

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA
SOUZA**

ETEC TRAJANO CAMARGO

Curso Técnico em Metalurgia

Luis Guilherme do Nascimento Silva

Samuel Alvino da Silva

REBARBAÇÃO DE PEÇAS FUNDIDAS POR ESTAMPAGEM

Limeira – SP

2021

Luis Guilherme do Nascimento Silva

Samuel Alvino da Silva

REBARBAÇÃO DE PEÇAS FUNDIDAS POR ESTAMPAGEM

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Metalurgia da Etec Trajano Camargo, orientado pelo Prof. Edenil, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Metalurgia.

Limeira – SP

2021

Agradecimentos

Agradecemos, primeiramente, à Deus, que nos ajudou com suas bênçãos e graças para que nós possamos concluir este trabalho.

Agradecemos ao de nossos familiares e amigos pelo incentivo e apoio moral para estarmos estudando e conseguirmos estar neste atual momento.

Ao corpo docente do curso de metalurgia do Etec. Trajano Camargo de Limeira – SP, por todo ensinamento que nos ajudaram a realização deste trabalho.

Agradecemos ao grupo NB máquinas agrícolas Ltda de Itapira - SP por todo conteúdo disponibilizado para elaboração deste trabalho.

RESUMO

Devido ao processo de rebarbação manual em fundição ser realizado em ambientes hostis e apresentando maus condições ergonômicas e com a falta de profissionais interessados nesta área, veio a ideia de desenvolver a rebarbação por estampagem por cisalhamento com a premissa de melhorar condições como ergonomia, velocidade de processo, diminuição de agentes dispersóides (poeira) e diminuição de custo de fabricação. O processo será realizado em prensas excêntricas que tem por objetivo golpear as peças a serem rebarbadas que serão posicionadas em uma ferramenta, dispositivo que terá a capacidade de posicionar e realizar o corte por todo perímetro da rebarba da peça, assim separando a rebarba da peça.

Palavra(s)-chave: Rebarbação. Fundição. Estampagem. Cisalhamento.

ABSTRACT

Due to the manual deburring process in foundry being carried out in hostile environments and presenting poor ergonomic conditions and the lack of professionals interested in this area, the idea came to develop the deburring by shear stamping with the premise of improving conditions such as ergonomics, process speed, decrease in dispersing agents (dust) and decrease in manufacturing cost. The process will be carried out in eccentric presses that aim to strike the parts to be deburred which will be positioned on a tool, a device that will have the ability to position and perform the cut along the perimeter of the part's burr, thus separating the burr from the part.

Keywords: Deburring. Foundry. Stamping. Shearing

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 Objetivo.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
2.1 O conceito de fundição e seus principais processos.....	9
2.1.1 O processo de fundição e seu princípio.....	9
2.1.2 Organização dos processos de fundição.....	10
2.1.3 Etapa para obtenção da peça fundida	11
2.1.4 Principais meios de moldagem.....	12
2.1.4.1 Processo de moldagem em areia	12
2.1.4.2 Processo de moldagem em cera perdida.....	13
2.1.4.3 Processo de moldagem em moldes permanentes.....	13
2.1.5 Processo de fusão e vazamento do metal	14
2.1.5.1 Rotina de fusão.....	14
2.1.5.2 Rotina de vazamento	16
2.1.6 Solidificação, resfriamento, desmoldagem e acabamento.....	18
2.1.6.1 Solidificação de peças fundidas	18
2.1.6.1.1 Massalotes	18
2.1.6.2 Resfriamento das peças fundidas e desmoldagem:	19
2.1.6.3 Processo de acabamento das peças fundidas.....	20
2.1.6.3.1 Limpeza das peças fundidas.....	20
2.1.6.3.2 Extração dos canais e massalotes	20
2.1.6.3.3 Rebarbação	20
2.2 O conceito de estamparia e seu princípio.....	22
2.2.1 Nomenclatura de uma ferramenta de estampagem.....	23
2.2.2 Processo de corte.....	24
2.2.3 Cálculo de força de corte.....	25
2.2.4 Equipamento de corte por estampagem.....	26
3. METODOLOGIA DO TRABALHO.....	28
3.1 Fluxograma da execução do trabalho.....	28
3.2 Cronogramas de atividades	29
3.3 Resultados esperados.....	29
4. MATERIAS E MÉTODOS PARA A ELABORAÇÃO DO PROTÓTIPO	30

4.1	Projeto CAD no SolidWorks.....	30
4.1.1	Desenhos das peças do protótipo.....	32
4.1.2	Desenhos das montagens do protótipo.....	34
4.2	Materiais do protótipo.....	36
4.2.1	Lista de materiais utilizados.....	36
4.3	Construção do protótipo.....	37
4.3.1	Fresagem base e tampa e colunas do protótipo.....	37
4.3.2	Torneamento e furação das guias, pinos e bucha do estampo.....	38
4.3.3	Eletroerosão a fio da matriz e do macho do estampo.....	39
4.3.4	Tratamento térmico da matriz ET-019244-02-02 e macho ET-019244-02-10 do estampo.....	39
4.4	Construção do protótipo.....	40
4.4.1	Montagem da base do estampo ET-019244-02-05.....	40
4.4.2	Montagem da tampa ET-019244-02-10.....	40
4.4.3	Montagem completa do estampo de rebarbação ET-019244-02.....	41
4.5	Fabricação da fêmea do cardam fundida 03.019244.....	41
4.5.1	Fabricando a fêmea do cardam fundida 03.019244 no setor de fundição.....	42
5.	ANALISE E RESULTADOS.....	43
5.1	Ensaio com rebarbação convencional com esmeril e policorte rebarbadora.....	43
5.2	Ensaio com rebarbação com o novo conceito de rebarbação por estampo.....	45
5.3	Comparação entre os dois processos de rebarbação.....	47
6.	CONCLUSÕES FINAIS.....	47
	REFERENCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

A rebarbação convencional de hoje em dia utiliza recursos como lixadeira, esmeris, retificas e esmerilhadeira para remover as saliências provenientes de canais de enchimento, massalotes e rebarbas de vazamento. Devido ao processo de rebarbação manual ser realizado em ambientes hostis e apresentando maus condições ergonômicas e a falta de profissionais interessados nesta área, veio a ideia de desenvolver a rebarbação por estampagem por corte com a premissa de melhorar estas dificuldades citadas acima, por ser um processo de maior nível de automação e velocidade de processo.

Primeiramente para este trabalho foram identificadas peças fundidas com geometrias pequenas e com perfil que favoreça a migração de processos e assim ficou decidido por uma peça denominada fêmea do cardam, que é uma peça com geometria relativamente pequena e com grau de dificuldade de ser segurada pelas mãos por um rebarbador no momento da rebarbação manual. Será estudado a geometria desta peça e o perfil da rebarba gerada pelo processo de fundição de ferro fundido e o grau de esforço mecânico para a operação de corte por cisalhamento da rebarba fundida. Também será projetada uma ferramenta para ser alocada em uma prensa excêntrica que irá fornecer a tensão de cisalhamento durante ao processo de corte. Esta ferramenta será projetada conforme a necessidade de apoio da peça e a forma da matriz de corte para a rebarba a ser removida. Assim definida a ferramenta será realizado teste onde serão analisadas as deformações provenientes do processo e o acabamento superficial e além de tudo isso, verificar a velocidade de processo comparando com o processo de rebarbação manual.

O método de realização deste trabalho será baseado em uma experiência do processo de fabricação em um chão de fábrica em relação a rebarbação manual que será substituída para um processo de rebarbação por estampagem por corte. Assim será estudado a geometria da peça fundida a estampar e a forma de como será feita a ferramenta de estampagem e assim comparar os dois processos em relação a velocidade de rebarbação, condições ergonômicas e acabamento superficial.

1.1 Objetivo

O objetivo deste projeto é substituir o processo de rebarbarão manual pelo processo de estampagem por corte em peças fundidas de médio e pequeno porte para melhorar as condições como ergonômicas e velocidade de fabricação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O conceito de fundição e seus principais processos

2.1.1 O processo de fundição e seu princípio

Uma fundição se dá por meio do vazamento de um determinado metal (ou liga metálica) no seu estado líquido no interior de uma cavidade designada molde cuja forma corresponde, em negativo, da peça desejada. (SIEGEL, 1985).

Com a solidificação do metal vazado, obtemos uma peça fundida. Esse método milenar de produção de peças evoluiu e tomou-se um dos mais versáteis, proporcionado a fabricação de peças únicas ou em série nas de mais variadas formas e complexidades e nos mais diversos tamanhos e geometrias. Há ainda o relevante fato de o processo ser um dos métodos mais econômicos de se fabricar em série dando uma vasta gama de componentes metálicos. As etapas básicas de um processo de fundição, consiste basicamente, na divisão em projeto, confecção do molde (moldagem), metal líquido, desmoldagem e acabamento. Em muitos contextos fabris, a fundição pode ser caracterizada um processo de fabricação de peças metálicas, que representa o caminho mais curto entre a matéria-prima metálica líquida e a peça semiacabada, em alguns casos condições de uso, para utilização imediata. (BALDAM e VIEIRA, 2014).

A fundição é processo de fabricação muito antigo e de acordo com Baldam e Vieira (2014, p. 21) “no período de 5.000 a 3.000 a.C., apareceram os primeiros trabalhos com cobre fundido, sendo os moldes feitos de pedra lascada”, e com a descoberta do cobre os seres humanos passaram a utilizar os metais para produção de ferramentas e instrumentos, modificando as formas de viver e sobreviver no mundo.

E logo em seguida surge a era do Bronze, uma mistura de cobre com estanho adquirindo mais resistência e por seguinte o ferro fundido, o último metal a passar pelo

o processo de fundição na idade do metal, por ser um material com o manuseio mais complicado, mas tornou os materiais produzidos mais resistentes.

Segundo Baldam e Vieira (2014, p. 21) “1000 a.C.: início da idade do ferro, com a obtenção de ferro forjado”, isso permitiu a melhoria na qualidade de vida e conseqüentemente o desenvolvimento do comércio.

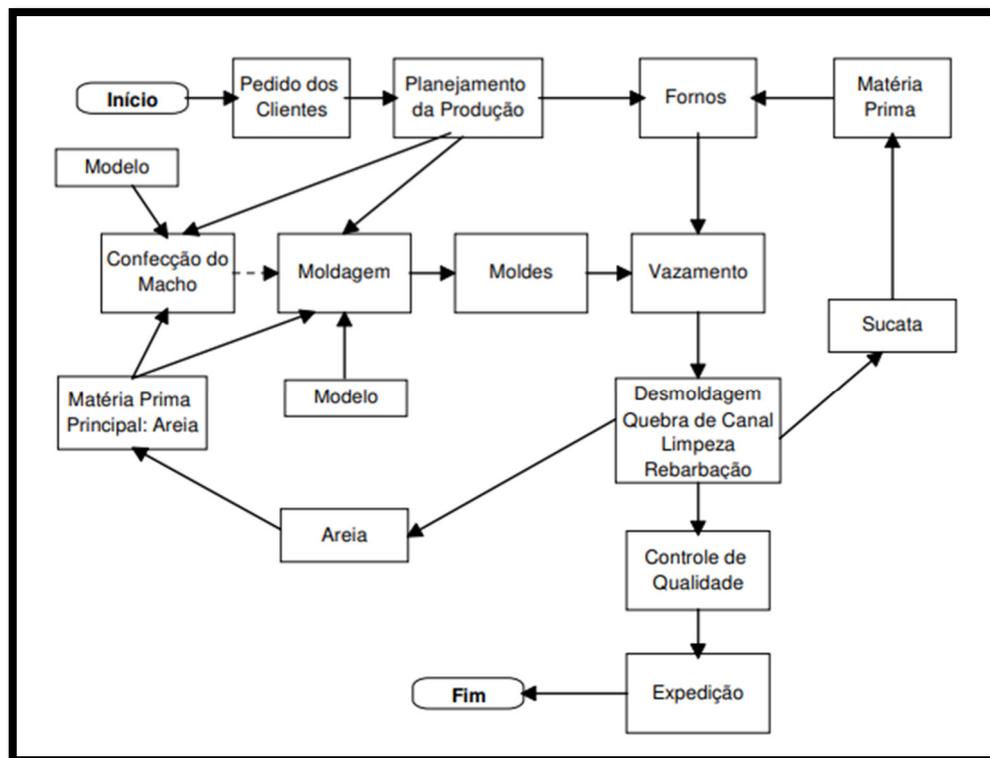
E ainda em concordância com Baldam e Vieira (2014), no âmbito fabris, a fundição é considerada o processo que consiste o caminho mais curto ente a matéria-prima metálica líquida e a peça semiacabada, já no estado de uso, sendo assim considerada um processo de fabricação de peças metálicas.

