



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia Automotiva**

**MODELAGEM E PROJETO DE UM MARTELO DE
FORJA**

**Autores: Diego Izawa Aida
Marcos Henrique de Lima Souza
Orientador: Rhander Viana**

**Brasília, DF
2018**



**DIEGO IZAWA AIDA
MARCOS HENRIQUE DE LIMA SOUZA**

TÍTULO: MODELALGEM E PROJETO DE UM MARTELO DE FORJA

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Automotiva da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof. Rhander Viana.

**Brasília, DF
2018**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Aida, Diego Izawa; Souza, Marcos Henrique de Lima.

Título da Monografia: Modelagem e projeto de um martelo de forja / Diego Izawa Aida; Marcos Henrique de Lima Souza. Brasília: UnB, 2018. 103 p. : il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2018. Orientação: Rhander Viana

1. Martelo de forja. 2. Forjamento. 3. Solicitações mecânicas I.
Viana, Rhander. II. Modelagem e projeto de um martelo de
forja.

CDU Classificação



MODELAGEM E PROJETO DE UM MARTELO DE FORJA

Diego Izawa Aida
Marcos Henrique de Lima Souza

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Automotiva da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em (data da aprovação 04/12/2018) apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dr.: Rhander Viana, UnB/ FGA
Orientador

MSc. Danilo dos Santos Oliveira, UnB/FGA
Membro Convidado

MSc. José Henrique de Oliveira, UnB/FGA
Membro Convidado

Brasília, DF
2018

RESUMO

Este trabalho apresenta a modelagem 3D e projeto de um martelo do tipo duplação para forjamento, como também, o estudo e análise do seu mecanismo de funcionamento utilizando método dos elementos finitos. O projeto mecânico foi dividido em desenhos técnicos elaborados a partir da modelagem dos componentes da estrutura via software CAD somada à escolha dos materiais para a construção da estrutura do equipamento. Com a parte estrutural e materiais definidos, foi analisada a cinemática dos movimentos realizados pelo martelete, além da demonstração dos cálculos e resultados deste mecanismo, como por exemplo a velocidade do martelo. Além do software CAD, também foi utilizada a ferramenta CAE, para auxiliar nas análises de esforços mecânicos sofridos pela estrutura. É esperado neste projeto que o martelete que será construído posteriormente atenda as expectativas e consiga atender os objetivos estabelecidos inicialmente.

Palavras-chave: Forjamento, Modelagem 3D, Projeto mecânico, Martelete.

ABSTRACT

This work presents the modeling and design of a double action hammer for forging, as well as the study and analysis of its mechanism of operation using finite element method. The mechanical design was divided into technical drawings elaborated from the modeling of the components of the structure through CAD software added to the choice of materials for the construction of the equipment structure. With the structural part and defined materials, the kinematics of the movements performed by the hammer were analyzed, as well as the demonstration of calculations and results of this mechanism, such as hammer speed. In addition to the CAD software, the CAE tool was also used to assist in the analysis of mechanical stresses suffered by the structure. It is expected in this project that the hammer that will be built later meets the expectations and can meet the objectives set initially.

