por gravidade ou conquinha

Este método consiste em vaziar metal patente dentro das cavidades de um molde por meio da força da gravidade, desta maneira o próprio escoamento devido a

força gravitacional levará metal patente às regiões que definiram a geometria e dimensões da peça.

As conquilhas são moldes metálicos permanentes muito utilizados na produção de peças de ligas leve e bronze. (TORRE, 2004, p. 206)

A aderência resultado deste processo será definida a partir da parametrização correta dos processos anteriores e temperaturas utilizadas na fusão do metal patente.

### 2.3.5 Usinagem de Desbaste Interno da Bucha

Nesta etapa do processo de fabricação da bucha, faz-se a usinagem de desbaste do metal patente depositado nas buchas deixando-se um sobremetal para a usinagem de acabamento. Esta usinagem preliminar facilitará e permitirá a realização dos ensaios de ultrassom no metal patente depositado sobre a base para avaliar a qualidade da aderência da deposição do metal patente.

A aderência do metal patente deve ser confirmada a partir de ensaios não destrutivos, desta maneira serão avaliados os níveis de defeitos na peça para que assim possa realizar, se necessário, a validação da qualidade da aderência ou se a mesma necessitará de um retrabalho.

O ensaio não destrutivo utilizado para verificação de aderência do metal patente na base é o ensaio de ultrassom por impulso-eco.

#### 2.3.5.1 Ensaio de ultrassom por impulso-eco

O ensaio de ultrassom por emissão acústica é realizado na superfície interna pré-acabada da bucha e tem como finalidade a verificação de defeitos, descontinuidades ou descolamentos que ocorrem entre a base e o metal patente por meio de tensões superficiais.

A técnica utilizada na verificação de descolamentos nas buchas é o impulso eco ou pulso eco. É a técnica onde somente um transdutor é responsável por emitir e receber as ondas ultrassônicas que se propagam no material. (ANDREUCCI, 2008, p. 31)

Após a validação dos testes de ultrassom das peças, as mesmas estão em condições admissíveis para realizar as operações de acabamento.

#### 2.3.6 Usinagem de Acabamento da Bucha

Nesta etapa é realizada a usinagem de acabamento da bucha, onde são conferidas a peças suas geometrias e dimensões finais dentro dos conformes estabelecidos no projeto. Cabe a esta etapa estabelecer as características da peça definidas no projeto para que posteriormente o controle de qualidade faça a análise dimensional para verificação das dimensões necessárias.

A usinagem de acabamento do metal patente deixará a superfície de deslizamento em acabamentos superficiais adequados para o bom funcionamento do equipamento.

### 3 METODOLOGIA

Para a metodologia deste trabalho utilizou-se de um estudo de conceitos e funções, a partir de uma entrevista com os funcionários, para verificar a validação da aplicação deste projeto na indústria metalúrgica em questão por meio de projeto informacional e propor uma solução que contemple as expectativas de uso da máquina a partir do projeto conceitual.

#### 3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta etapa do trabalho irá ser verificado as especificações do projeto. Desta maneira uma sequência lógica será verificada para a validação dos objetivos que o produto a ser concebido deverá atender. Os seguintes itens nesta etapa são estabelecidos por Pahl et al (2005), apud Reis (2003) e serão utilizados para validação neste projeto:

- Pesquisar informações sobre o tema do projeto;
- Identificar as necessidades dos clientes do projeto;
- Estabelecer os requisitos dos clientes;
- Estabelecer os requisitos do projeto;
- Hierarquizar os requisitos do projeto;
- Estabelecer as especificações do projeto.

##### 3.1.1 Pesquisar Informações Sobre o Tema do Projeto

Para esta etapa deverão ser expostas as informações que condizem com as expectativas do tema do projeto a partir da avaliação do processo em que será utilizado o projeto em questão assim como o ciclo de vida do produto e definição dos clientes. A análise do sistema técnico irá disponibilizar informações que serão úteis até as especificações do projeto. Desta maneira o funcionamento e características de uso e manuseio serão fundamentais para o desenvolvimento do projeto.

### 3.1.2 Identificar as Necessidades dos Clientes do Projeto

Nessa etapa a identificação dos clientes já deverá estar pré-definida juntamente com as informações sobre o tema do projeto, desta maneira deverá ser realizada a identificação das necessidades de modo verbal de todo o pessoal envolvido no ciclo de vida do produto.

### 3.1.3 Estabelecer os Requisitos dos Clientes

As necessidades dos clientes devem nessa etapa ser avaliadas juntamente ao ciclo de vida do produto para que as mesmas sejam caracterizadas redundantes ao produto, desdobrando as possíveis necessidades mensuráveis e conduzindo as informações obtidas para dados que forneçam não apenas valores qualitativos.

### 3.1.4 Estabelecer os Requisitos do Projeto

As informações do projeto devem ser descritas em linguagem técnica para que sejam propostas soluções de engenharia. Assim nestas etapas serão confrontados os requisitos dos clientes com os do projeto podendo firmar decisões físicas sobre o produto, determinando os valores mensuráveis.

### 3.1.5 Hierarquizar os Requisitos do Projeto

Para realizar esta etapa será aplicado diagrama de Mudge para dar uma sequência hierárquica aos requisitos dos clientes e, também, a matriz da casa da qualidade ou primeira matriz do Desdobramento da Função Qualidade, a qual irá fornecer a partir das necessidades dos clientes os valores mensuráveis do produto, podendo assim ser distinguidos os requisitos mais importantes do projeto.

### 3.1.6 Estabelecer as Especificações do Projeto

Para esta etapa deverão ser definidas metas, as quais nas etapas anteriores ainda não foram definidas. Assim os objetivos do projeto deixarão de ser demonstrados de forma qualitativa e deverão ser associados as informações anteriormente coletadas.

## 3.2 PROJETO CONCEITUAL

As informações coletadas no projeto informacional, assim como as especificações do projeto permitirão comunicar as soluções para o problema a partir da criação de desenhos esquemáticos e diagramas, demonstrando as funcionalidades do sistema que irá contemplar os requisitos dos clientes e do projeto. Para tanto deverá ser seguido a seguinte sequência de etapas definida por Pahl et al (2005), apud Reis (2003) para possibilitar concepção do projeto conceitual:

- Verificar o escopo do problema;
- Estabelecer a estrutura funcional;
- Pesquisar por princípios de solução;
- Combinar princípios de solução;
- Selecionar combinações;
- Evoluir em variantes de concepção;
- Avaliar concepções.

A etapa do projeto conceitual definirá decisões que serão tomadas nas etapas seguintes do projeto, sendo assim esta é a etapa mais importante do projeto de um produto.

### 3.2.1 Verificar o Escopo do Problema

Para esta etapa deve-se levar em consideração aquilo que é essencial para o projeto sendo assim deverá ser descartado as particularidades e proporcionado um estudo para compreensão do problema. Esta verificação irá conduzir o estudo

diretamente ao centro das atenções do problema, sem considerar uma solução e deixando claro o funcionamento global do sistema.

### 3.2.2 Estabelecer a Estrutura Funcional

Deverá ser estabelecido funções elementares do problema tanto após a sua utilização como durante, com base na sua função global anteriormente definida, assim podendo verificar suas entradas e saídas formulando a estrutura funcional sem soluções particulares. Estas funções serão responsáveis por capacitar o produto a realizar seus objetivos.

### 3.2.3 Pesquisar Por Princípios de Solução

Essa etapa deverá apresentar princípios de soluções para as sub funções do produto de forma concreta, sendo assim haverá a necessidade de apresentar as combinações destas sub funções com o intuito de se obter um modelo de concepção com soluções totais.

### 3.2.4 Combinar Princípios de Solução

Para esta etapa pode-se combinar as soluções individuais que irão compor as soluções totais da estrutura funcional do produto para atender a função global do sistema. Deve-se ressaltar que o número de combinações possíveis pode ser muito elevado, devendo então avaliar previamente as combinações.

### 3.2.5 Selecionar Combinações

Para a seleção deverão ser bem avaliadas as combinações para que não ocorra a possibilidade de exclusão de uma solução de grande importância, sendo assim serão necessários envolver parâmetros que possibilitarão as escolhas mais adequadas das combinações de maior importância como disponibilidade tecnológica, viabilidade econômica, requisitos, entre outros.

### 3.2.6 Evoluir em Variantes de Concepção

Nesta etapa deverão ser concebidas análises representativas para que seja possível que o produto venha apresentar soluções bem definidas para as funções principais e estas devidamente registradas.

### 3.2.7 Avaliar Concepções

Avaliar as concepções do projeto irá permitir a escolha mais adequada como referência para comparação, sendo assim faz-se necessidade de estabelecer critérios de avaliação determinados com bases nas necessidades do cliente e também nas especificações do projeto.

## 4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Na apresentação e análise dos resultados serão apresentadas as informações coletadas a partir da metodologia de projeto do produto. Estas informações permitirão apresentar uma nova concepção do produto por meio de desenho em CAD 3D para uma melhor demonstração esquemática das funções e sub funções advindas do projeto.