2.1.2 Organização dos processos de fundição

Uma fundição funciona de sistêmica e integrada, na qual cada setor fica responsável determinar cada etapa do processo. A fabricação de uma peça fundida requer, pelo menos, os seguintes processos (RODRIGUES, 2016):

- O projeto da peça a fundir
- Confecção de moldes, caixas de machos e modelo, sendo assim a modelação
- Preparação de areia para moldagem
- Confecção de machos (macharia)
- Confecção de moldes (moldagem)
- Preparação do metal líquido (fusão)
- Vazamento dos moldes
- Desmoldagem
- Rebarbação e limpeza
- Expedição

Figura 1 – Demonstração do sistema organizacional de um processo de fundição



Fonte: Araújo e Arenales (2003).

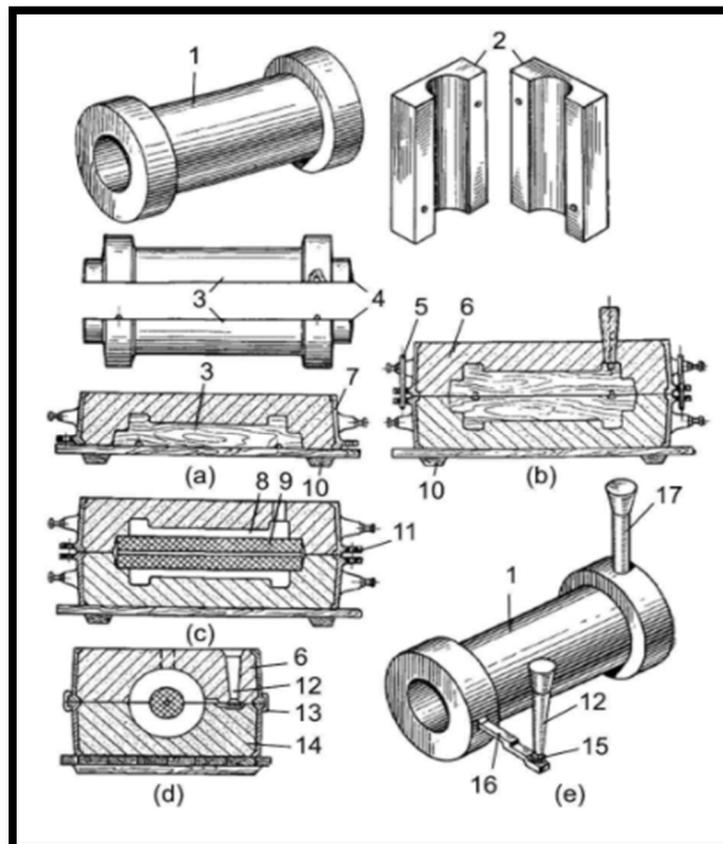
2.1.3 Etapa para obtenção da peça fundida

E para Baldam e Vieira (2014) os principais processos da fundição são:

Para estabelecer o processo de fabricação de uma peça fundida, parte-se do desenho técnico da peça a ser produzida ou até mesmo de uma réplica. A partir disso, realiza-se o projeto que define todo o processo de fabricação na fundição. A figura 1 mostra um típico exemplo das etapas para a fabricação de uma peça cilíndrica com um furo passante em molde de areia. Tudo começa com o projeto da peça desejada (1). A partir desse projeto, é feito o modelo (3), possuindo algumas alterações, como as marcações de macho (4), em que serão colocados os machos (para compor as partes internas da peça fundida), feito com o auxílio da caixa de machos (2). Com uma parte do modelo partido, começa a primeira etapa da moldagem (a), que é moldar a caixa inferior do molde de areia, usando para apoio uma caixa de moldar (7) e um estrado (10). Em seguida, molda-se a caixa superior (b) e, para manter as duas caixas na posição correta, usam-se pinos-guia (5). Moldadas as duas partes, está pronto o molde (6). Feitos os detalhes dos canais de enchimento (12, 15 e 16) e colocado o macho

(c e d), as caixas são abertas. Observa-se o vazio que corresponderá à peça (8), o macho posicionado (9) e o canal para a saída dos gases (17). As caixas são travadas por pesos ou presilhas (13) a fim de se evitar vazamento de metal fora do molde. Após o vazamento e a solidificação, temos a peça.

Figura 2 - Elaboração de uma peça cilíndrica pelo processo de moldagem em areia.



Fonte: Titov e Stepanov (1981).

2.1.4 Principais meios de moldagem

2.1.4.1 Processo de moldagem em areia

A fundição em areia é o processo mais usado na fundição, responsável pela maioria significativa das toneladas de fundidos produzidos pelas indústrias do mundo todo. Basicamente, o processo consiste no vazamento do metal fundido em um molde de areia, dentro do qual o metal se solidifica e a peça fundida é retirada com a quebra do molde. (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2014, p. 39).

A maioria das ligas pode ser fundida em moldes de areia e é um dos poucos processos que podem utilizar metais de alto ponto de fusão, como aços, níquel e titânio. A versatilidade nesse método permite produzir peças e componentes de peças em

diversos tamanhos, de pequena a grandes e em quantidade produzida, de uma até milhões. (GROOVER, 2014).

Segundo Baldam e Vieira (2014), a fundição em moldes de areia tem uma vasta gama de métodos e entre eles estão a moldagem em areia com argila, ligantes químicos, shell molding, cold box, entre outros.

As peças fabricadas por esse processo devem passar por algumas etapas de usinagem para dar acabamento, retirando delas o sistema de alimentação e o massalote. E muitas vezes usinada para acerto dimensional e submetida a tratamentos térmicos para dar qualidade a peça e melhoria de suas propriedades mecânicas.

2.1.4.2 Processo de moldagem em cera perdida

O processo de fundição por precisão também pode ser nomeado como fundição por cera perdida ou micro fusão, de princípio é feito um modelo da peça desejada em cera e recoberto por um material refratário que endurece ao se aquecido para fazer o molde, sendo aquecido a cera é derretida ficando só a casca feito com o material refratário, logo depois o molde é aquecido à temperatura de até 1.100 °C, o metal é vazado no molde em seguida e levado para solidificar e serem desmoldado. (KIMINAMI; CASTRO; OLIVEIRA, 2014). De acordo com Groover (2014, p. 122) “o processo teve origem no Egito antigo e é também conhecido como processo de cera-perdida, uma vez que a forma do modelo em cera é perdida antes da fundição”.

Esse processo utiliza-se de alguns tipos de metais que são, ligas de alumínio, cobalto, níquel, titânio, aço carbono e aços inoxidáveis. Ele também permite uma produção em massa de peças complexas que seriam difíceis ou quase impossíveis fabricá-las no modo convencional de fundição ou usinagem.

2.1.4.3 Processo de moldagem em moldes permanentes

Neste processo como o nome já diz utiliza-se moldes permanentes e seu preenchimento não precisa de força de injeção ou centrifuga, apenas a força da gravidade. O molde permanente nesse processo é fabricado de aço, ferro fundido, bronze ou grafite, podendo ser utilizado até mesmo 250.000 vezes, onde são compostos por duas ou mais partes que são projetas para abertura e fechamento simples e preciso, tendo também a função de conter os canais de vazamento e massalote. (KIMINAME; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

Dentre as matérias que podem ser fundindo nos moldes permanentes estão, alumínio, magnésio, ligas á base de cobre e ferro fundido. No entanto o ferro fundido requer uma temperatura muito elevada de vazamento, podendo danificar os moldes e diminuindo sua vida útil. Há depender do tipo da peça e do seu formato, utilizam-se machos, onde dará formas nas superfícies interna das peças. (GROOVER, 2014). Ainda assim citado por Groover (2014), os machos podem ser confeccionados de metal, mas devem ser mecanicamente colapsáveis, permitindo a sua retirada, caso seja difícil ou impossível, devem ser confeccionados de areia endurecida por aglomerantes e neste caso, o processo é denominado como fundição em moldes semipermanentes.

No pensar de Baldam e Vieira (2014), esse processo por moldes permanentes é limitado a fabricação de peças pequenas, pois os valores dos moldes são mais substanciais, sendo assim mais viável quando a quantidade de peça a ser produzida for alta. Entretanto esse processo pode ser automatizado, permite a obtenção de peças bem-acabadas, com taxa de produção de 5 a 100 conjuntos/hora, os podem conter cavidade para mais de uma peça, e com maior resistência mecânica.

Esse processo pode ser aplicado em diversos peças e conjuntos mecânicos tais como, pistões, engrenagens e cabeçote de cilindros. (KIMINAME; CASTRO; OLIVEIRA, 2013).

2.1.5 Processo de fusão e vazamento do metal

2.1.5.1 Rotina de fusão

Muitos manuais de fundição discorrem sobre essas rotinas que podem parecer aos leigos perfeitas "receitas de bolo". Entretanto, com o conhecimento dos fenômenos que ocorrem quando da fusão, da manutenção do metal líquido e do comportamento do mesmo durante o vazamento é possível se estabelecer a técnica de fusão mais adequada a cada caso. (SOARES, 2000, p. 62).

No processo de fundição de ligas metálicas o metal necessita estar no estado líquido para que o processo seja realizado. São utilizados equipamentos para este fim: Sendo eles, fornos para fusão das ligas metálicas. (TÂMEGA, 2017).