Keywords: Forging, 3D Modeling, Mechanical Design, Power Hammer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de martelo de forjamento.....	13
Figura 2. Martelo de queda livre.....	15
Figura 3. Martelo de dupla-ação.....	16
Figura 4. Diagrama de ligação do motor.....	19
Figura 5. Motor elétrico WEG.....	21
Figura 6. Ilustração dos tipos de movimento.....	21
Figura 7. Barra rígida sob movimento plano geral.....	22
Figura 8. Fluxograma do trabalho.....	23
Figura 9. Detalhes da malha.....	26
Figura 10. Análise estática.....	27
Figura 11. Análise de fadiga.....	28
Figura 12. Base de fixação/sustentação.....	31
Figura 13. Estrutura vertical.....	34
Figura 14. Estrutura horizontal móvel.....	35
Figura 15. Sistema biela manivela.....	38
Figura 16. Seção transversal da viga, Perfil I.....	39
Figura 17. Martelo completo.....	40
Figura 18. Pontos principais do martelete.....	42
Figura 19. Gráficos de velocidades.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades do Aço SAE 1020.....	17
Tabela 2. Propriedades do Aço SAE 4140.....	18
Tabela 3. Especificações do motor.....	20
Tabela 4. Valores máximos de velocidades linear e angular.....	44
Tabela 5. Cronograma do primeiro semestre de 2018.....	45
Tabela 6. Cronograma do segundo semestre de 2018.....	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Trabalho máximo produzido pela massa cadente.....	14
Equação 2. Trabalho transmitido.....	14
Equação 3. Velocidade do martelo queda livre.....	14
Equação 4. Velocidade do martelo dupla-ação.....	16
Equação 5. Velocidade do martelo dupla-ação.....	16
Equação 6. Trabalho máximo do martelo de dupla-ação.....	16
Equação 7. Posição.....	22
Equação 8. Deslocamento.....	22
Equação 9. Velocidade.....	22
Equação 10. Velocidade ponto B.....	22
Equação 11. Velocidade ponto C.....	25
Equação 12. Velocidade ponto E.....	25
Equação 13. Velocidade relativa no ponto C.....	25
Equação 14. Velocidade angular dos pontos BC.....	25
Equação 15. Velocidade angular dos pontos CDE.....	25
Equação 16. Velocidade do martelete.....	25

LISTA DE SÍMBOLOS

A	.....	Aceleração provocada pela força F (m/s ²)
F	.....	Força exercida pelo pistão (kgf)
G	.....	Aceleração da gravidade (m/s)
H	.....	Altura máxima da queda (m)
M	.....	Massa do sistema cadente (kg)
Q	.....	Peso do sistema cadente (kgf)
r	.....	Braço de alavanca de um eixo rígido
T	.....	Trabalho fornecido pelo sistema cadente (kgm)
v	.....	Velocidade linear de um corpo (m/s)
V	.....	Velocidade do instante do impacto (m/s)
ω	.....	Velocidade angular de um corpo (rad/s)
θ	.....	Ângulo de rotação da polia do motor (rad)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
1.1. OBJETIVOS	12
1.1.1. Objetivo Geral	12
1.1.2. Objetivos Específicos	12
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1. MARTELO DE FORJA.....	13
2.1.1. Funcionamento do martelo de queda livre	14
2.1.2. Funcionamento do martelo de dupla-ação	15
2.2. MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO.....	17
2.2.1. Aço SAE 1020	17
2.2.2. Aço SAE 4140	18
2.2.3. Motor de indução monofásico	19
2.3. CINEMÁTICA MULTICORPOS	21
3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	23
3.1. METODOLOGIA.....	23
3.2. MODELAGEM 3D.....	24
3.2.1. Desenhos técnicos	24
3.3. CORRELAÇÕES CINEMÁTICAS.....	24
3.4. ANÁLISES DE ESFORÇOS ESTRUTURAIS.....	26
3.4.1. Qualidade de malha	26
3.4.2. Análise estática	27
3.4.3. Análise de fadiga.....	28
4. RESULTADOS	29
4.1. LISTA DE COMPONENTES DA ESTRUTURA.....	29
4.1.1. Subgrupo 1: Base de fixação/sustentação	30
4.1.2. Subgrupo 2: Estrutura vertical	32
4.1.3. Subgrupo 3: Estrutura horizontal móvel	34
4.1.4. Subgrupo 4: Martelo e bigorna	36
4.1.5. Subgrupo 5: Sistema biela manivela	37
4.1.6. Subgrupo 6: Vigas comerciais, Perfil I.....	39
5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO	45
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS	48

1. INTRODUÇÃO

O forjamento é uma técnica de conformação mecânica bastante antiga. No início o processo era realizado de forma artesanal e totalmente manual, as ferramentas utilizadas nesta técnica eram basicamente um martelo e uma bigorna. Desta forma foram necessárias melhorias nos equipamentos envolvidos, e por isso o estudo e criação do martelete, ou martelo, para forja foi desenvolvido (MICHELS, et al, 2014).