### 4.1 PROJETO INFORMACIONAL

No projeto informacional deste trabalho será apresentada a viabilidade do novo produto, no caso a máquina de aquecimento rotativo, assim como seus requisitos perante as necessidades do cliente, os requisitos de projeto e as especificações de requisitos de projeto.

#### 4.1.1 Pesquisar Informações Sobre o Tema Projeto

Para o ciclo de vida da máquina de aquecimento rotativo, fez-se uma analogia a uma máquina de funcionamento contínuo como uma esteira de transporte. Esta analogia deve-se ao fato que os elementos em desgaste são muito similares, diferenciando em suas características mecânicas a troca de calor efetiva. O ciclo de vida apresenta as seguintes fases:

- Projeto;
- Fabricação;
- Uso;
- Manutenção.

A definição dos clientes foi baseada na análise do ciclo de vida da máquina, desta forma determina-se para os seguintes pontos os respectivos clientes:

- Clientes internos: Setor de engenharia e compras;
- Clientes intermediários: Setor de ferramentaria e setor qualidade;
- Clientes externos: Fundação e Manutenção.

A partir desta identificação dos clientes pode-se dar continuidade a próxima etapa na identificação de necessidades.

#### 4.1.2 Identificar as Necessidades dos Clientes do Projeto

Para a identificação das necessidades do cliente foi realizada uma observação direta do processo, assim como também foi realizado um levantamento de informações a partir de um questionário de entrevista à equipe de engenharia da empresa conforme o Apêndice A.

Desta forma foram levantadas as seguintes necessidades:

- A máquina deve aquecer as bases homogeneamente de maneira rápida e simples;
- O aquecimento não pode ser realizado manualmente;
- A velocidade deve ser suficiente para não oxidar a base;
- A máquina deverá processar bases até que 420mm de diâmetro e comprimento até 320mm;
- A máquina deverá processar uma peça por vez;
- Apenas um operador será utilizado;
- A energia utilizada pela máquina deve compreender eletricidade ou combustível gasoso (GLP) com gasto reduzido;
- A máquina deverá processar as bases com o orifício voltado para a horizontal;
- Os seus componentes mecânicos devem ser intercambiáveis;
- O tamanho da máquina deve apresentar ergonomia adequada ao operador.

Tendo a identificação das necessidades estabelecidas, pode-se estabelecer os requisitos dos clientes.

#### 4.1.3 Estabelecer os Requisitos dos Clientes

Identificadas as necessidades, deve-se transformá-las em requisitos. Para auxiliar nesta transformação utilizou-se uma matriz de conversão, apresentada pela

tabela 7 considerando as linhas como características comuns de um produto e as colunas como as fases do ciclo de vida.

**Tabela 7 – Avaliação de características em função do ciclo de vida**

<b>Fase</b>	<b>Funcionamento</b>	<b>Custo</b>	<b>Ergonomia</b>	<b>Confiabilidade</b>	<b>Normas</b>
Projeto	Simples	-	-	Alta	Atende
Fabricação	Fácil	Baixo	-	-	-
Uso	Simples	Baixo	Boa	-	Atende
Manutenção	Fácil	Baixo	-	-	-

**Fonte: Autoria própria**

Feito isto as necessidades apresentam-se de maneira mais simplificada. A seguir é apresentada a decomposição das necessidades, em função do ciclo de vida do produto, em registros para que melhor ocorra a visualização dos requisitos perante a uma linguagem técnica.

Para o projeto:

- Simples, atender a dimensões de 400mm de diâmetro, atender comprimento de 320mm, processar com orifício das bases voltado para a horizontal, aquecimento automático, processar uma peça por vez e utilizar eletricidade ou GLP.

Para a fabricação:

- Apresentar materiais resistentes e baixo custo de fabricação.

Para o uso:

- Processar rapidamente e apenas um operador.

Para a manutenção:

- Componentes mecânicos intercambiáveis e fácil manutenção.

Realizada a análise e classificação, o quadro 1 apresenta os requisitos dos clientes decompostos conforme as respectivas fases do ciclo de vida.

<b>Fase</b>	<b>Requisitos dos clientes</b>
Projeto	1 - Projeto simples; 2 – Processar até o diâmetro de 400mm; 3 – Processar até o comprimento de 320mm; 4 - Processar com orifício voltado para a horizontal; 5 - Processar uma peça por vez; 6 - Aquecer automaticamente; 7 – Utilizar queima de GLP para aquecimento; 8 – Aquecer homoganeamente.
Fabricação	9 - Baixo custo de fabricação.
Uso	10 - Processar rapidamente;

	11 - Um operador.
Manutenção	12 - Componentes mecânicos intercambiáveis; 13 - Fácil manutenção.

**Quadro 1 - Requisitos dos clientes em função do ciclo de vida**  
Fonte: Autoria própria

Feito isto os requisitos dos clientes encontram-se dispostos de maneira mais simples e inteligível para poder estabelecer por meio destes os requisitos do projeto necessários para o desenvolvimento do produto.

#### 4.1.4 Estabelecer Requisitos do Projeto

As informações devem ser admitidas de forma técnica e bem detalhadas, para que se possa transformar os requisitos de projeto em requisitos do produto. Desta maneira faz-se a utilização de uma matriz de requisitos de projeto através do modelo proposto por Fonseca (2000) apresentada no quadro 2:

<b>Atributos Gerais</b>	<b>Atributos Básicos</b>	<b>Funcionamento</b>	- Capacidade de trabalho - Operação automática
		<b>Ergonômico</b>	- Qualidade da pega na peça - Alimentação manual
		<b>Econômico</b>	- Custo do produto - Tempo de operação
		<b>Segurança</b>	- Parada de emergência
		<b>Confiabilidade</b>	- Produto confiável
		<b>Estética</b>	- Boa aparência
	<b>Atributos do Ciclo de Vida</b>	<b>Fabricabilidade</b>	- Tempo de fabricação
		<b>Mantenabilidade</b>	- Intervalo de manutenção
<b>Atributos Específicos</b>	<b>Atributos Materiais</b>	<b>Geométricos</b>	- Geometria simples
		<b>Material e Peso</b>	- Materiais Resistentes - Peso líquido
	<b>Atributos de Controle</b>	<b>Controle</b>	- Controle do operador - Controle de temperatura

**Quadro 2 - Matriz de requisitos de projeto**  
Fonte: Autoria própria

Propostos os requisitos do produto em linguagem técnica e de maneira detalhada, torna-se mais fácil a interpretação dos dados fornecidos pela empresa e por observação direta.

#### 4.1.5 Hierarquizar os Requisitos do Projeto

Para avaliar o grau de importância dos requisitos dos clientes foi utilizado o diagrama de Mudge demonstrado na imagem 1 do Apêndice B, assim realizou-se a comparação entre dois requisitos de cada vez permitindo avaliar a importância de todos ao fim da atribuição de valores. A tabela 8 apresenta a sequência de ordem decrescente de importância dos requisitos dos clientes.

**Tabela 8 - Hierarquização de requisitos dos clientes**

<b>Posição</b>	<b>Requisitos dos clientes</b>	<b>G.I.</b>
1	Aquecer homogeneamente.	5
2	Aquecer automaticamente;	5
3	Processar com orifício voltado para a horizontal	4
4	Utilizar queima de GLP para aquecimento	4
5	Processar rapidamente	3
6	Um operador	3
7	Fácil manutenção	3
8	Processar uma peça por vez	2
9	Processar até o diâmetro de 400mm	2
10	Processar até o comprimento de 320mm	2
11	Componentes mecânicos intercambiáveis	1
12	Baixo custo de fabricação	1
13	Projeto simples	1

**Fonte: Autoria própria**

Determinada a ordem de importância dos requisitos dos clientes fez-se o uso da ferramenta casa da qualidade demonstrada na imagem 2 do Apêndice C, na qual foram confrontados os requisitos do cliente juntamente com os requisitos do projeto para a determinação de quais requisitos de projeto tem maior importância em relação aos requisitos dos clientes. A partir da hierarquização por maior importância demonstrada na matriz casa da qualidade faz-se necessário avaliar a coerência da

classificação conforme projeto. A tabela 9 apresenta a classificação de importância dos requisitos do projeto conforme a casa da qualidade.

**Tabela 9 - Classificação de importância dos requisitos de projeto**

<b>Posição</b>	<b>Requisito do projeto</b>
1	Custo de operação
2	Capacidade de trabalho
3	Operação automática
4	Controle do operador
5	Controle de temperatura
6	Custo do produto
7	Geometria simples
8	Alimentação manual
9	Parada de emergência
10	Qualidade de pega na peça
11	Tempo de fabricação
12	Materiais resistentes
13	Peso líquido
14	Produto confiável
15	Intervalo de manutenções
16	Boa aparência

**Fonte: Autoria própria**

A partir da observação dos dados da tabela 9, o requisito de maior importância passa a ser o custo de operação e o de menor importância a boa aparência da máquina, para tanto todos as soluções propostas para projetar o produto devem ser avaliadas conforme os requisitos.

#### 4.1.6 Estabelecer as Especificações de Projeto

Para ao estabelecimento de especificações de projeto foi realizado a inserção de metas relativas aos requisitos de projetos, formas de avaliações das metas e também a atribuição de aspectos indesejáveis para a implantação do projeto. A imagem 3 no apêndice D apresenta uma tabela com os requisitos de projetos juntamente aos dados referentes as especificações.