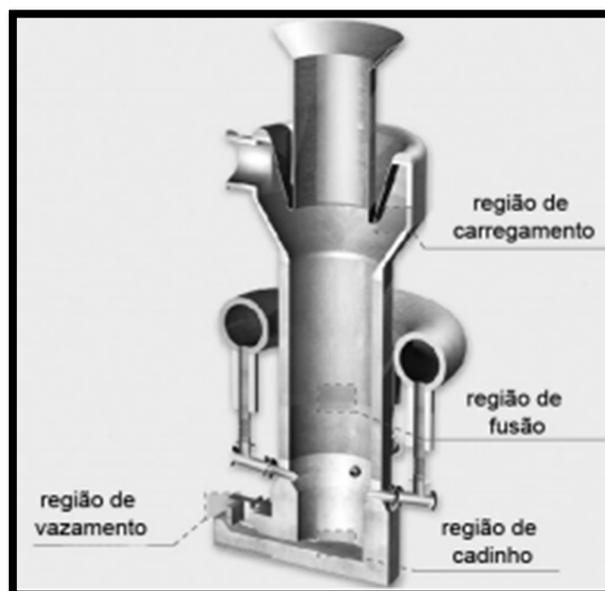
A seguir segue algumas imagens de equipamento de fusão:

Figura 3 – Imagem de um forno a cadinho basculante



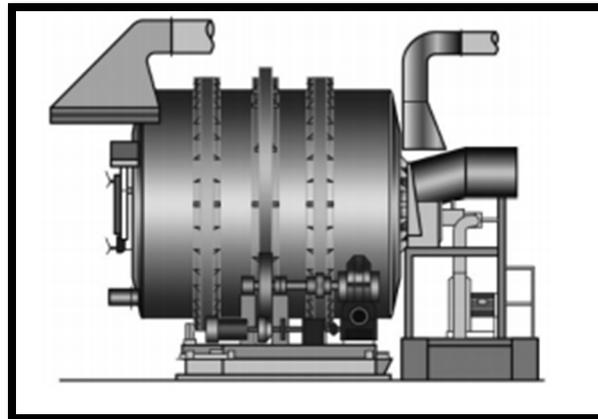
Fonte: Adaptado de Tâmega (2017).

Figura 4 – Imagem representando um forno cubilô



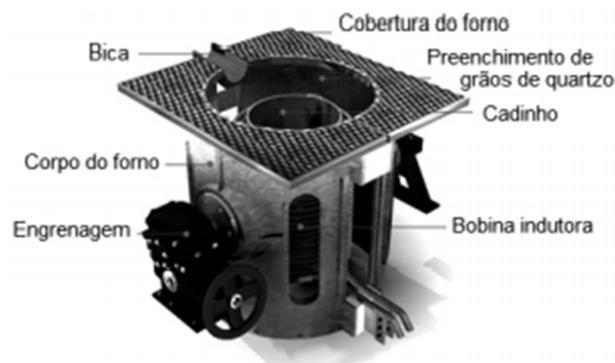
Fonte: Tâmega (2017).

Figura 5 – Imagem de um forno réverbero rotativo



Fonte: Tâmega (2017).

Figura 6 – Imagem elétrica de indução com cadinho.



Fonte: Tâmega (2017).

Assim que a matéria prima estiver devidamente separada, processada e pesada. A mesma é levada para os fornos de fusão, sendo assim é preciso carregar os mesmos conforme a sua capacidade de seu cadinho e assim iniciar o processo de fusão do metal. Assim que o metal estiver pronto no estado de fusão é necessário acertar a sua composição química conforme a liga a ser fundida. Após isso é acertado a temperatura de vazamento e transferido o metal dos fornos para o meio de vazamento sendo um deles o mais comum, o cadinho vazador (panela de vazamento).

2.1.5.2 Rotina de vazamento

O vazamento de metal, consiste no preenchimento de uma determinada cavidade com o preenchimento de um metal líquido, que por sua vez tende a resfriar e solidificar dando formato a peça fundida.

O sistema de vazamento consiste em despejar em um funil, que se situa na superfície do molde, assim desce até o nível do canal de distribuição por onde o metal passa através dos ataques até chegar na cavidade correspondente da peça. E utilizado a câmara ou sistema de retenção de escórias para assegurar o enchimento da cavidade com o metal líquido. (BALDAM; VIEIRA, 2014).

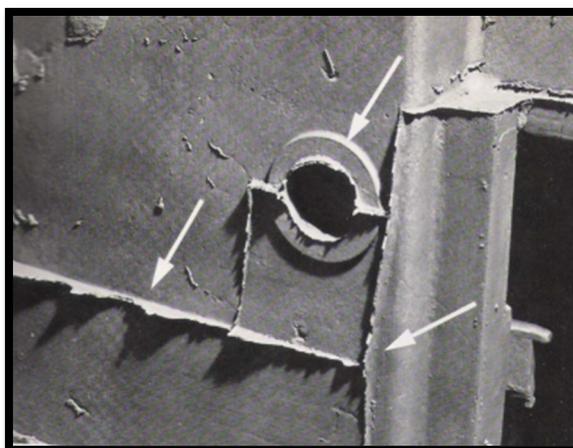
Figura 7 – Metal sendo vazado em um molde



Fonte: < https://fundicaometalurgicafenix.com.br/?page_id=199>. Acesso em: 24/06/2021.

Observação.: O primeiro local do processo de fundição, onde se forma a rebarba é no vazamento do molde. Devido a que falhas como fechamento do molde, mau preenchimento de areia no molde, trincas, folga entre as marcações do molde e o macho. Levara a espaços vazios, por onde o metal preencheria assim formando as rebarbas provenientes do vazamento do metal no molde.

Figura 8 – Rebarba em uma peça fundida.



Fonte: Do próprio autor, 2021.

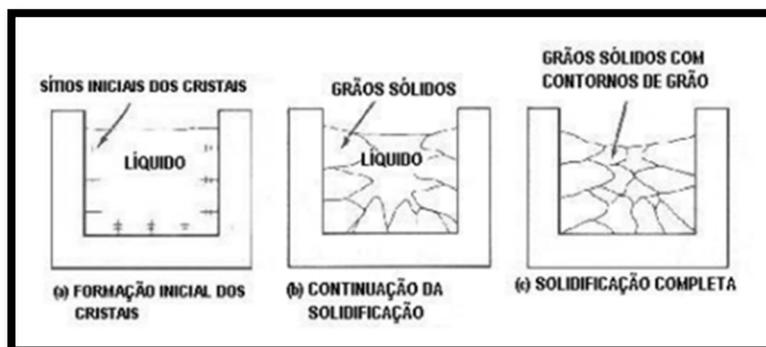
2.1.6 Solidificação, resfriamento, desmoldagem e acabamento.

2.1.6.1 Solidificação de peças fundidas

Os metais solidificam a uma temperatura constante igual a temperatura de fusão. Entre tanto a solidificação leva um tempo, chamado de tempo de solidificação local, onde calor do fundido é transferido para o molde. Já o tempo de solidificação total é o tempo entre de vazamento e fim da solidificação. (GROOVER, 2013).

Durante o processo de solidificação temos dois tipos, sendo elas a líquida e a sólida conforme representada na figura 9.

Figura 9 – Processo de solidificação dos metais



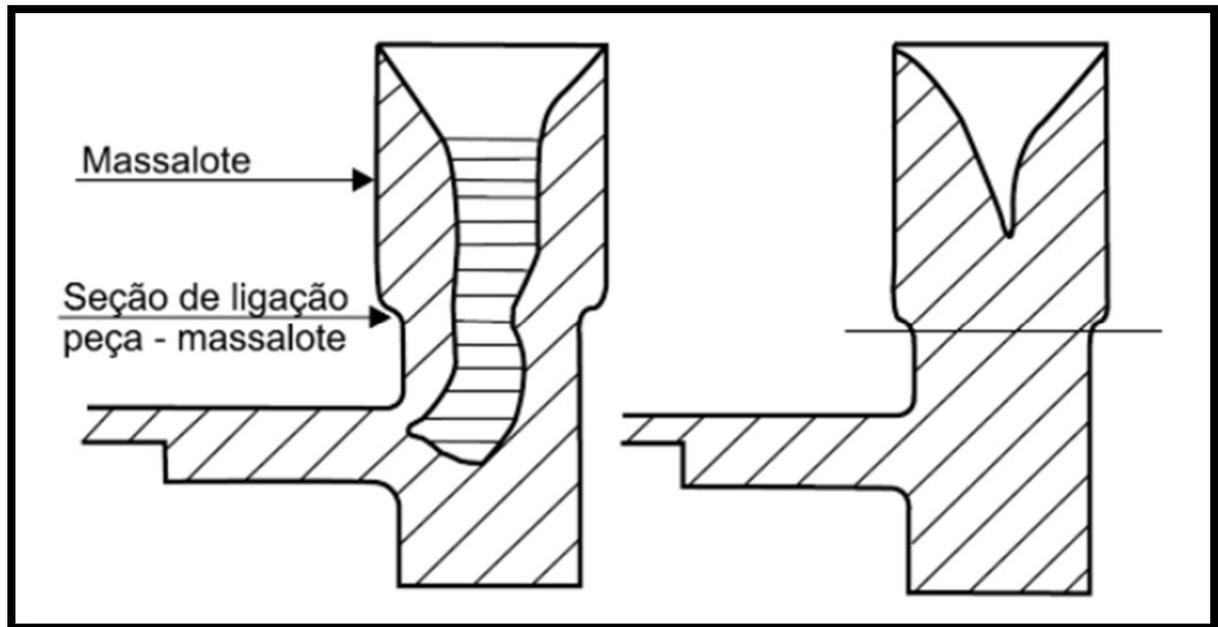
Fonte: Adaptado de ESAB (2004).

Em relação a este fenômeno que ocorre durante a solidificação da peça, pode ocorrer a formação de vazios devido a contração do metal líquido para o metal sólidos. Para isso utiliza-se massalotes que irá ser descrito a seguir.

2.1.6.1.1 Massalotes

O massalote é uma reserva de metal líquido, adjacente à peça, cujo objetivo é fornecer metal líquido para compensar a contração no estado líquido e durante a solidificação, solidificação ou seja, alimentar a peça a fim de evitar a formação de vazios (rechupe). Um massalote é colocado na parte da peça, que se solidifica por último, ou seja, adjacente ao ponto quente da peça. O massalote deve descolar esse ponto quente, Figura 10, de maneira que o rechupe seja formado nele.

Figura 10 – Processo de solidificação dos metais



Fonte: (RODRIGUES, 2016):

Observação.: Após a extração dos canais de enchimento e dos massalotes da peça, são provenientes saliências devido a mesmos estarem grudados na peça. Assim estas saliências também são denominadas rebarbas, que devem ser extraídas no acabamento da peça.

2.1.6.2 Resfriamento das peças fundidas e desmoldagem:

Após o vazamento do metal no estado líquido, e o metal estado acima da temperatura ambiente, ele tem a solidificar e resfriar até chegar à temperatura ambiente por onde poderá ser desmoldado a peça fundida.

Na desmoldagem será separado o molde da peça fundida resfriada.

Figura 11 – Processo de desmoldagem:



Fonte: Do próprio autor, 2021.

2.1.6.3 Processo de acabamento das peças fundidas

2.1.6.3.1 Limpeza das peças fundidas

Após a desmoldagem a peça junto com a sua galhada (canais de alimentação e massalotes), passam por um processo de limpeza que geralmente é utilizado um jateamento por granalha de aço, para remover o resto de impurezas provenientes dos processos anteriores.

2.1.6.3.2 Extração dos canais e massalotes

Para dar sequência no processo de acabamento da peça fundida é necessário remover os canais de enchimento e massalotes, através de processo de remoção de canais como: Corte por esmerilhadeira, remoção mecânica (impacto para quebrar os canais e massalotes) e por tocha, (remove por fusão do metal).