Segundo CETLIN E HELMAN (2005), a geometria das matrizes é um fator para classificar o processo de forjamento. Existem dois grupos principais, são eles: forjamento em matriz fechada e forjamento em matriz aberta, também chamado de forjamento livre. Sendo que o forjamento por martelamento utiliza matriz aberta.

O forjamento livre é comumente utilizado na fabricação de peças com geometria simples e em pequenas quantidades. Também pode auxiliar na conformação de peças que, posteriormente, serão submetidas a processos de forjamento em matriz fechada, com formas mais complexas (BRAGA, 2005).

Os martelos de forjamento são equipamentos capazes de golpear com alta velocidade e causar impactos na peça a ser conformada. Os martelos mais comuns golpeiam pela queda livre, aproveitando a força da gravidade, somente. No entanto, para processos que necessitam maior impacto, existem equipamentos que possuem atuadores para elevar a força aplicada (MICHELS, et al, 2014).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é a modelagem e projeto mecânico de um martelo para forjamento. A utilidade desta ferramenta é conseguir alcançar maiores produtividades no processo citado, como também otimizar as deformações na peça a ser trabalhada, cuja maior aplicabilidade para o martelete deste projeto é o forjamento de facas.

1.1.2. Objetivos Específicos

Definir os materiais utilizados na construção do martelete visando a obtenção de uma ferramenta eficaz, como também, provida de uma vida útil desejável. A escolha dos materiais é necessária para resistir as solicitações mecânicas da ferramenta.

Projetar toda a estrutura e estudar a cinemática envolvida no equipamento, e posteriormente desenvolver a relação de transmissão para determinada frequência de contato entre martelo e peça. Além de analisar, por meio de elementos finitos, as reações, deformações e tensões envolvidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. MARTELO DE FORJA

O martelo para forjamento é utilizado para deformar metais, tal procedimento acontece através dos golpes sucessivos e rápidos aplicados na superfície do material a ser conformado. De acordo com DIETER (1981), é necessária uma massa de 500 a 22 mil quilos para proceder a operação, esta massa é equivalente a energia fornecida para o martelo. A frequência das marteladas é entre 60 e 160 golpes por minuto, sendo que depende do tamanho e capacidade do equipamento.

Os marteletes de forja possuem diferentes portes, a altura em que a massa fica suspensa antes de uma queda livre varia de 1 a 3,5m (CETLIN e HELMAN, 2005). A figura (1) ilustra os três tipos mais comuns de martelo, segundo MICHELS et al (2014), as classificações que os martelos podem ter são:

- Martelo de queda livre: Toda a energia resultante aplicada no objeto é determinada pela massa e altura inicial do martelo, sendo que ele é suspenso por sistemas pneumático, hidráulico, engrenagens dentre outros, seguido da queda livre devido à gravidade.
- Martelo de dupla-ação: Também utiliza a altura e massa para golpear, no entanto, possui um sistema dedicado para acelerar o martelo antes da queda livre.
- Martelo de contra-golpe: Segue o mesmo princípio dos anteriores, entretanto, é adicionada uma carga na parte inferior (prancha) fazendo a peça contra golpear o martelo.