O custo de operação apresentado como o primeiro requisito de projeto é fundamental para validar a utilização desta máquina, pois a mesma é substituída

pelo método onde este não apresenta um custo elevado. Assim como o custo de operação, o custo do produto não deverá apresentar valor elevado, pois quando exagerado torna-se uma alternativa inviável.

A operação automática possibilitará a substituição da movimentação humana no aquecimento da peça a ser processada, sendo assim um requisito de grande importância para o projeto, uma vez que irá acentuar a precisão da distribuição de temperatura. Ao contrário da operação automática a alimentação manual irá proporcionar a maior velocidade na disposição das peças sobre a máquina, uma vez que as peças a serem processadas não possuem tamanhos fixos para programar um sistema em produção seriada.

O próximo passo deste trabalho será o projeto conceitual o qual irá possibilitar atingir os objetivos e metas determinados na fase de projeto informacional.

## 4.2 PROJETO CONCEITUAL

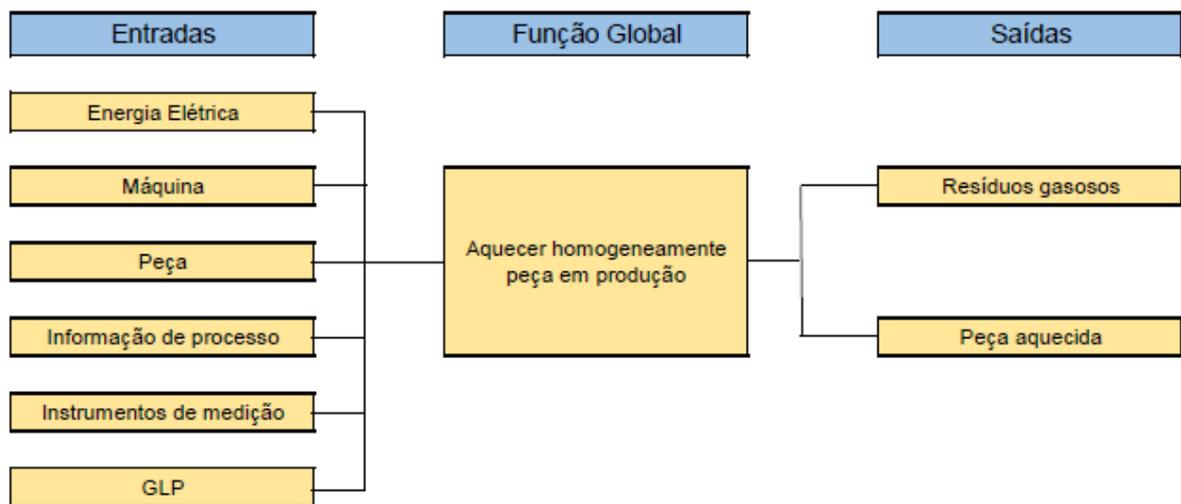
A etapa de projeto conceitual deste trabalho, apresentará a transformação dos requisitos de clientes e projetos em concepções, juntamente realizando a determinação de um primeiro protótipo para a fabricação do produto. As concepções serão identificadas com o emprego de algumas ferramentas específicas e análises.

### 4.2.1 Verificar o Escopo do Problema

Após verificar detalhadamente os requisitos de cliente e os de projeto, assim como o problema a ser solucionado, toma-se como escopo do problema o aquecimento homogêneo adequado de peças de bases de buchas de mancais para a execução das operações de fundição posteriores. Desta maneira, delimita-se como aquecimento homogêneo de peças em produção.

#### 4.2.2 Estabelecer a Estrutura Funcional

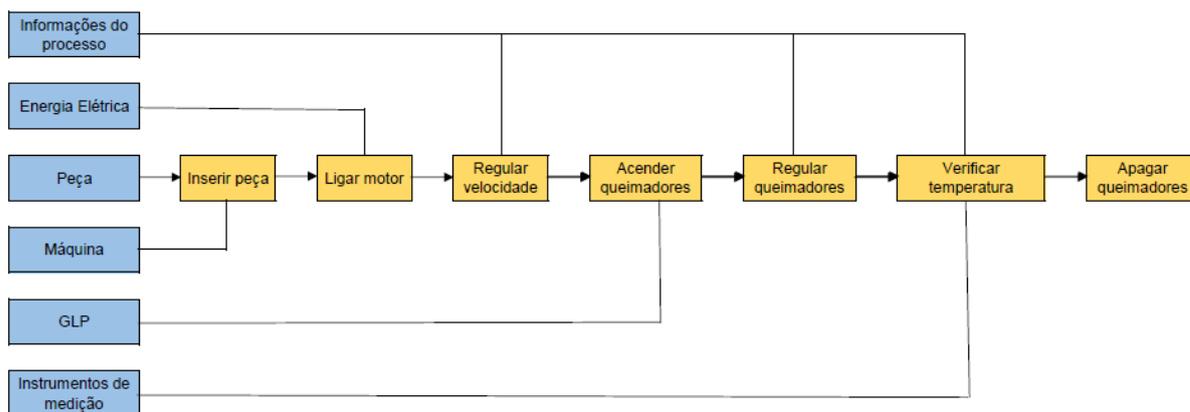
A função global estabelecida para este projeto é aquecer homogeneamente com auxílio de um dispositivo as bases de buchas de mancais, sendo esta função executada durante os processos produtivos da empresa. A figura 6 demonstra esquematicamente a função global apresentando juntamente as estradas e saídas do processo.



**Figura 6 - Função Global**  
**Fonte: Autoria própria**

Para a função global foram considerados a energia, máquina, peças, informações de processo e instrumentos de medição como entrada, pois todos estes itens são fundamentais para que seja executada a função global do projeto que delimita o aquecimento homogêneo das peças em processo.

Sendo assim faz-se necessário realizar o desdobramento da função global em subfunções que permitem identificar os mecanismos que são necessários para executar a função principal. A figura 7 apresenta este desdobramento para uma melhor compreensão.



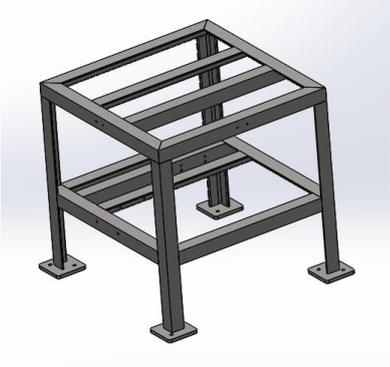
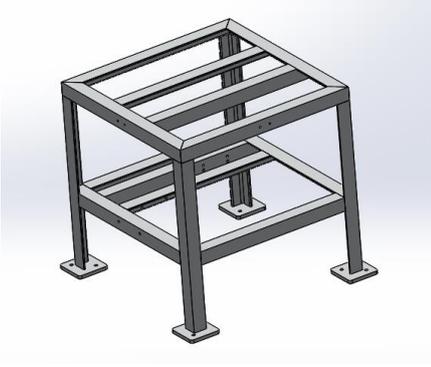
**Figura 7 - Desdobramento da função global**  
**Fonte: Autoria própria**

A partir deste desdobramento de funções será realizada a atribuição de formas, permitindo a transformação de uma etapa abstrata para uma etapa com ênfase em argumentos concretos.

#### 4.2.3 Pesquisar por Princípios de Solução

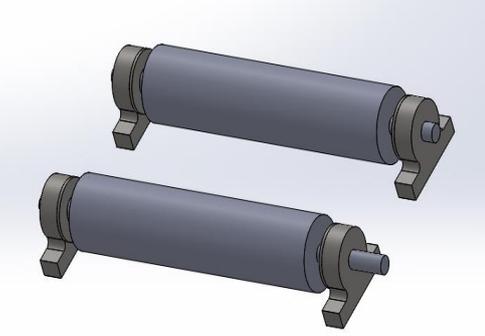
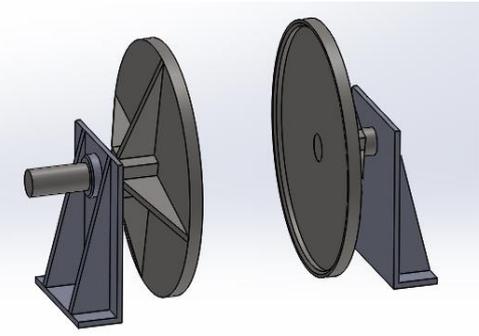
Os princípios de solução selecionados para este trabalho foram determinados a partir de método de pesquisa como *benchmarking* e por meio de pesquisas de modelos propostos por pessoas experientes na área de projetos da metalúrgica, as quais apresentaram propostas de princípios de solução já em uso em outros produtos encontrados dentro da empresa e ainda não utilizados. Os produtos dispostos como princípios de solução apresentam-se como desenhos 3D executados pelo programa e seleção de imagens pela *internet*.

Para contemplar a função de inserção de peças na máquina, assim consequentemente as demais subfunções, o quadro 3 apresenta princípios de solução referentes a estrutura a ser utilizada para realizar o processo de aquecimento das peças.