2.1.6.3.3 Rebarbação

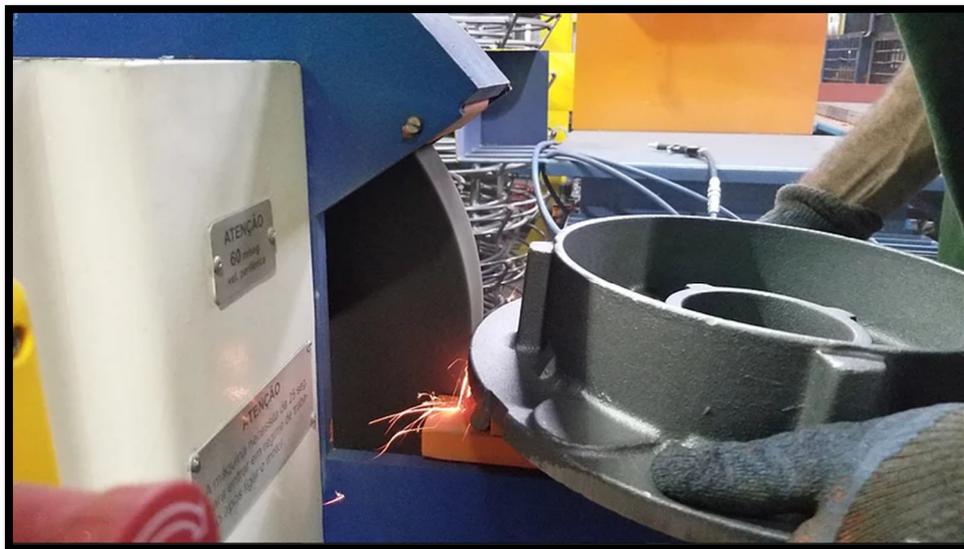
A rebarbação convencional de hoje em dia utiliza recursos como lixadeira, esmeris, retificas e esmerilhadeira para remover as saliências provenientes de canais de enchimento, massalotes e rebarbas de vazamento. Como demonstrado nas imagens a seguir:

Figura 12 – Rebarbação convencional com esmerilhadeira:



Fonte: Macedo (2016).

Figura 13 – Rebarbação convencional por esmeril:



Fonte: < <https://www.rebel.ind.br/esmeril400rb60?lightbox=datatem-k7ge7jgv>>. Acesso em: 24/06/2021.

Figura 14 – Rebarbação convencional por lixadeira.



Fonte: < <https://www.rebel.ind.br/lixadeira-afinacao>>. Acesso em: 24/06/2021.

Figura 14 – Rebarbação convencional por retífica.

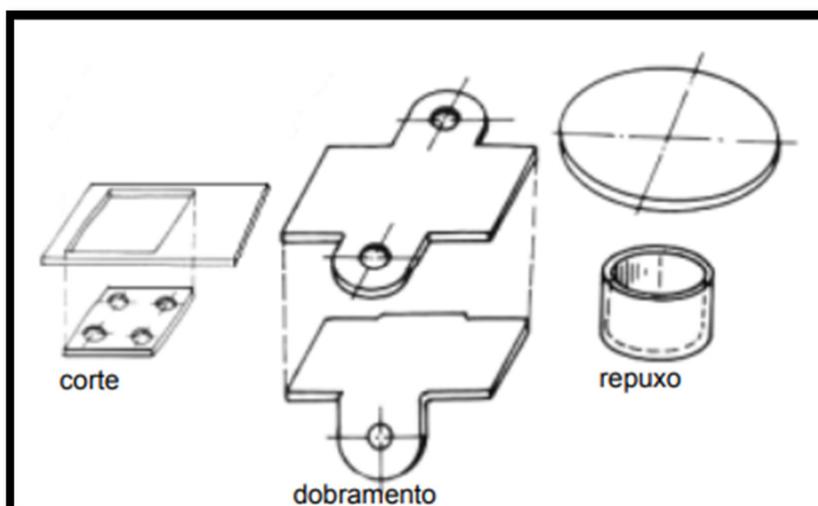


Fonte: < <https://ferramentasindustriais.com.br/esmerilhadeira-e-retifica-pneumatica/>>. Acesso em: 24/06/2021.

2.2 O conceito de estamparia e seu princípio

Por estampagem entende-se o processo de fabricação de peças, através do corte ou deformação de chapas em operação de prensagem a frio. Emprega-se a estampagem de chapas para fabricar-se peças com paredes finas feitas de chapa ou fita de diversos metais e ligas. As operações de estampagem podem ser resumidas em três básicas: corte, dobramento e embutimento ou repuxo. (PENTEADO, 2008).

Figura 15 – Exemplo de processo de estampagem.



Fonte: Penteado (2008).

A estampagem da chapa pode ser simples, quando se executa uma só operação, ou combinada. Com a ajuda da estampagem de chapas, fabricam-se peças de aço baixo carbono, aços inoxidáveis, alumínio, cobre e de diferentes ligas não ferrosas.

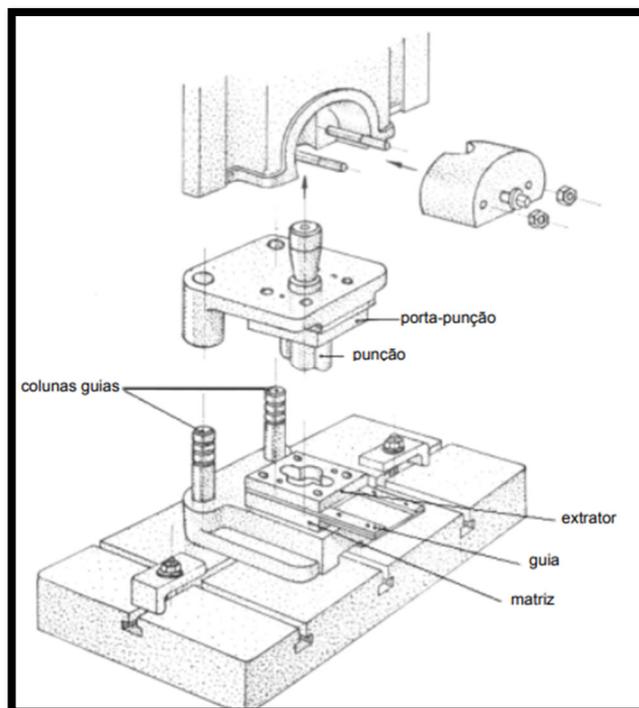
Devido às suas características este processo de fabricação é apropriado, preferencialmente, para as grandes séries de peças, obtendo-se grandes vantagens, tais como:

- Alta produção Reduzido custo por peça
- Acabamento bom, não necessitando processamento posterior.
- Maior resistência das peças devido à conformação, que causa o encruamento no material.
- Baixo custo de controle de qualidade devido à uniformidade da produção e a facilidade para a detecção de desvios. Como principal desvantagem deste processo, podemos destacar o alto custo do ferramental, que se pode ser amortizado se a quantidade de peças a produzir for elevada.

2.2.1 Nomenclatura de uma ferramenta de estampagem

- Punção: é o elemento da ferramenta que provoca a perfuração através de movimento e força transmitidos pela prensa.
- Matriz: é o elemento da ferramenta que fica fixo na base da prensa e sob o qual se apoia a chapa.
- Folga: é o espaço existente entre o punção e a matriz na parte paralela de corte.
- Alívio de ferramenta: é o ângulo dado à matriz, após a parte paralela de corte, para permitir escape fácil da parte cortada.

Figura 16 – Ferramenta de estampagem



Fonte: Penteado (2008).

2.2.2 Processo de corte

As operações de corte de chapas de metal são obtidas através de forças de cisalhamento aplicadas na chapa pelos dois cantos da ferramenta criando tensões internas que, ultrapassando o limite de resistência ao cisalhamento do material, provocam a ruptura e finalmente a separação. (PENTEADO, 2008).

O corte é realizado fundamentalmente em três etapas:

- a) Deformação plástica;
- b) Redução de área;
- c) Fratura;

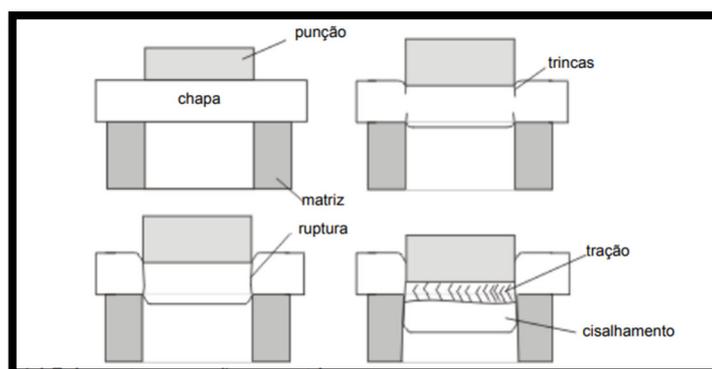
Quando a punção pressiona a chapa, o material começa a deformar-se até que o limite elástico seja ultrapassado, então o material deforma-se plasticamente e penetra na matriz, formando uma calota na parte inferior. Com a manutenção da aplicação da força pelo punção, o metal continua a penetrar na matriz, reduzindo a área na região do corte (estricção). (PENTEADO, 2008).

Aí se inicia a fratura, que começa no canto de corte do punção, para logo em seguida iniciar-se no canto de corte da matriz. Com o aumento da penetração do punção, a

fratura prolongar-se-á e as duas fraturas, eventualmente, encontrar-se-ão, quando, então, podemos dizer que o corte ocorreu por cisalhamento puro. Caso isto não aconteça, a parte compreendida entre as duas fraturas iniciadas por cisalhamento será "rasgada", por esforço de tração. (PENTEADO, 2008).

As partes rompidas por cisalhamento terão um acabamento liso e brilhante, enquanto a parte rasgada por tração terá um acabamento áspero e sem brilho.

Figura 17 – Processo de corte por estampagem



Fonte: Adaptado Penteadado (2008).

2.2.3 Cálculo de força de corte

Para dimensionarmos a força de corte e o dimensionamento do equipamento para realizar no processo de corte. É necessário realizar um cálculo de força de corte que segue abaixo: (CAVERSAN *et al.*, 2012a)

Formula 1 – Cálculo de força de corte

$$F_c = A_c \times \tau_{cis}$$

Onde F_c = Força de Corte

τ_{cis} = Tensão de cisalhamento do material (kgf/mm²)

A_c = Área de corte (secção resistiva de corte) = $l \cdot e$

l = comprimento de corte (mm)

e = espessura de corte (mm)

Fonte: CAVERSAN (2012).

2.2.4 Equipamento de corte por estampagem

Para realizar o corte por estampagem são necessários equipamento com grande força de trabalhos. Para isso os equipamentos mais utilizados são: Guilhotinas, presas excêntricas e presas hidráulicas. Abaixo segue algumas figuras destes equipamentos:

Figura 18 – Prensa excêntrica



Fonte: <<https://www.projudeiloes.com.br/lote/prensa-excentrica-40-ton-jundiai/211/>>. Acesso em: 25/06/2021.

Figura 19 – Prensa hidráulica



Fonte: <https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1342212919-prensa-hidraulica-200-ton-duplo-feitocom-almofada-_JM> Acesso em: 25/06/2021.