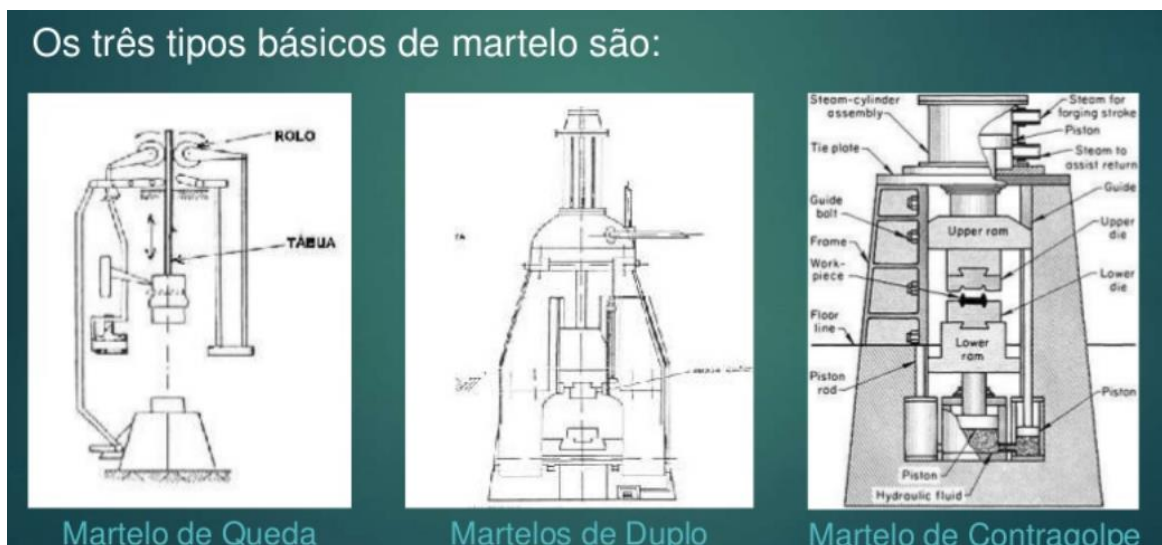


Figura 1 - Tipos de martelo de forjamento (Fonte: SANA, 2014).

2.1.1. Funcionamento do martelo de queda livre

A estrutura desta ferramenta é consistida em colunas dispostas verticalmente em uma base, onde são montados os suportes e guias para a massa cadente (martelo) e a prancha (bigorna), e um sistema destinado à elevação do martelo até a altura projetada como pode ser observado na figura (2) (BRESCIANI, 1991).

Como afirma BRESCIANI (1991), o acionamento do mecanismo de elevação é comumente efetuado através de um pedal, facilitando o manuseio da peça com as mãos. São vários os sistemas utilizados para elevar o martelo até o topo, o mais comum, e mais simples, é por meio de correia (cinta) fazendo a ligação entre polia do motor com a polia de redução da manivela. Há também o sistema que utiliza ar comprimido para elevar a massa, este é mais rápido do que o mecanismo que utiliza correia.

O cálculo do trabalho máximo produzido pela massa cadente é descrito pela equação (1), sendo que é igual a capacidade nominal do martelo. Tal trabalho depende do peso gerado pela massa e da velocidade final quando o martelo toca a peça (BRESCIANI, 1991).

$$T = Q.H \quad (1)$$

A equação (2) representa o trabalho que pode ser transmitido (ou energia de golpe), que é expresso pela energia cinética disponível antes do impacto.

$$T = \frac{M.V^2}{2} = \frac{Q.V^2}{2} \quad (2)$$

A velocidade para a queda livre é calculada pela equação (3).

$$V = 2.g.H \quad (3)$$

O martelo de queda livre tem suas limitações, já que a energia aplicada à peça depende somente da altura e da massa máxima em que ela é elevada

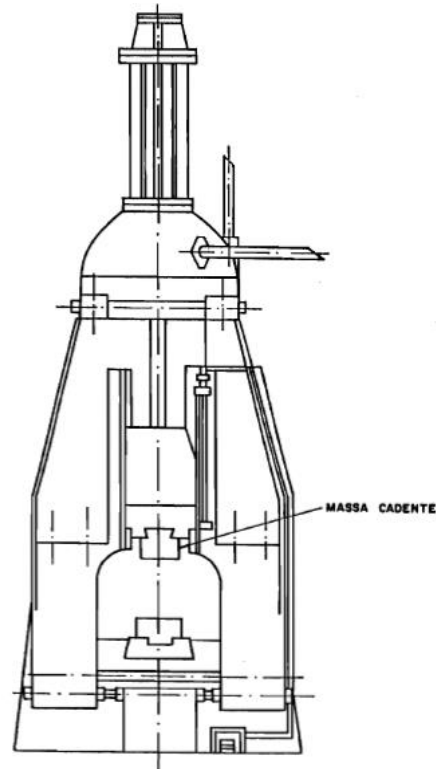


Figura 2 - Martelo de queda livre (Fonte: adaptado de BRESCIANI, 1991)

2.1.2. Funcionamento do martelo de dupla-ação

Para PAIVA (2009), a diferença entre o martelo de queda livre e o martelo de dupla-ação, ilustrado na figura (3), está no mecanismo que executa seus respectivos movimentos. Sendo que o sistema deste último é projetado para que acaha uma aceleração no instante da queda da massa. Com isso, a energia resultante do impacto não é causada somente pelo peso do martelo, mas sim pela soma desta força com a aceleração produzida pelo mecanismo. Seja pneumático, hidráulico ou por sistemas de correia e manivela.