Princípios de Solução	
A1	B1
	
Estrutura em aço	Estrutura em alumínio

**Quadro 3 - Princípios de solução para estrutura**  
**Fonte: Autoria própria**

O quadro 4 apresenta alternativas referentes aos princípios de solução selecionados para possibilitar a inserção da peça na máquina.

Princípios de Solução	
A2	B2
	
Dois rolos isolados termicamente	Dois pratos isolados termicamente

**Quadro 4 - Princípio de solução para inserção da peça na máquina**  
**Fonte: Autoria própria**

A função de ligar o motor irá envolver a utilização de um dos três princípios de solução sendo a utilização de interruptor como forma de ligar o motor e estes serão apresentados no quadro 5. Deve-se ressaltar que o mesmo possibilitará o levantamento de dados sobre o requisito de projeto para parada de emergência.

Princípios de Solução		
A3	B3	C3
		
Interruptor de balancim	Interruptor com botão de pressão	Interruptor rotativo

**Quadro 5 - Princípio de solução para ligar o motor**  
**Fonte: Autoria própria**

A função de regulação de velocidade pode ser fornecida a partir da escolha de um dos três princípios de soluções apresentados no quadro 6, sendo estes responsáveis também por garantir alguns dos requisitos expostos na etapa de projeto informacional.

Princípios de Solução		
A4	B4	C4
		
Caixa redutora	Inversor de frequência	Polias variadoras de velocidade e correias

**Quadro 6 - Princípio de solução para regulação de velocidade do motor**  
**Fonte: Autoria própria**

Em sequência a função de regulação de velocidade do motor, cabe agora acender a chama dos queimadores. Para contemplar esta função deve ser

selecionado o tipo de ignitor utilizado e o tipo de queimador. O quadro 7 apresenta os princípios de solução referentes ao tipo de ignitor utilizado.

Princípios de Solução		
A5	B5	C5
		
Ignitor piezelétrico	Ignitor Manual	Palito de fósforo

**Quadro 7 - Princípio de solução para acender queimadores**  
**Fonte: Autoria própria**

Para determinar o queimador utilizado, o quadro 8 apresenta três tipos de queimadores presentes no mercado, os quais serão avaliados para também realizar a função de acender os queimadores.

Princípios de Solução		
A6	B6	C6
		
Queimador retilíneo	Queimador lança chamas	Queimador sorvete

**Quadro 8 - Princípio de solução para tipo de queimador**  
**Fonte: Autoria própria**

Em seguida o quadro 9 apresenta o tipo de sistema de regulagem dos queimadores para que este possibilite o aquecimento com intensidade adequada para cada peça em processo.

Princípios de Solução	
A7	B7
	
Registro de esfera	Registro de agulha

**Quadro 9 - Princípio de solução para regulagem de queimadores**

Fonte: Autoria própria

Na avaliação de regulagem de queimadores deverá ser levado em consideração a importância da quantidade de gás utilizada, assim como a precisão no ajuste, pois o mesmo tem influência direta no custo de operação.

Para a função de verificação de temperatura, além dos princípios anteriormente citados deverá também ser utilizado, especificamente, os instrumentos de medição de temperatura sendo estes responsáveis pela qualidade da distribuição e controle de temperatura, para tanto o quadro 10 apresenta os princípios de solução destinados a esta função.

Princípios de Solução		
A8	B8	C8
		
Pirômetro Óptico Manual	Termômetro digital com sensor externo de contato	Termômetro por Infravermelho

**Quadro 10 - Princípio de solução para controle de temperatura**  
**Fonte: Autoria própria**

As alternativas apresentadas possibilitam executar a função global do sistema envolvendo parâmetros básicos para execução do processo descartando o que se tem em particular para escolhas e buscando opções essenciais.

#### 4.2.4 Combinar Princípios de Solução

Após realizar a exposição de alternativas que podem ser possíveis soluções, para esta etapa o número de combinações de princípios de solução é definido por meio da quantidade de variações decorrentes de cada tipo de princípio de solução, sendo assim o quadro 11 apresenta a quantidade de variações para cada princípio de solução.

Princípio de Solução	Material da estrutura	Forma de alocação	Interruptor	Regulador de velocidade	Aquecedor por chama	Ignitor de chama	Regulador de queimadores	Medidor de temperatura
<b>Nº de princípios</b>	2	2	3	3	3	3	2	3

**Quadro 11 - Número de variações para os princípios de solução**  
**Fonte: Autoria própria**

Desta forma o número de combinações possíveis é determinado pela multiplicação dos números de princípios de solução acarretando um número elevado de combinações possíveis.

#### 4.2.5 Selecionar Combinações

Pelo fato do número de combinações ser muito elevado optou-se por determinar os princípios de solução mais adequados para as funções por meio da ferramenta definida Pahl et al (2005), apud Reis (2003) ponderação por respostas positivas (+) e negativas (-) para as perguntas avaliativas a seguir:

- Compatível com os requisitos?
- Pode ser realizado?
- Apresenta medidas de segurança?
- Favorável aos projetistas?
- Apresenta custo favorável?
- Compatível com os demais princípios?

O quadro 12 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a estrutura da máquina.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução	
	A1	B1
Compatível com os requisitos?	+	-
Pode ser realizado?	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	+
Favorável aos projetistas?	+	+
Apresenta custo favorável?	+	-
Compatível com os demais princípios?	+	+

**Quadro 12 - Avaliação de tipo de estrutura**  
**Fonte: Autoria própria**

Para o princípio de solução A1 todas as perguntas avaliativas são apresentadas respostas positivas, porém para o princípio B1 são indicadas duas respostas negativas. Sendo assim, o custo de produção em alumínio não é favorável

por ser elevado e a compatibilidade com os requisitos não é contemplada pelo fato do alumínio não ser comumente um material resistente a temperatura e esforços.

O quadro 13 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a forma de alocação da peça na máquina.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução	
	A2	B2
Compatível com os requisitos?	+	-
Pode ser realizado?	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	+
Favorável aos projetistas?	+	-
Apresenta custo favorável?	+	+
Compatível com os demais princípios?	+	-

**Quadro 13 - Avaliação do tipo de alocação da peça na máquina**  
**Fonte: Autoria própria**

Para o princípio de solução A2 todas as perguntas avaliativas apresentam respostas positivas, porém para o princípio B2 são indicadas três respostas negativas. Sendo assim, para o princípio de solução B2, a compatibilidade com alguns dos outros princípios não é contemplada, não é favorável aos projetistas pelo fato de apresentar variantes mais complexas na alocação das peças e a compatibilidade com os requisitos não é contemplada por prejudicar a qualidade da pega na peça, diminuir a velocidade de processamento e não possuir geometria simples.

O quadro 14 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a forma de ligar o motor.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução		
	A3	B3	C3
Compatível com os requisitos?	+	+	+
Pode ser realizado?	+	+	+
Apresenta medidas de segurança?	-	+	-
Favorável aos projetistas?	+	+	+
Apresenta custo favorável?	+	+	+
Compatível com os demais princípios?	+	+	+

**Quadro 14 - Avaliação do tipo de interruptor para o motor**

**Fonte: Autoria própria**

A avaliação deste princípio de solução sugere o uso da alternativa B3, pelo fato de ser a única a apresentar medidas de segurança e estar favorável as outras avaliações. As alternativas A3 e C3 também se apresentam favoráveis as demais avaliações, exceto a adequação as medidas de segurança, pois a parada de emergência deve ser executada, quando necessária, da forma mais rápida o possível para que não seja comprometido o processo da peça e não trazer perigo a vida do operador.

O quadro 15 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a forma de regulagem de velocidade transmitida pelo motor.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução		
	A4	B4	C4
Compatível com os requisitos?	-	+	+
Pode ser realizado?	+	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	+	-
Favorável aos projetistas?	+	+	+
Apresenta custo favorável?	+	+	+
Compatível com os demais princípios?	+	+	+

**Quadro 15 - Avaliação do tipo de regulagem de velocidade do motor**

**Fonte: Autoria própria**

Os princípios de solução para regulagem de velocidade apresentam diferentes formas de variar velocidade e inserção dos mesmos na máquina, porém a avaliação apresenta para a alternativa A4 falta da compatibilidade com os requisitos na questão de peso líquido ser mais elevado, o custo de operação ser mais elevado pelo fato de não haver demais regulagens de velocidades provenientes da caixa redutora e o custo do produto tornar-se mais elevado. Para a alternativa C4 as avaliações são positivas em todas as perguntas, exceto quanto as medidas de segurança por apresentar potencial perigo para determinar as regulagens de velocidade. Para a alternativa B4 todas as avaliações são de caráter positivo.

O quadro 16 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a forma de acender o queimador para aquecimento.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução		
	A5	B5	C5
Compatível com os requisitos?	+	+	+
Pode ser realizado?	+	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	-	-
Favorável aos projetistas?	+	+	+
Apresenta custo favorável?	+	+	+
Compatível com os demais princípios?	+	+	+

**Quadro 16 - Avaliação do tipo de ignitores de chama dos queimadores**

Fonte: Autoria própria

Os tipos de ignitores de chama utilizados nos queimadores apresentam avaliações positivas em comum em cinco das seis perguntas. Para a alternativa A5 todas as avaliações resultaram em valores positivos, porém para as alternativas B5 e C5 as medidas de segurança não são devidamente contempladas colocando em risco o operador.