Figura 20 – Guilhotina

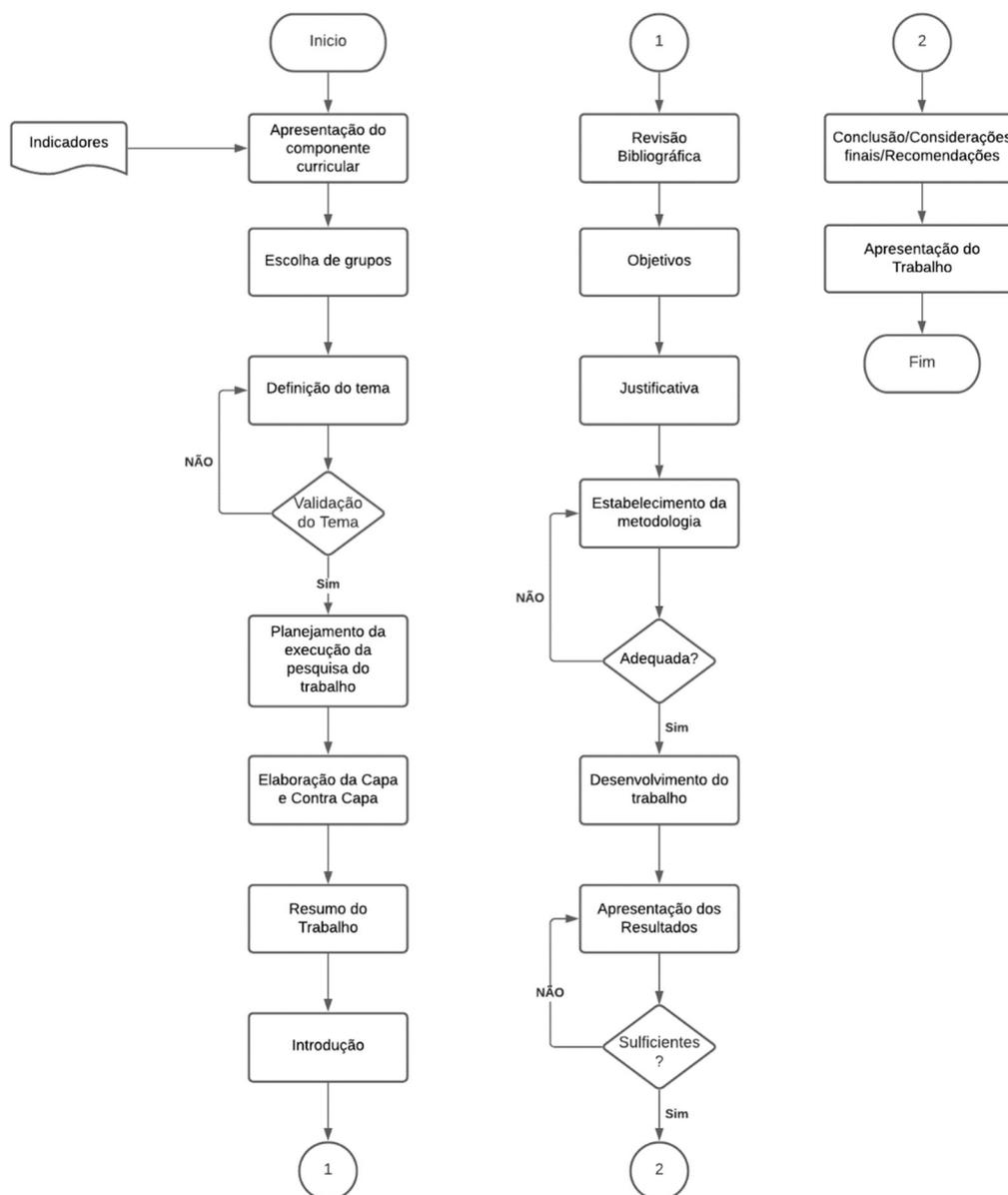


Fonte: <<https://www.vegamaquinas.com.br/guilhotina-hidraulica-cnc-calvi-3-200-x-3-2-mm-ag28-usado-pr-20861-229827.htm>> Acesso em: 25/06/2021.

3. METODOLOGIA DO TRABALHO

O método de pesquisa adotado neste trabalho é a metodológica que irá descrever um novo método de rebarbação de peças fundidas, sendo ele através do processo de estampagem. Realizaremos os ensaios e coletas de dados em um setor de estamparia em uma empresa metalúrgica situada na cidade de Itapira-SP, Brasil.

3.1 Fluxograma da execução do trabalho



3.2 Cronogramas de atividades

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES 1° SEMESTRE																									
Etapa	Atividade	Janeiro				Fevereiro				Março				Abril				Maio				Junho			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Férias																								
2	Inícios das aulas de PTCC																								
3	Escolha dos grupos																								
4	Escolha dos temas para realização do trabalho																								
5	Entrega da ficha do grupo																								
6	Escolha do tema definitivo																								
7	Pesquisa referencial sobre o tema do trabalho																								
8	Entrega do plano de PTCC																								
9	Planejamento para a elaboração do trabalho																								
10	Elaboração da capa e contracapa																								
11	Agradecimento																								
12	Dedicatória																								
15	Resumo/Abstract																								
16	Elaboração da introdução																								
17	Busca por referências bibliográficas																								
18	Elaboração da referência bibliográfica																								
19	Reparo e correção do trabalho																								
20	Entrega para o professor																								

Legenda:

- Atividade planejada
- Atividade cumprida
- Atividade não desenvolvida

CRONOGRAMA DE ATIVIDADES 2° SEMESTRE																									
Etapa	Atividade	Julho				Agosto				Setembro				Outubro				Novembro				Dezembro			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Férias																								
2	Desenvolvimento de materiais e métodos																								
3	Elaboração do projeto CAD																								
4	Compra dos materiais																								
5	Construção do protótipo																								
6	Testes práticos																								
7	Escrever as análises e resultados																								
8	Escrever as conclusões finais																								
9	Montagem da apresentação do TCC																								
10	Ensaio para apresentação																								
11	Impressão ou Digitalização do TCC																								
12	Apresentação final para a banca avaliadora																								

Legenda:

- Atividade planejada
- Atividade cumprida
- Atividade não desenvolvida

3.3 Resultados esperados

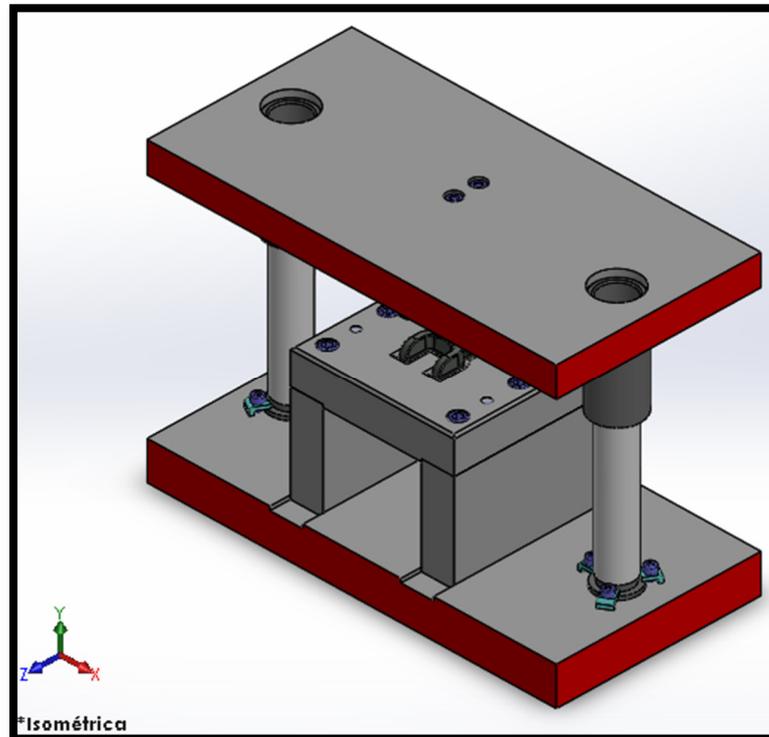
Os resultados esperados neste trabalho é garantir que a peça a ser rebarbada não sofra nenhuma alteração que influencie na sua aplicação de uso final e melhorar as condições ergonômicas em relação as condições convencionais de rebarbação de peças fundidas e também melhora a velocidade de processo de fabricação e com tudo isso melhorar o custo-benefício em relação a rebarbação de peças fundidas.

Acredita que teremos que repensar aplicação deste trabalho em relação a peças de geometria mais complexas, pois necessitaríamos de equipamentos e ferramentas auxiliares como elementos de apoio e gabaritação para garantir a perfeita execução da rebarbação das peças para garantir sua característica de aplicações finais.

4. MATERIAS E METODOS PARA A ELABORAÇÃO DO PROTOTIPO

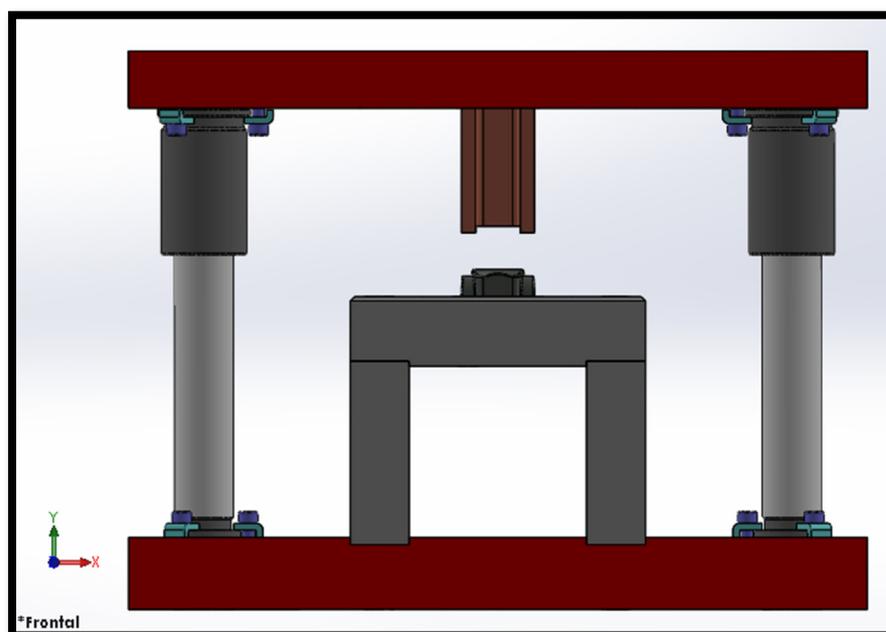
4.1 Projeto CAD no SolidWorks

Figura 21 – Vista isométrica no SolidWorks



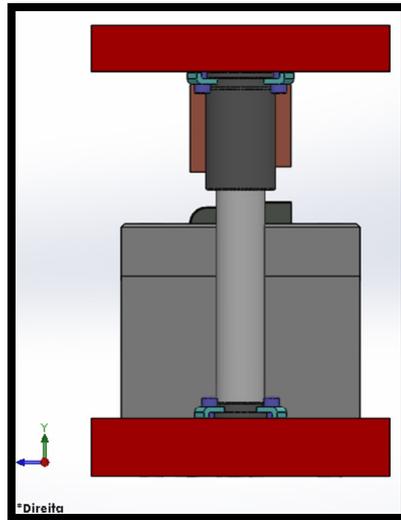
Fonte: (Próprios Autores, 2021).

Figura 22 – Vista frontal no SolidWorks



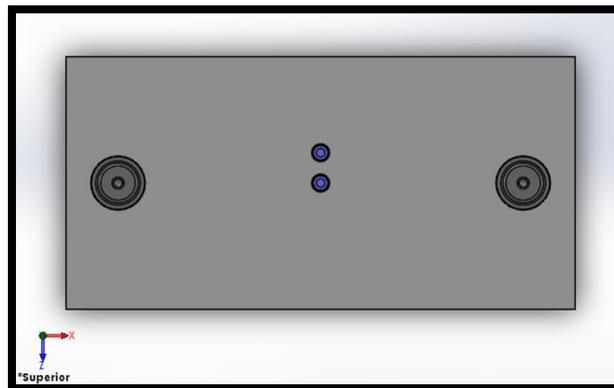
Fonte: (Próprios Autores, 2021).