O quadro 17 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes ao tipo de queimador utilizado.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução		
	A6	B6	C6
Compatível com os requisitos?	-	+	-
Pode ser realizado?	+	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	+	+
Favorável aos projetistas?	+	+	-
Apresenta custo favorável?	+	+	+
Compatível com os demais princípios?	+	+	+

**Quadro 17 - Avaliação do tipo de queimador**

Fonte: Autoria própria

As alternativas apresentadas para o tipo de queimador utilizado para o aquecimento apresentam pontos negativos para A6 quanto a compatibilidade aos requisitos, não favorecendo o processamento rápido das peças. A alternativa B6 apresenta pontos positivos a todas as avaliações propostas. A alternativa C6 não apresenta compatibilidade com os requisitos quanto ao processamento rápido e não

é favorável aos projetistas por apresentar geometria inadequada para o aquecimento.

O quadro 18 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a forma de regulagem dos queimadores responsáveis pelo aquecimento da peça.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução	
	A7	B7
Compatível com os requisitos?	+	+
Pode ser realizado?	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	+
Favorável aos projetistas?	+	+
Apresenta custo favorável?	+	+
Compatível com os demais princípios?	-	+

**Quadro 18 - Avaliação do tipo de regulador de queimador**  
**Fonte: Autoria própria**

A regulagem da intensidade da chama dos queimadores deve ser executada conforme as informações do processo para que não haja demasiado gasto de GLP e também muita oxidação na peça por conta do superaquecimento, para tanto deve ser realizada tal regulagem em conjunto com a regulagem da velocidade. Para a alternativa A7, a compatibilidade com o princípio de regulagem de velocidade deixa a desejar por não apresentar uma precisão tão eficiente quanto a alternativa B7.

O quadro 19 apresenta a avaliação das alternativas de princípios de solução referentes a forma de medição de temperatura realizada no controle do aquecimento.

Pergunta Avaliativa	Princípio de Solução		
	A8	B8	C8
Compatível com os requisitos?	-	-	+
Pode ser realizado?	+	+	+
Apresenta medidas de segurança?	+	-	+
Favorável aos projetistas?	+	-	+
Apresenta custo favorável?	+	+	+

Compatível com os demais princípios?	+	+	+
--------------------------------------	---	---	---

**Quadro 19 - Avaliação do tipo de controle de temperatura**  
**Fonte: Autoria própria**

Para a verificação de temperatura as alternativas A8 e B8 apresentaram pontos negativos em relação as perguntas avaliativas, sendo que para a alternativa A8 seu uso torna-se inviável uma vez que a medição manual poderá apresentar uma discordância em função das distâncias tomadas para medição e também tornará o processo mais manual do que automático. Para a alternativa B8 a compatibilidade com os requisitos não será contemplada pelo motivo de ter que haver contato com a peça, desta maneira ocorrendo pausas para realizar a conferência, favorecendo também a ocorrência de acidentes pela peça estar quente e não sendo para os projetistas caso haja necessidade de tornar esta forma de verificação automática. Sendo assim a alternativa C8 torna-se a alternativa a apresentar melhores condições de verificação e favorece positivamente as demais avaliações.

#### 4.2.6 Evoluir em Variantes de Concepção

Nesta etapa o projeto evolui as concepções avaliadas das fases anteriores, permitindo avaliações da viabilidade. Sendo assim a concepção do projeto foi desenvolvida até que as funções determinem de forma fixa a função principal, em conjunto com todo restante do projeto. A seguir é demonstrado a análise dos princípios de solução propostos:

- Estrutura em aço (A1) - mais fácil de se fabricar por conta da soldagem e corte ser mais fácil, mais acessível no mercado e maior resistência mecânica e térmica;
- Dois rolos termicamente isolados (A2) – possibilita a execução da operação posterior de estanhagem interna, maior facilidade na acomodação e menor troca térmica;
- Interruptor com botão de pressão (B3) – Maior facilidade para paradas de emergência e garantia de maior segurança;
- Inversor de frequência (B4) – Maior facilidade em manutenção, custo acessível, regulagem mais refinada e maior segurança;

- Ignitor piezelétrico (A5) – Operação com maior segurança e a operação se torna menos manual;
- Queimador lança chamas (B6) – Regulagem de maior precisão, maior contato entre chama e peça, abrange maior geometria, mais intensidade no aquecimento quando necessária;
- Registro de agulha (B7) – Regulagem mais refinada de vazão e maior segurança ao operador;
- Termômetro sensor por infravermelho (C8) – Maior acessibilidade para verificação de temperaturas, promoção de evolução do controle de temperatura em linhas seriadas, não apresenta manuseio do operador.

#### 4.2.7 Avaliar Concepções

Ao avaliar as concepções, será determinado os pontos de correções ou pontos fracos que poderão acarretar em potenciais problemas para o desenvolvimento do produto. Sendo assim a tabela 10 apresenta uma matriz de avaliação para identificar a relevância de aceitação.

**Tabela 10 - Tabela de avaliação das concepções**

Posição	Requisitos dos clientes	Peso (Mudge)	Concepção
1	Aquecer homoganeamente.	5	5
2	Aquecer automaticamente;	5	3
3	Processar com orifício voltado para a horizontal	4	5
4	Utilizar queima de GLP para aquecimento	4	5
5	Processar rapidamente	3	3
6	Um operador	3	1
7	Fácil manutenção	3	1
8	Processar uma peça por vez	2	5
9	Processar até o diâmetro de 400mm	2	5
10	Processar até o comprimento de 320mm	2	5
11	Componentes mecânicos intercambiáveis	1	3
12	Baixo custo de fabricação	1	1
13	Projeto simples	1	3

**Fonte: Autoria própria**

O critério para avaliação é definido da seguinte maneira:

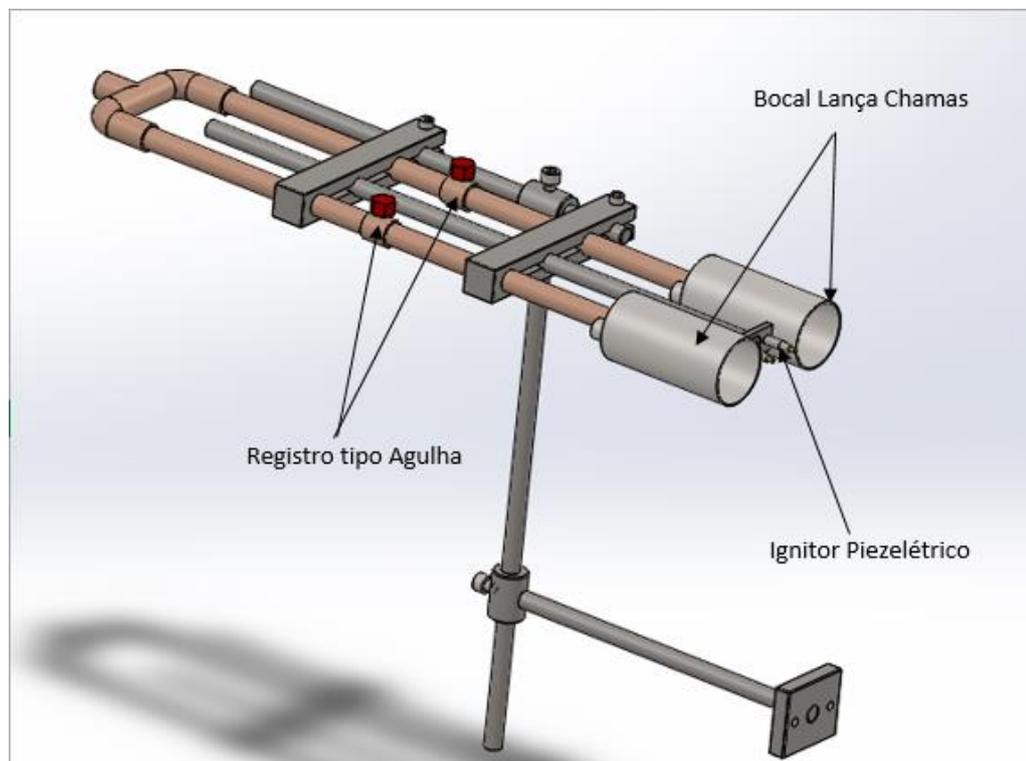
- Peso 5 quando o critério é atendido imensamente superior a referência;

- Peso 3 quando o critério é atendido muito melhor que a referência;
- Peso 1 quando o critério é atendido melhor que a referência;
- Peso 0 quando o critério é atendido tanto quanto a referência;
- Peso -1 quando o critério é atendido pior que a referência;
- Peso -3 quando o critério é atendido muito pior que a referência;
- Peso -5 quando o critério é atendido imensamente inferior a referência.

Por meio desta avaliação pode-se concluir que a concepção atende a necessidade de aquecer as bases das buchas de mancais homogeneamente e terá boa aceitação para as etapas posteriores do produto.