Figura 23 – Vista direita no SolidWorks



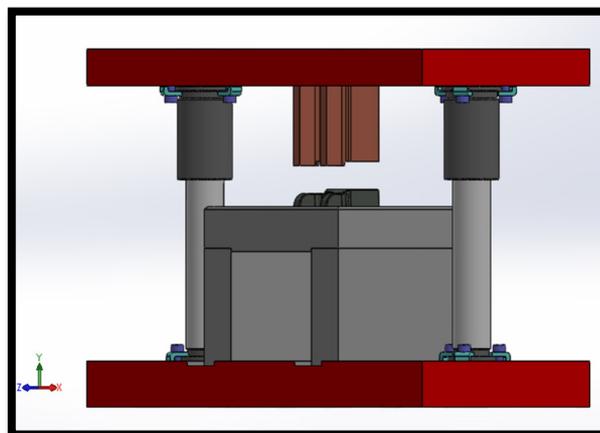
Fonte: (Próprios Autores, 2021).

Figura 24 – Vista superior no SolidWorks



Fonte: (Próprios Autores, 2021).

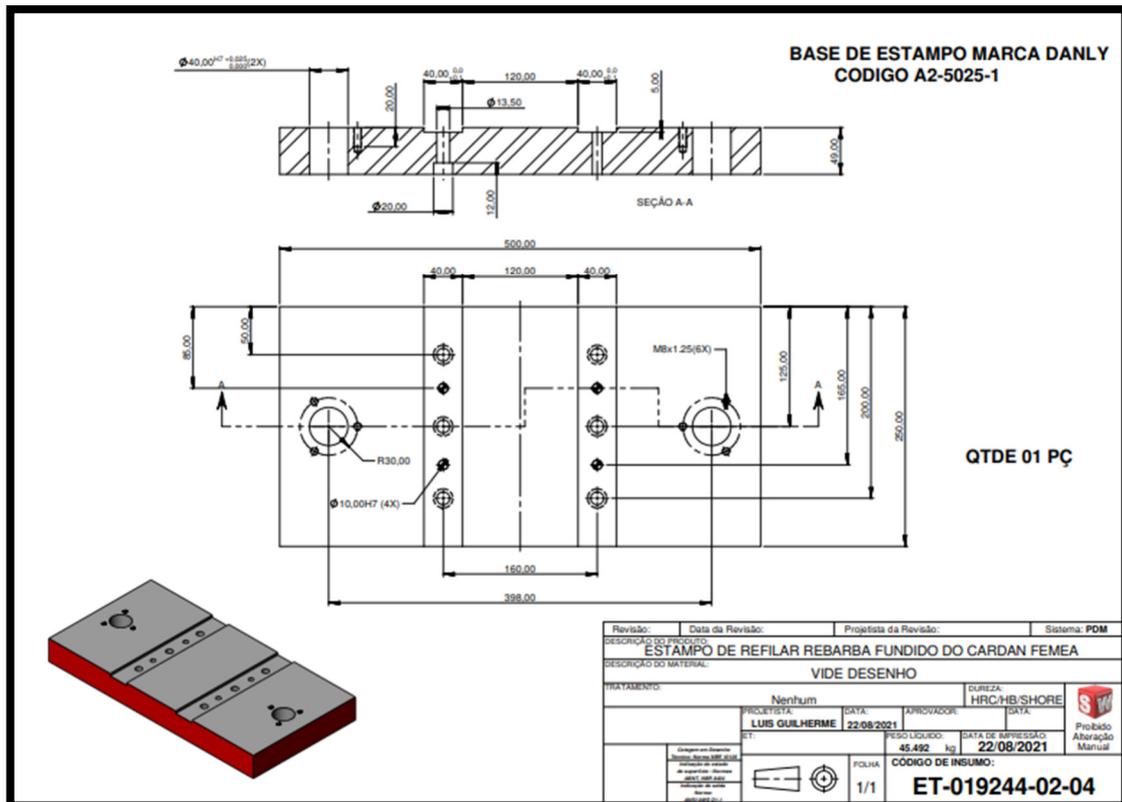
Figura 25 – Vista isométrica com detalhes no SolidWorks



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

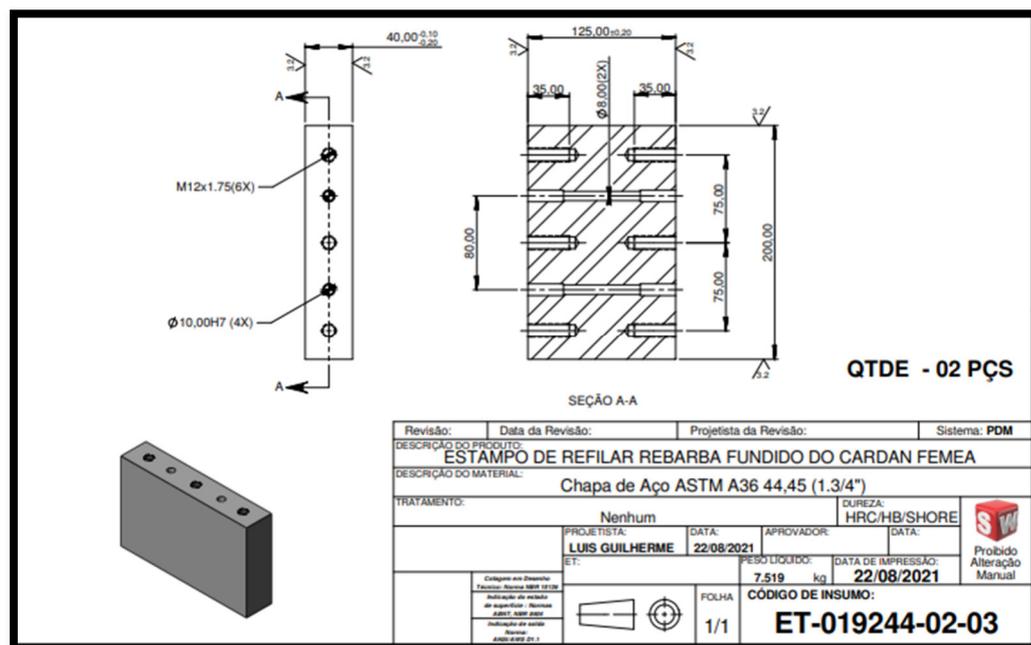
4.1.1 Desenhos das peças do protótipo

Figura 26 – Desenho ET-019244-02-04 - base do estampo



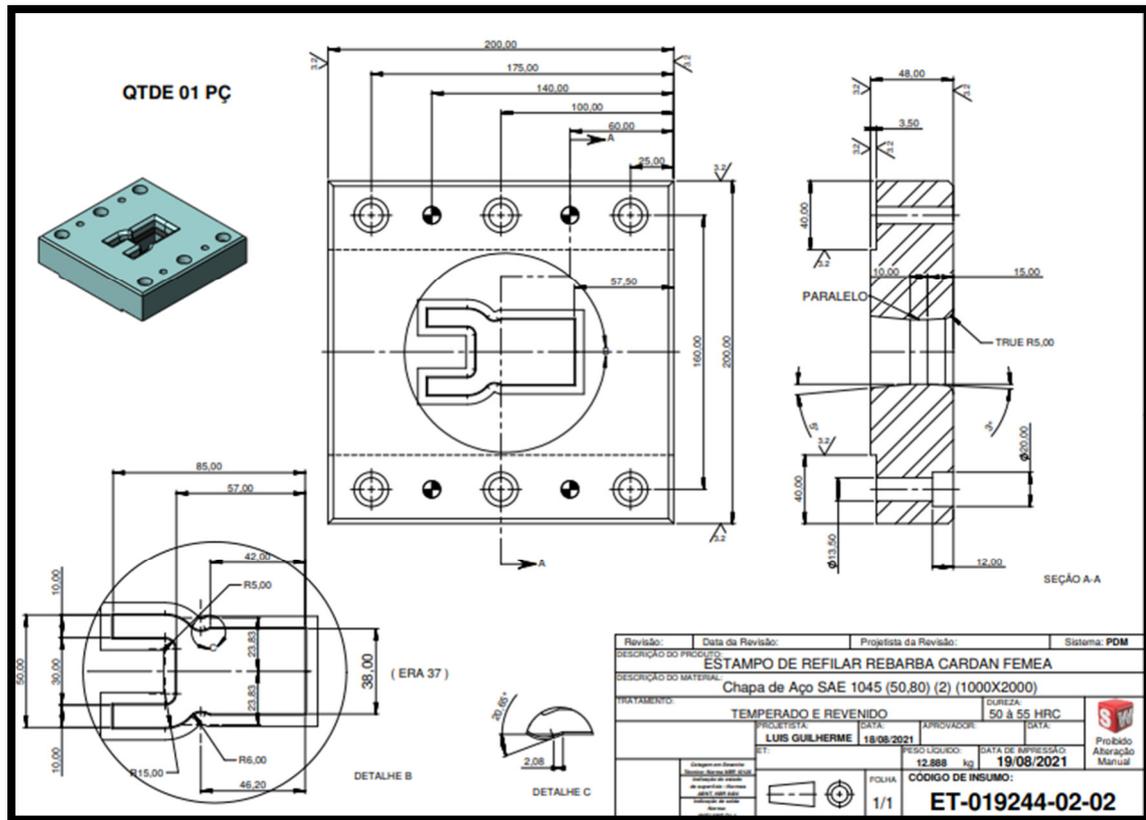
Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 27 – Desenho ET-019244-02-03 – coluna do estampo



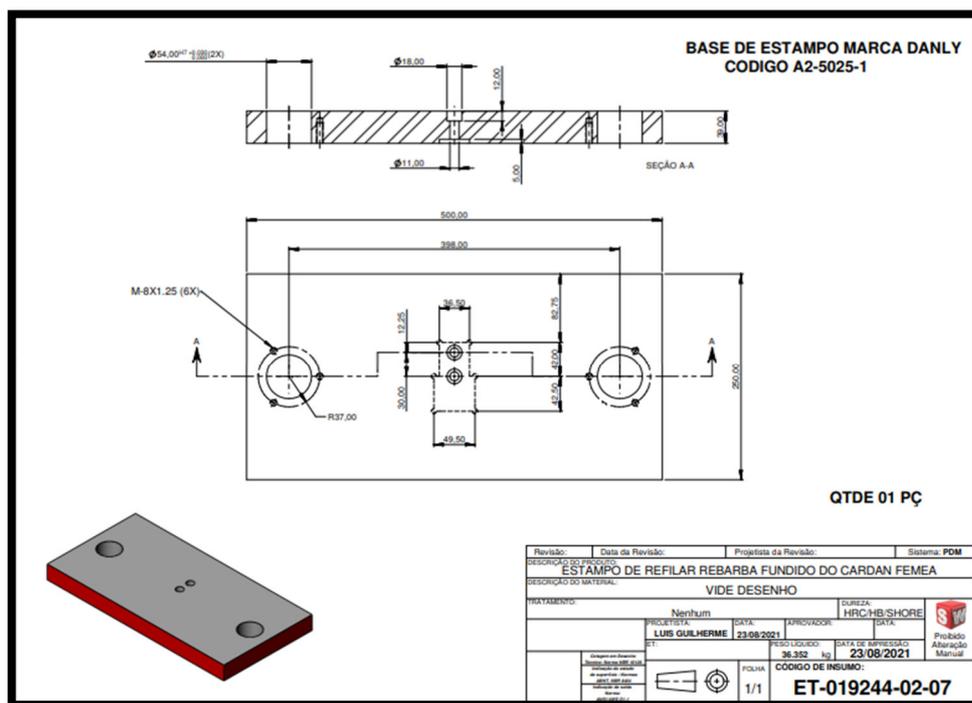
Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 28 – Desenho ET-019244-02-02 – matriz do estampo



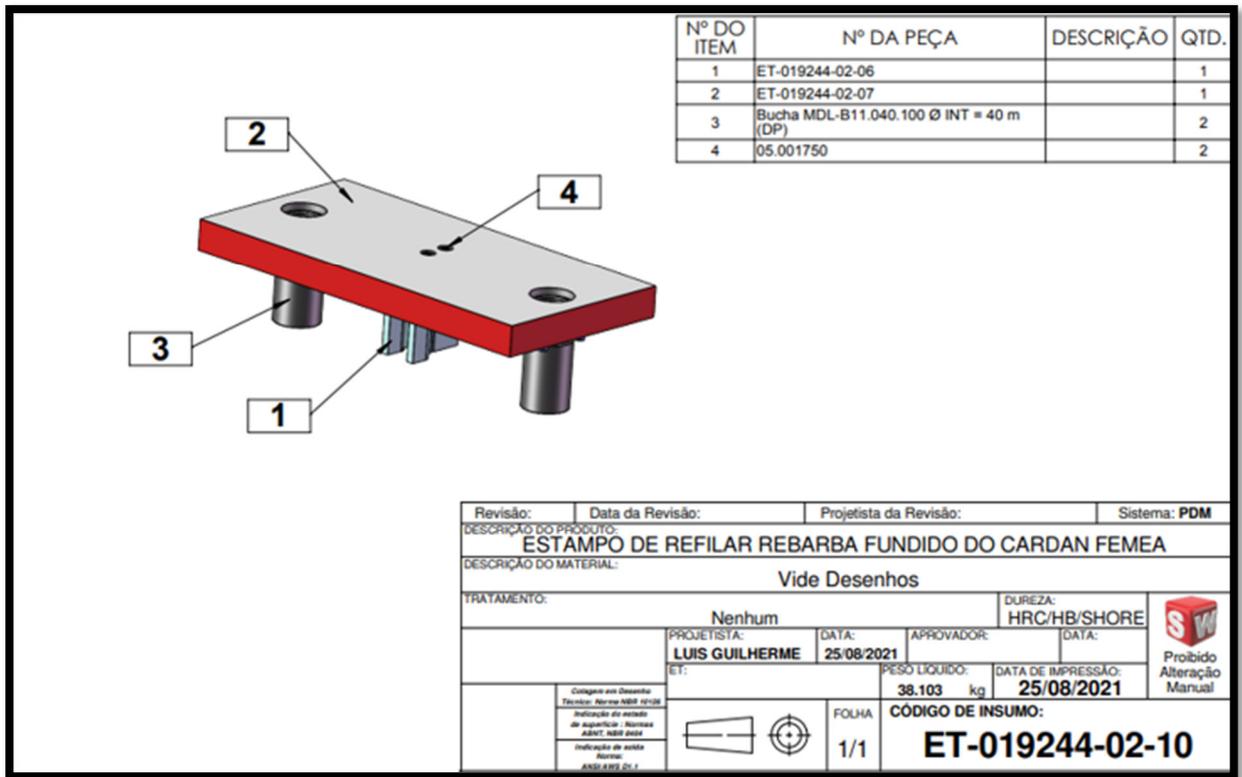
Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 29 – Desenho ET-019244-02-07 – tampa do estampo



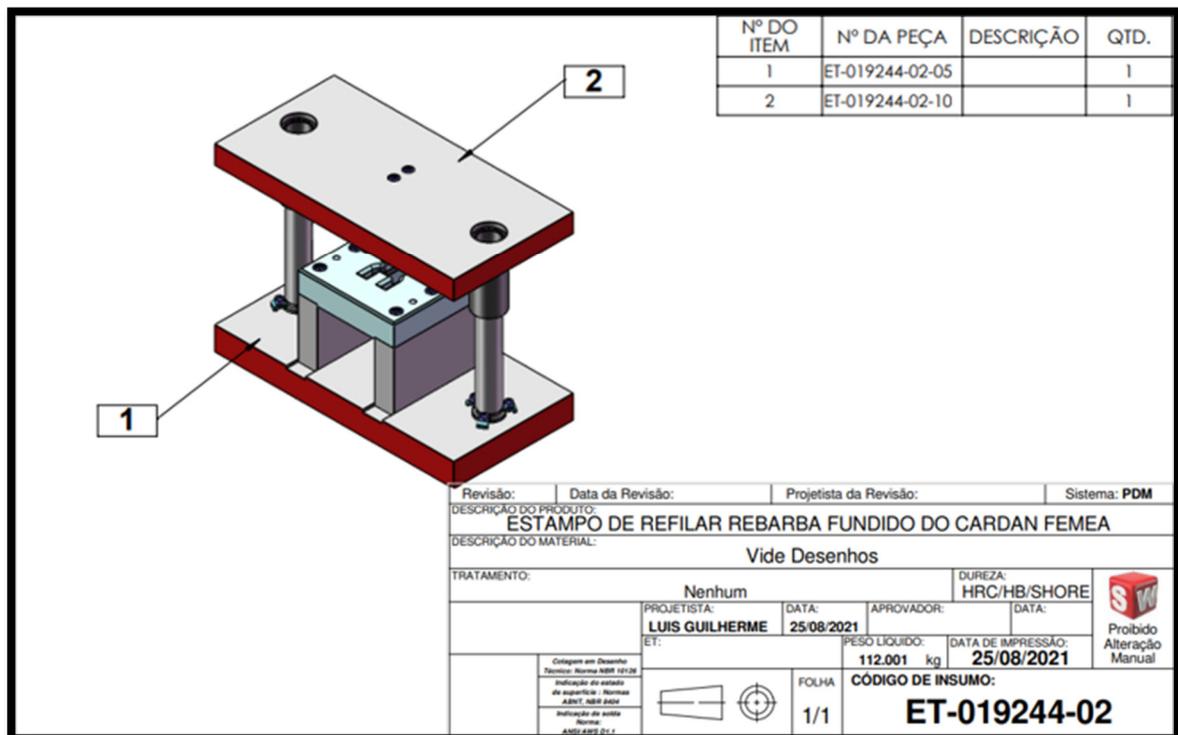
Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 32 – Desenho ET-019244-02-10 – montagem da parte superior do estampo



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 33 – Desenho ET-019244-02 – montagem total do estampo



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.2 Materiais do protótipo

Os materiais utilizados neste serão divididos em dois grupos sendo eles:

Materiais de Consumo: Sendo eles matrizes e punções feitos de aço, cujos os mesmos sofrerão desgastes devido ao grande número de ciclo de contato com o produto a ser rebarbado.

Materiais Permanentes: Serão eles a base, tampa e guias. Que serão usados como estrutura do protótipo.

4.2.1 Lista de materiais utilizados

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados na fabricação do protótipo

Materiais	Quantidade
Chapa de aço ASTM A36 44,45X500mm	4
Chapa de aço SAE 1045 50,80X250mm	2
Pino 40x220mm Marca Danly	2
Parafuso – 22 M12X65mm	12
Pino Guia 10x70mm	4
Parafuso -21 M10x65mm	2
Bucha MDL -B11.40.100 ø 40mm interno	2

Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.3 Construção do protótipo

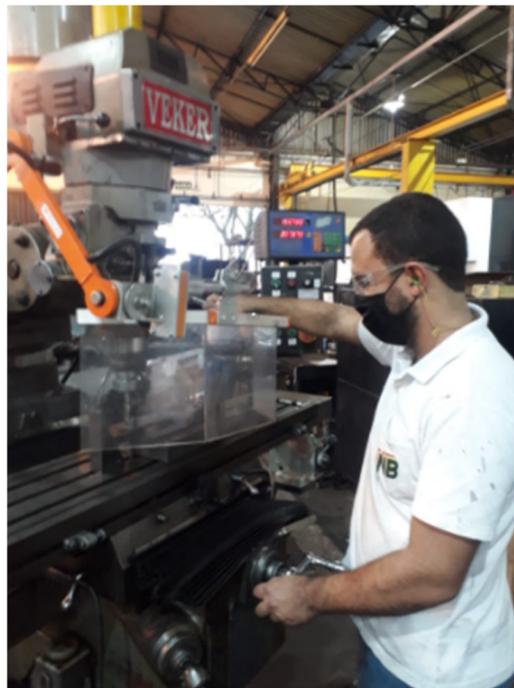
4.3.1 Fresagem base e tampa e colunas do protótipo

Figura 34 – Fresagem ET-019244-02-04 - base do estampo



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 35 – Fresagem ET-019244-02-07 – tampa do estampo



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 36 – Fresagem ET-019244-02-03 – colunas do estampo



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.3.2 Torneamento e furação das guias, pinos e bucha do estampo

Figura 37 – Torneamento e furação dos pinos e guias e bucha do estampo

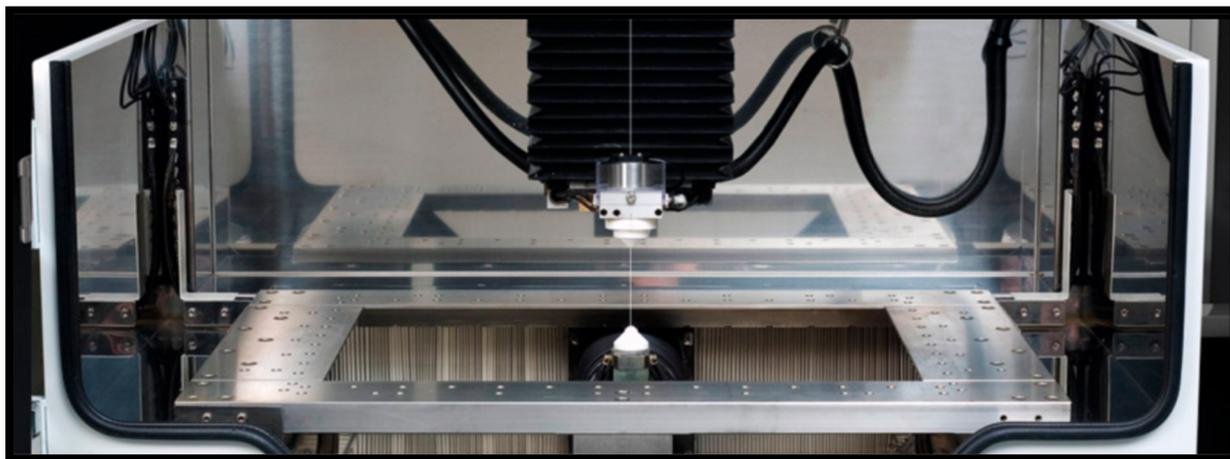


Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.3.3 Eletroerosão a fio da matriz e do macho do estampo

Todo processo de fabricação da matriz e macho do estampo foram realizados pelo processo de eletroerosão a fio realizado pela prestação de serviço da empresa **N&E Ferramentas** de Campinas-SP.

Figura 38 – Imagem ilustrativa de eletroerosão a fio



Fonte: **NE FERRAMENTAS, 2021** <https://neferramentas.com.br/> Acesso em: 25/11/2021.

4.3.4 Tratamento térmico da matriz ET-019244-02-02 e macho ET-019244-02-10 do estampo

Todo processo de tratamento térmico da matriz e do macho do estampo foram realizados pelo processo de tempera a vácuo e revenimento realizado pela prestação de serviço da empresa **Heat Tech** de Mogi das Cruzes-SP.