#### 4.2.8 Apresentação da Concepção do Produto

Definidas as etapas de avaliação de requisitos, viabilidades, escolha de princípios, demonstra-se nesta concepção a partir da utilização de desenho 3D em computador utilizando o programa *Solidworks*. Na figura 8 é apresentada uma concepção genérica do sistema de aquecimento empregado.

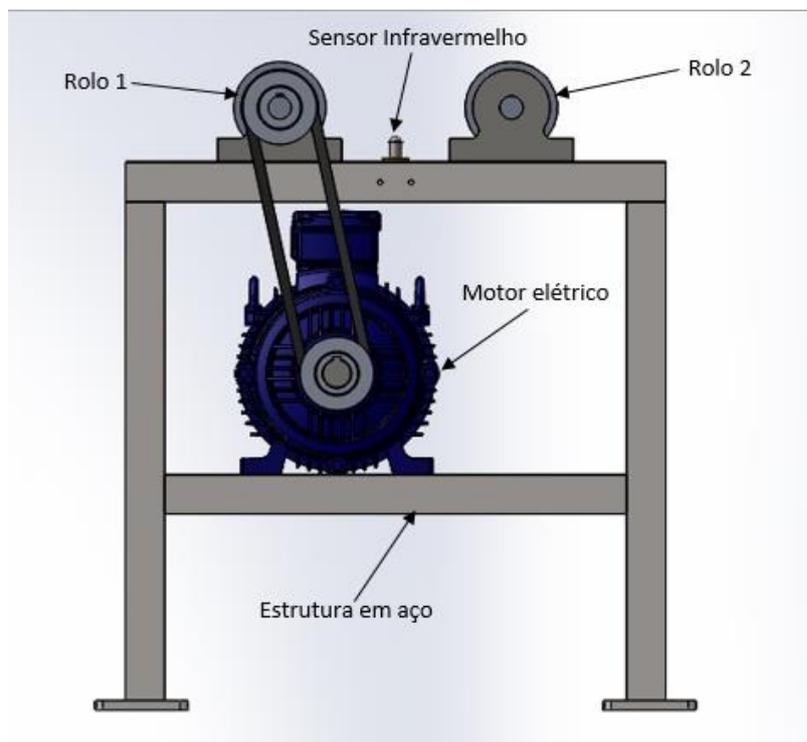


**Figura 8 - Desenho do sistema de aquecimento**  
Fonte: Autoria própria

O sistema de aquecimento é composto pelos seguintes princípios de solução:

- Ignitor piezelétrico (A5) o qual é utilizado um eletrodo para cada queimador tendo sua extensão em aço, a partir dos bocais, para proteger os fios elétricos ligados ao comando de ignição;
- Queimador lança chamas (B6) apresentando quatro bocais ao todo pela máquina sendo dois bocais em cada lateral da máquina para melhor distribuição de temperatura, tendo suas regulagens de distância definidas por meio de ajustes com parafusos e extensões em latão para o fluxo de GLP;
- Registro tipo agulha (B7) encontram-se na extensão dos tubos de fluxo de GLP anterior a saída nos bocais de queima, permitindo a regulação para cada bocal podendo assim definir regulagens para aquecimento para outros tamanhos de peças compatíveis.

Na figura 9 é apresentada uma vista da concepção onde é demonstrado o sistema de alocação e movimentação das peças, estrutura e o controle de temperatura.



**Figura 9 - Desenho do sistema de alocação e movimentação**  
Fonte: Autoria própria

O sistema de movimentação de peças, estrutura e controle de temperatura contempla os seguintes princípios:

- Estrutura em aço (A1) apresentando dimensões compatíveis com o tamanho dos equipamentos nele utilizados, dois andares, sendo um direcionado para o motor elétrico e o outro para o sistema de movimentação. Neste princípio é conferindo a máquina um fator de segurança superior a necessidade do cliente;
- Dois rolos termicamente isolados (A2) sendo o rolo 1 fixo e transmissor de movimento a partir do movimento comunicado pelo motor elétrico ligado a correias e polias simples e o rolo 2 móvel para ajustes a peças em outras dimensões. O motor elétrico também apresenta movimento para regulagem da correia ligado ao rolo 1;
- Termômetro sensor por infravermelho (C8) inserido ao centro da mesa e sob a posição onde a peça em processo deve ficar para registrar a variação de temperatura conforme o aquecimento pelos bocais lança chamas;

A figura 10 apresenta a vista contrária da vista da figura 18, a qual apresenta os princípios de solução referentes ao sistema de ligação do motor, regulagem de velocidade dos rolos e os componentes adjacentes aos princípios de solução de acender queimadores e controle de temperatura.

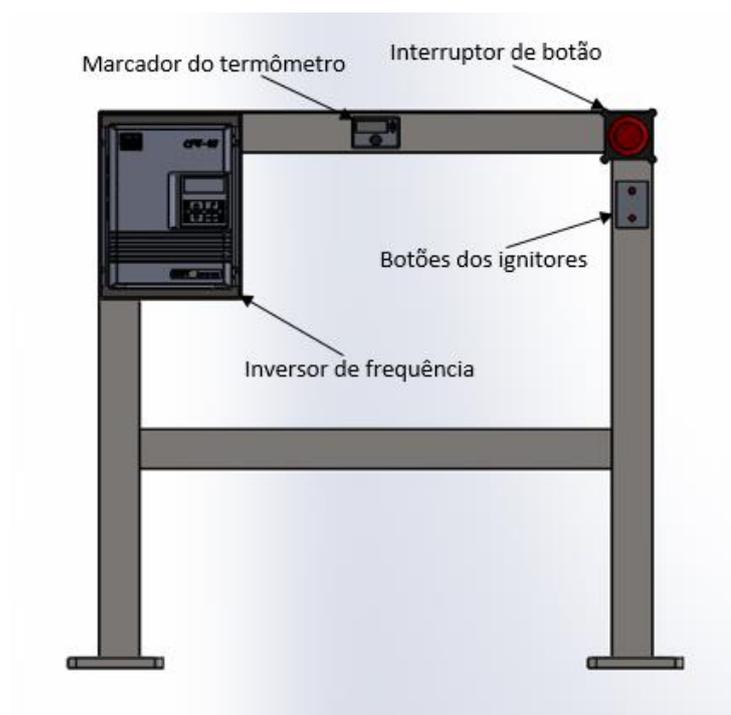


Figura 10 - Desenho do sistema de controle de velocidade e temperatura

**Fonte: Autoria própria**

- Interruptor de botão de pressão (B3) localizado ao canto superior direito da estrutura facilitando a parada de emergência do motor e sobre os botões de ignição dos eletrodos piezelétricos para acender os queimadores;
- Inversor de frequência (B4) localizado no canto superior esquerdo da mesa proporcionando regulagens mais refinadas da velocidade do motor elétrico para o processamento das peças nos rolos. Ao seu lado esquerdo está a central do sensor de temperatura por infravermelho.

Na figura 11 do Apêndice E e na figura 12 do Apêndice F são apresentadas uma vista A de um desenho esquemático em perspectiva da concepção da máquina com todos os princípios de solução determinados viáveis para o produto e uma vista B com um exemplo de peça inserida sobre os rolos da máquina.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto teve seus objetivos alcançados e pode apresentar uma nova concepção para o setor produtivo da Metalúrgica Santa Cecília referente ao aquecimento das bases das buchas de mancais. Sendo assim os requisitos elencados pelos clientes foram atendidos a partir de modelo conceitual, bastando-se colocar em execução as posteriores etapas para a completa verificação e aceitação do produto inteiramente acabado.

As revisões bibliográficas apresentadas forneceram informações muito úteis para a compreensão do projeto. As informações permitiram o entendimento e a compreensão de sistemas de aquecimentos e alguns elementos de máquinas conhecidos, permitindo assim imaginar e planejar o projeto proposto pelo trabalho.

A metodologia utilizada contempla as etapas de projeto informacional e conceitual que auxiliaram na definição dos requisitos de clientes e projeto, e na atribuição de valores para cada requisito. A ênfase nos requisitos de maior importância foi possibilitada a partir da aplicação de técnicas e conceitos apresentados pela metodologia adotada. A concepção de um novo produto empregando esta metodologia, demonstrou que os resultados obtidos foram satisfatórios.

Os resultados alcançados não apresentaram intervenção de preferências pessoais e possibilitaram realizar a escolha de alternativas condizentes com os requisitos determinados, assim buscando o desempenho esperado em relação ao processamento das peças com economia de energia, mão-de-obra e custo.

Os conhecimentos e habilidades adquiridos durante o curso e a oportunidade que a empresa envolvida possibilitou, foi um fator determinante para atingir metas para um potencial avanço na melhoria de processos da empresa a partir do uso adequado das ferramentas de projeto.

## REFERÊNCIAS

[Figura 1, 2013]. Disponível em:< <http://www.smagon.com.br/produtos/bucha-para-laminador/> >. Acesso em: 22 mar. 2014

[Figura 2, 2013]. Disponível em:< <http://www.csturbinas.com.br/produto/pastilhas-de-deslizamento-radiais.html>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

[Figura 3, 2013]. Disponível em:< <http://www.csturbinas.com.br/produto/pastilhas-de-deslizamento-radiais.html>>. Acesso em: 22 mar. 2013.