Os parâmetros utilizados para o tratamento térmico, realizado das peças feitas em aço SAE 1045 foi: Primeiramente realizado uma tempera que sucedeu com aquecimento em um forno a vácuo das peças, mantendo as peças em um tempo de 2 horas após o forno atingir a temperatura de 850 °C que foi mantida durante o processo. Após isso a peça foi resfriada em um tanque de polímero para completar o processo de tempera e logo depois as peças passaram pelo processo de revenimento durante 1 hora após o forno de revenimento ter atingido uma temperatura de 240 °C e mantido essa temperatura durante todo o processo de revenimento. A dureza encontrada nas peças ao final de todo processo foi de 52 HRC em ambas as peças.

4.4 Construção do protótipo

Após a fabricação de todos os componentes foi realizado a montagem seguindo a sequência demonstrada nos tópicos abaixo:

4.4.1 Montagem da base do estampo ET-019244-02-05

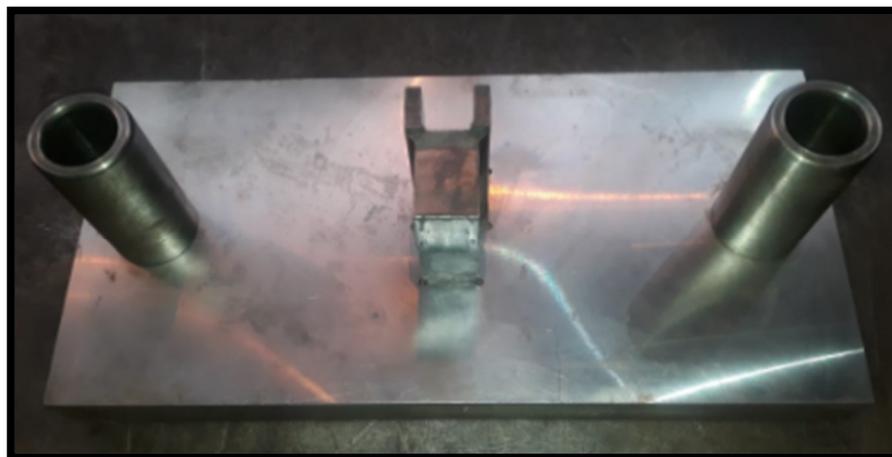
Figura 39 – Montagem da base do estampo ET-019244-02-05



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.4.2 Montagem da tampa ET-019244-02-10

Figura 40 – Montagem da tampa do do estampo ET-019244-02-10



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.4.3 Montagem completa do estampo de rebarbação ET-019244-02

Figura 41 – Montagem completa do estampo de rebarbação ET-019244-02

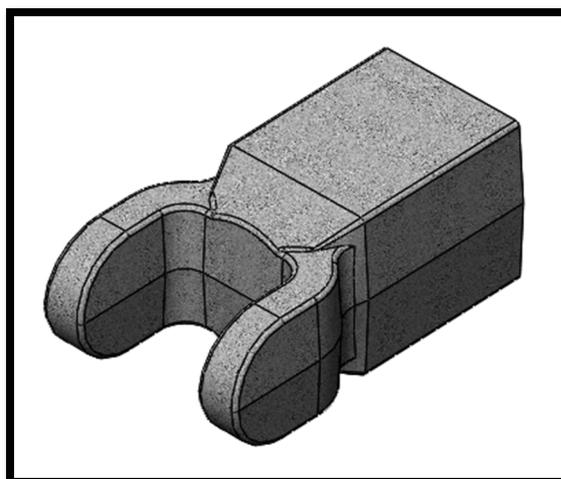


Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.5 Fabricação da fêmea do cardam fundida 03.019244

Para a realização dos ensaios foi necessário fabricar a peça denominada fêmea do cardam, cujo o dispositivo de rebarbação foi construído dedicado para realização de rebarbação desta peça fundida.

Figura 42 – Fêmea do cardam fundida em ferro fundido nodular GGG 40 03.019244 no SolidWorks



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

4.5.1 Fabricando a fêmea do cardam fundida 03.019244 no setor de fundição

Primeiramente foi moldado um conjunto de molde da fêmea do cardam com seu respectivo modelo, logo após foi fundido uma carga de material de ferro fundido GGG40 e assim que preparada foi vazada no molde da fêmea do cardam e seguindo o processo de fundição após o vazamento do metal fundido foi desmoldada a árvore das peças e assim logo após este processo foi jateada e separada as peças da árvore para aguardarem a realização dos teste de rebarbação tanto convencional quanto o novo processo de rebarbação por estampagem.

Figura 43 – Fundido o molde da fêmea do cardam



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 44 – Árvore com canais e peças da fêmea do cardam com rebarbas



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Figura 45 – Peça fundida da fêmea do cardam com rebarbas



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

5. RESULTADOS E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para validação de todo trabalho e ideia do novo conceito de rebarbação de peça fundida por estampagem realizamos ensaios comparativos entre o processo de rebarbação convencional realizado com esmeril de rebolo reto e policorte rebarbadora com o novo conceito de rebarbação por estampo levando em conta condições de trabalho para os colaboradores, tempo de rebarbação, qualidade e produtividade.

Para isso foi realizado teste para colher todos estes dados para efeito comparativos entre os dois processos, sendo o primeiro processo a se avaliar o processo convencional de rebarbação e o segundo o processo de rebarbação por estampagem.

5.1 Ensaio com rebarbação convencional com esmeril e policorte rebarbadora

Para toda remoção convencional da rebarba proveniente do processo de fundição, precisamos de duas etapas para remoção de todas as rebarbas da peça sendo elas:

- Rebarbação com esmeril de rebolo reto:

Figura 46 – Rebarbação com rebolo em um esmeril



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Tempo gasto para esta etapa de rebarbação: **17 segundos.**

- Rebarbação com a policorte rebarbadora:

Figura 47 – Rebarbação com a policorte rebarbadora



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Tempo gasto para esta etapa de rebarbação: **13 segundos**.

Logo o tempo total para a rebarbação convencional realizada no esmeril de rebolo reto mais a rebarbação no policorte rebarbador foi um total de **30 segundos**.

Figura 48 – Peça da fêmea do cardam rebarbada pelo processo convencional



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

5.2 Ensaio com rebarbação com o novo conceito de rebarbação por estampo

Para realizamos a rebarbação por estampagem levamos o estampo em uma prensa excêntrica de capacidade de 250 toneladas e posicionamos a o estampo de rebarbação na mesma.

Figura 49 – Estampo de rebarbação posicionado na prensa excêntrica de 250 toneladas



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Logo após instalada o estampo de rebarbação foi posicionado a peça com a rebarba para execução do teste de rebarbação.

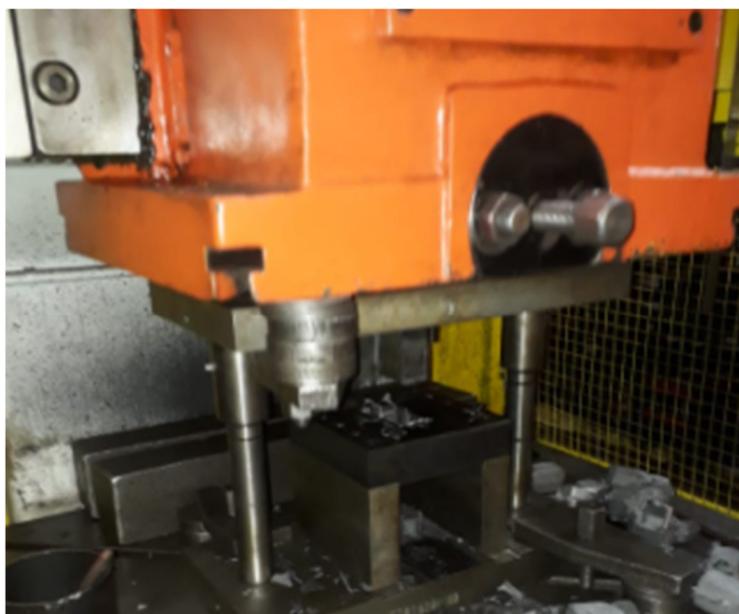
Figura 50 – Fêmea do cardam no estampo de rebarbação



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Logo após posicionado a peça a rebarbar no dispositivo, foi realizado a operação de rebarba com a execução do movimento da prensa.

Figura 51 – Execução da rebarbação da fêmea do cardam por estampagem



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

Tempo gasto para esta etapa de rebarbação: **1 segundo**.

Figura 52 – Peças da fêmea do cardam rebarbadas por estampagem



Fonte: (Próprios Autores, 2021)

5.3 Comparação entre os dois processos de rebarbação

Observando os dois processos, o processo de rebarbação convencional realizado na fundição traz muita poeira durante o seu processo, pois, o atrito da rebarba da peça com o rebolo solta partículas e poeira que fica suspensa no setor e grudada no operador. E em comparação a rebarbação por estampo não tivemos nenhum deste agentes no setor de estamparia e nem no operador, trazendo um ganho em relação a condição de trabalho no processo de rebarbação.

Em relação ao tempo gasto entre os dois processos tivemos um ganho de **29 segundos** que realizado a rebarbação por estampo sendo assim em **1 hora** teremos um aumento de produtividade em relação a rebarbação de **3480 peças por hora**.

6. CONCLUSÕES FINAIS

Analisando os resultados neste trabalho conseguimos concluir que a peça rebarbada pelo novo conceito de rebarbação por estampagem, não influenciou em nenhuma aplicação de uso final do produto rebarbado e também se obteve uma grande melhora nas condições ergonômicas e de trabalho, pois em relação as condições convencionais de rebarbação de peças fundidas que se faz de maneira toda manual a operação de rebarbação, com um processo mecanizado e automatizado melhora todos este quesitos, além melhora a velocidade de processo de fabricação e com

tudo isso melhorar o custo-benefício em relação a rebarbação e produção de peças fundidas.

Acredita-se que teremos que repensar aplicação deste trabalho em relação a peças de geometria mais complexas e de maiores porte, pois necessitaríamos de equipamentos e ferramentas auxiliares mais robustos e com elementos de apoio e gabaritação para garantir a perfeita execução da rebarbação das peças para garantir suas características de aplicações finais.

REFERENCIAS

SIEGEL, Miguel. **Fundição**. 15. ed. São Paulo: ABM, 1985.

BALDAM, Roquemar de Lima; VIEIRA, Estéfano Aparecido. **Fundição - Processos e Tecnologias Correlatas**. 2. ed. São Paulo: Érica, 2014.

KIMINAMI, Claudio; CASTRO, Walman; OLIVEIRA, Marcelo. **Introdução aos processos de fabricação de produtos metálicos** ; São Paulo: Blucher, 2013.

GROOVER, Mikell P. **Introdução ao processo de fabricação**; 1. Ed – Rio de Janeiro; LTC, 2014.

SOARES, Gloria de Almeida. **Fundição: Mercado, Processos e Metalurgia**. Rio de Janeiro: Coppe/Ufrj, 2000.

TÂMEGA, Fábio. **Fundição de processos siderúrgicos**. Londrina-PR: Educacional S.A., 2017.

RODRIGUES, Cleiton *et al* (org.). **Gestão e Controles dos Processos de Fundição**. Itaúna-Mg: Senai, 2016. (Apostila).

PENTEADO, F. Apostila processo de estampagem. Mogi das Cruzes - SP, 2008. (Apostila).

CAVERSAN, Elpidio Gilson *et al* (org.). **TECNOLOGIA DE ESTAMPAGEM 1**. Sorocaba-Sp: Fatec, 2012. (Apostila).