[Figura 4, 2013]. Disponível em:< <http://www.inforgel.com.br/si/site/0202>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

[Figura 5, 2013]. Disponível em:< <http://www.dw-inductionheating.com/shrink-fitting-pulley-to-insert-bearing.html>>. Acesso em: 14 abr. 2014.

AMERICAN SOCIETY FOR METALS. Metals handbook: Nondestructive inspection and quality control. 8. Ed. Materials Park: ASM International, 1976. 446 p.

\_\_\_\_\_. Sleeve bearings materials. Cleveland: ASM International, 1949. 256 p.

ANDREUCCI, Ricardo. Ensaio por ultra-som. São Paulo, 2008.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. 2000. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FORRESTER, P. G. Babbitt alloys for plain bearings. Greenford: Tin Research Institute, 1963.

GATTI, Henriques F. Aquecimento Por Indução. Disponível em: < <http://professor.ufabc.edu.br/~leigui/disciplinas/grad/fenomenosondulatorios/apres/diurno/heriques.pdf>>. Acesso em: 08 abril 2013

HOUWINK, R.; SALOMON, G.; Adherencia y adhesivos. 10. Ed. Bilbao: Urmo. 1978.

INFORGEL. Forno industrial. s.d. Disponível em:  
<<http://www.inforgel.com.br/si/site/0202>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

KOMANOFF, Philip. The complete handbook of centrifugal casting. United States of America: Tab Books, 1981.

MAGNOLIA METAL COMPANY. The Magnolia Metal Bearing Book. Disponível em:  
< <http://www.metalwebnews.org/ftp/bearing-book.pdf> >. Acesso em: 07 abril 2013.

MARKS, Lionel S. Mechanical Engineers' Handbook. 5. Ed. New York: Mc-Graw Hill Book Company, 1951. 2238 p.

PAHL G., BEITZ W., FELDHUSEN J., GROTE K. H. Projeto na Engenharia 6ª Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

REIS, A. V. **Desenvolvimento de concepções para dosagem e deposição de precisão de sementes miúdas**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

REVISTA FORGE. Propriedades mecânicas de aços normalizados. s.d. Disponível em: <<http://revistaforge.com.br/secao/artigos-tecnicos/21/>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

SHIGLEY, Joseph E.; MISCHKE, Charles R.; BUDYNAS, Richard G. **Projeto de Engenharia Mecânica**. Porto Alegre: Bookman, 2005. 960 p.

THE METAL CASTING. Cast Irons – An Overview. Disponível em:  
<<http://www.themetalcasting.com/articles/2008/08/cast-irons-an-overview.html>>. Acesso em: 07 abr. 2013.

TORRE, Jorge. Manual prático de fundição e elementos de prevenção da corrosão. São Paulo: Hemus, 2004.

WILCOCK, Donald F.; BOOSER, E. R. Bearing design and application. New York: McGraw-Hill, 1957. 464 p.

## **APÊNDICE A – Questionário para entrevista na Metalúrgica Santa Cecília**

- Qual a finalidade da máquina?

R: A máquina deverá aquecer as bases das buchas de mancais de deslizamento homogeneamente.

- Qual a forma de aquecimento?

R: O aquecimento deve ser executado automaticamente da forma mais rápida o possível.

- Qual o tamanho das peças a processar?

R: As bases a ser processadas não devem ultrapassar o valor de 400mm de diâmetro e 320mm de comprimento.

- Qual a quantidade de peças processadas por vez?

R: Deverá ser processada uma peça de cada vez.

- Quantos operadores irão operar esta máquina?

R: Apenas um operador deve ser utilizado.

- Qual a forma de energia utilizada pela máquina?

R: A máquina deverá utilizar eletricidade para funcionamento e combustível gasoso (GLP) para aquecimento, tendo visão do menor gasto possível.

- Qual a posição de trabalho da peça a processar?

R: As peças deverão ser processadas com o orifício na horizontal para possibilitar a posterior estanhagem sem retirar da máquina.

- Qual o valor disponibilizado pela empresa para este produto?

R: Este produto deve ser viabilizado com o menor custo possível.

## APÊNDICE B – Diagrama de Mudge

	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>SOMA</b>	<b>V.R.(%)</b>	<b>G.I.</b>
<b>1</b>	2Y	3Y	4Z	5Z	6Z	7Y	8Z	9X	10Y	11Z	12Y	13Y	0	0	1
	<b>2</b>	2X	4Y	5X	6Z	7X	8Z	9X	10Y	2X	2X	13X	3	3,29	2
	<b>3</b>	4Y	5X	6Z	7X	8Z	9X	10Y	3X	3X	13X	2	2,19	2	
		<b>4</b>	4X	6X	7X	8Z	4X	4X	4Y	4Z	4X	12	13,18	4	
	<b>5</b>	4X	6X	7Y	8Z	5X	5X	5X	11Y	12X	5X	3	3,29	2	
		<b>6</b>	6Y	6X	7Y	8Z	6Y	10X	6Z	6X	15	16,48	4		
<b>Grau de Importância</b>					<b>6</b>	6X	8Z	6Y	10X	6Z	6Z	6X	15	16,48	4
5 - maior importância						<b>7</b>	8Y	7Y	10Y	11Y	7Z	7Y	11	12,08	4
1 - menor importância							<b>8</b>	8Y	8Y	8Z	8Z	8Z	21	23,07	5
								<b>9</b>	10Y	11X	12X	13X	0	0	1
<b>Variável de Importância</b>									<b>10</b>	10Y	10Y	10Y	9	9,89	3
X - 1 (Pouco mais importante)										<b>11</b>	11Z	11Y	8	8,79	3
Y - 3 (Medianamente mais importante)											<b>12</b>	12X	1	1,09	1
Z - 5 (Muito mais importante)												<b>13</b>	6	6,59	3

Imagem 1 - Diagrama de Mudge

Fonte: Autoria própria

### APENDICE C – Matriz da casa da Qualidade

Matriz da Casa da Qualidade Aquecedor Rotativo		Requisitos														Qualidade Planejada											
		Projeto														Benchmarking		Análise Comparativa						Priorização	Ranking		
		Capacidade de trabalho	Operação automática	Alimentação manual	Qualidade de pega na peça	Custo do produto	Custo de operação	Parada de emergência	Produto confiável	Boa aparência	Tempo de fabricação	Intervalo de manutenções	Geometria simples	Materiais resistentes	Peso líquido	Controle do operador	Controle de temperatura	Nosso Produto	Meta	Taxa de Melhoria	Argumento de Venda	Peso Absoluto	Peso Relativo				
		Direção da Melhoria																						5	4	3	2
Requisitos	Clientes	Projeto Simples	1	△	△	△	●	●	○	○	△	●	○	△	△	○	4	5	1,2	1,0	1,2	3%	●	■	13		
		Processar até o diâmetro de 400mm	2	●	△	●	○	●	○	○	△	○	○	○	○	△	△	5	5	1,0	1,2	2,4	6%	●	■	9	
		Processar até o comp. de 320mm	2	●	△	△	○	△	●	△	△	○	○	○	○	○	○	5	5	1,0	1,5	3,0	7%	●	■	8	
		Processar com orifício na horizontal	4	△	○	●	●	○	●	△	○	○	○	●	○	○	○	5	5	1,0	1,0	4,0	10%	●	■	4	
		Processar uma peça por vez	2	●	●	●	●	○	●	○	△	○	○	○	○	●	●	5	5	1,0	1,0	2,0	6%	●	■	10	
		Aquecer automaticamente	5	○	●	△	○	●	○	○	○	△	△	○	○	●	●	4	5	1,2	1,0	6,2	15%	●	■	1	
		Aquecimento com GLP	4	●	○	○	●	●	●	△	○	○	○	○	○	●	●	5	5	1,0	1,0	4,0	10%	●	■	3	
		Aquecer homogeneamente	5	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	5	5	1,0	1,0	5,0	12%	●	■	2	
		Baixo custo de fabricação	1	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	△	△	○	4	5	1,2	1,0	1,2	3%	●	■	12	
		Processar rapidamente	3	●	●	△	○	○	○	△	△	○	○	○	○	○	○	4	5	1,2	1,0	3,7	9%	●	■	6	
		Um operador	3	●	●	○	○	△	○	△	○	△	○	○	○	○	○	5	5	1,0	1,0	3,0	7%	●	■	7	
		Componentes intercambiáveis	1	△	△	○	○	●	●	○	△	○	○	○	△	△	○	3	4	1,3	1,0	1,3	3%	●	■	11	
		Fácil manutenção	3	○	○	○	●	●	○	○	△	○	○	○	○	○	○	4	5	1,2	1,0	3,7	9%	●	■	5	
Qualidade Projetada	Benchmarking	Valor Atual - Nosso Produto	3	3	2	4	5	3	2	4	2	4	4	3	4	5	5										
		Meta	3	4	4	4	5	4	4	4	3	4	5	3	3	3	4	5									
		Dificuldade Técnica	2	3	2	1	4	3	2	4	2	1	3	1	2	1	3	5									
		Total Pontos	551	544	296	220	438	808	240	139	51	191	137	333	170	167	519	476									
		Percentual (%)	10%	10%	6%	4%	8%	15%	5%	3%	1%	4%	3%	6%	3%	3%	10%	9%									
		Valor Atual - Nosso Produto	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●									
		Priorização	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
Ranking	2	3	8	10	6	1	9	14	16	11	15	7	12	13	4	5											

Imagem 2 - Casa da Qualidade

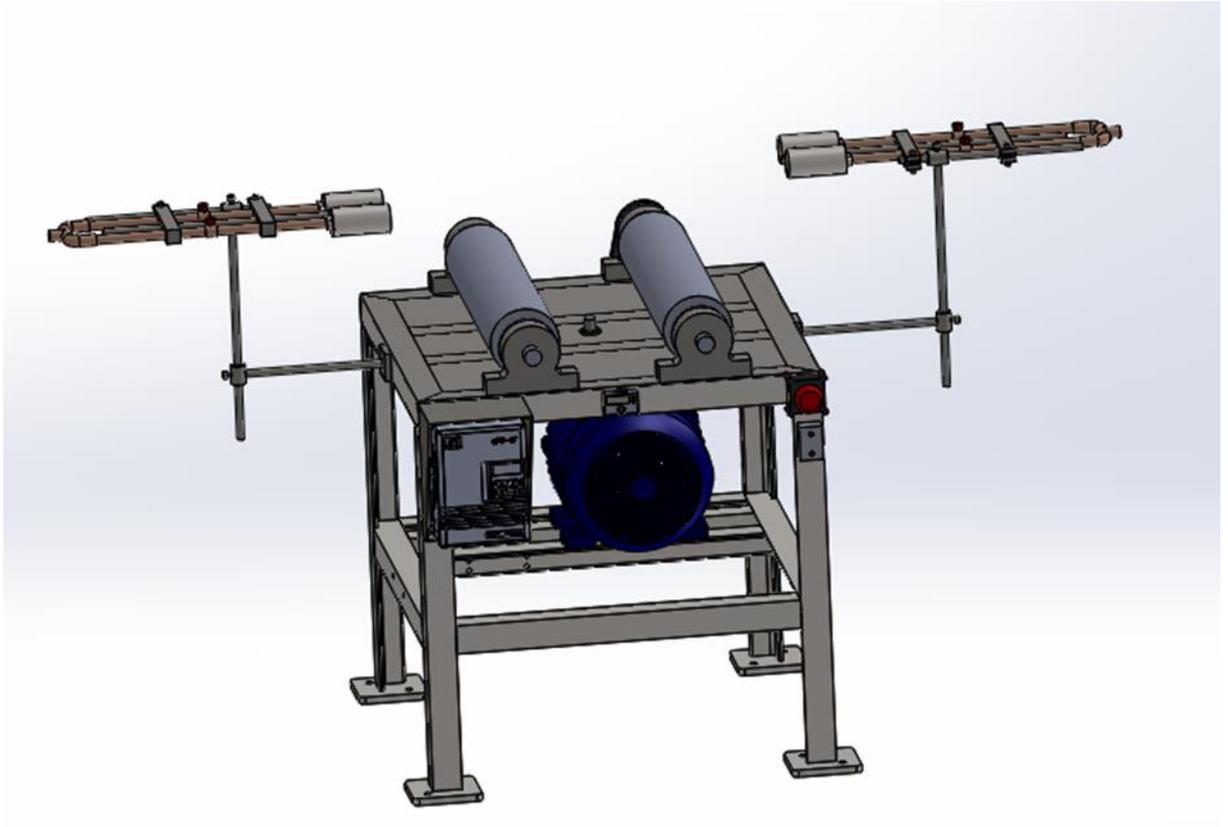
Fonte: Autoria própria

## APÊNDICE D – Tabela de especificações dos requisitos de projeto

Posição	Requisito do projeto	Valor/Metas	Avaliação	Aspectos indesejáveis
1	Custo de operação	Diminuição de custo	Análise de gastos	Não atender necessidade
2	Capacidade de trabalho	Até 400mm de diâmetro Até 320mm de comprimento	Análise de projeto	Não processar peças com as dimensões referidas
3	Operação automática	Aumento de produtividade	Análise de produção	Não atender necessidade
4	Controle do operador	Aumento da precisão	Medições	Não atender necessidade
5	Controle de temperatura	Aumento da precisão	Medições	Não atender necessidade
6	Custo do produto	Menos de R\$1.000,00	Análise de gastos	Não atender necessidade
7	Geometria simples	Sem formas irregulares	Análise visual	Formas irregulares
8	Alimentação manual	Aumento da produtividade	Análise de produção	Não atender necessidade
9	Parada de emergência	Uma	Análise de projeto	Superaquecer e acidentes
10	Qualidade de pega na peça	Alta	Medições	Pega inadequada
11	Tempo de fabricação	Duas semanas	Medições	Tempo excedente
12	Materiais resistentes	Equilíbrio custo/benefício	Análise de projeto	Quebra da máquina
13	Peso líquido	Menos de 100Kg	Análise de projeto	Peso excessivo
14	Produto confiável	Temperatura homogênea	Medições	Variações no aquecimento
15	Intervalo de manutenções	Duas por ano	Análise de produção	Manutenções excedentes
16	Boa aparência	Sem defeitos estéticos	Análise visual	Fabricação sem padrões

Imagem 3 - Tabela de especificações de requisitos de projeto

Fonte: Autoria própria

**APÊNDICE E – Vista A da montagem total da concepção**

**Figura 11 - Desenho da concepção genérica total da máquina**  
**Fonte: Autoria própria**

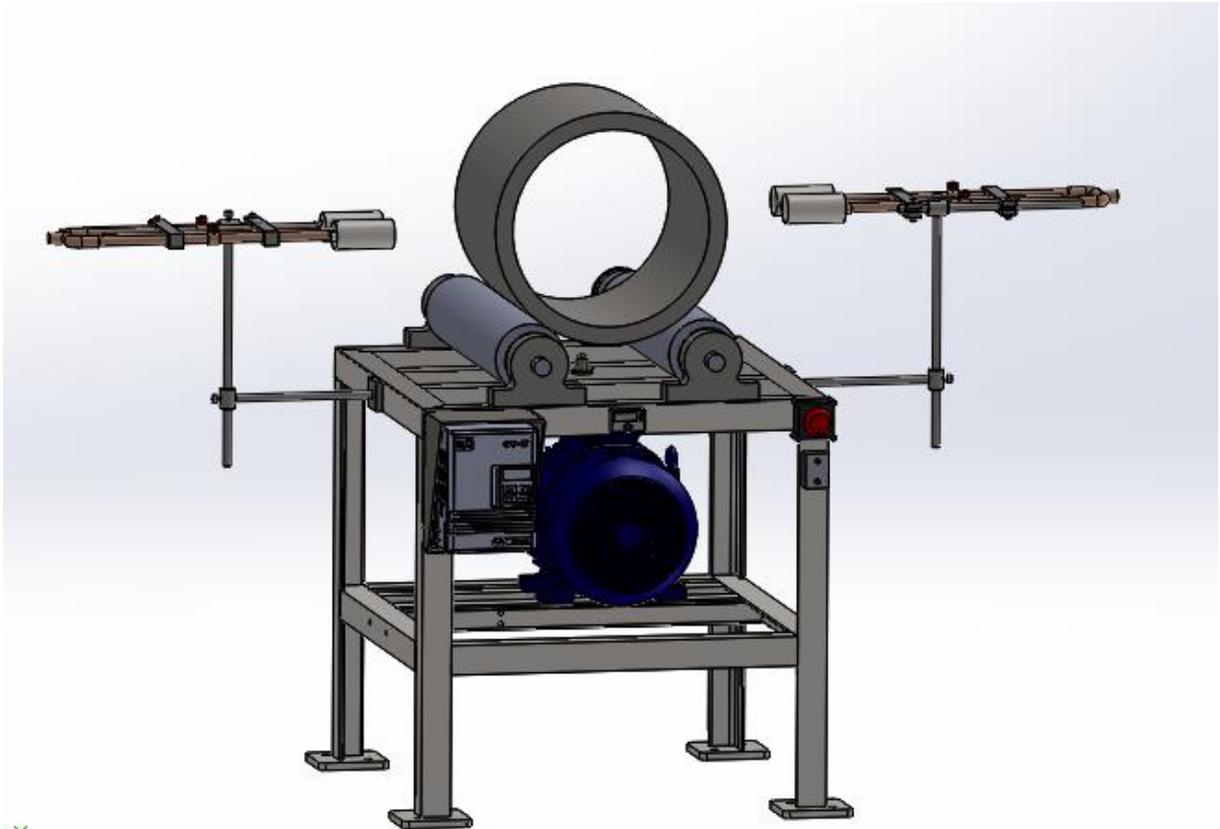
**APÊNDICE F - Vista B da montagem total da concepção**

Figura 12 - Desenho da concepção genérica total com exemplar de peça  
Fonte: Autoria própria