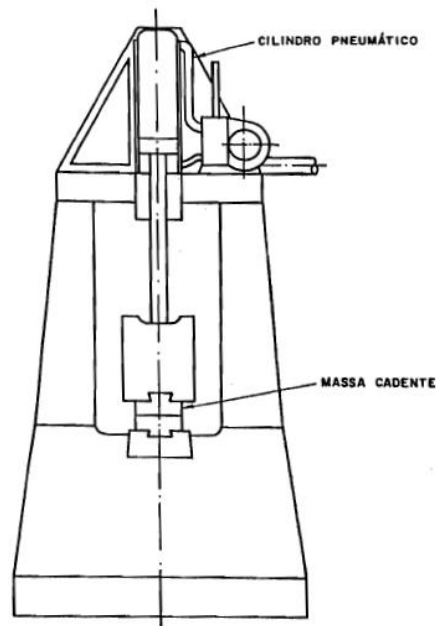


Figura 3 - Martelo de dupla-ação (Fonte: adaptado de BRESCIANI, 1991)

Em um sistema pneumático a massa suspensa é conectada a um pistão contido em um cilindro no topo do martelo. O pistão é acionado e o sistema de válvulas do cilindro pode ser controlado de modo a acelerar ou desacelerar a massa. Por isso, o golpe aplicado à peça varia de acordo com a necessidade, fato que não ocorre no martelo de queda livre. A força exercida pelo pistão pode chegar a vinte vezes o peso da massa cadente (PAIVA, 2009).

A velocidade do martelo é calculada pelas equações (4) e (5).

$$V = 2(g + a).H \quad (4)$$

Como: $a = F/M$ e $M = Q/G$, então:

$$V = 2.g.H \left(1 + \frac{F}{Q} \right) \quad (5)$$

Portanto, a equação (6) representa o trabalho máximo:

$$T = \frac{m.V^2}{2} = m.g.H \left(1 + \frac{F}{Q} \right) = (Q + F).H \quad (6)$$

2.2. MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO

2.2.1. Aço SAE 1020

O aço 1020 é um aço carbono que por vezes é referido como "aço doce". Define-se como SAE 1020 o aço que possui em média 0,2% de carbono em sua composição e nenhum outro elemento de liga apreciável. O aço carbono é a maior parte da produção de aço e é usado em uma ampla gama de aplicações, como também é um dos melhores custo benefício do mercado (PEARLITE STEEL, 2018).

Normalmente, os aços carbono são rígidos e fortes, além de serem fáceis de soldar em relação ao alumínio e aços inoxidáveis. A resistência à corrosão dos aços carbono é baixa, ou seja, oxidam facilmente e, portanto, eles não devem ser usados em um ambiente corrosivo, a menos que alguma forma de revestimento protetor seja usada (PILLIS et al 2012).

2.2.1.1. Propriedades do Aço SAE 1020

Para melhor ilustração dos valores referentes ao aço carbono mencionado, foi elaborada uma tabela (1) contendo informações sobre as respectivas propriedades.

Tabela 1 - Propriedades do Aço SAE 1020 (Fonte: SHIGLEY et al., 2005)

Propriedades do Aço SAE 1020		
	Laminado a quente	Repuxado a frio
Resistência à tração [MPa]	380	470
Resistência ao escoamento [MPa]	210	390
Dureza Brinell	111	131
Densidade [g/cm ³]	7,87	
Módulo de elasticidade [GPa]	207	
Coefficiente de Poisson	0,292	

2.2.2. Aço SAE 4140

O AISI/SAE 4140 é um aço liga que possui Cromo ($\approx 1\%$) e Molibdênio ($\approx 0,2\%$) em sua composição, além de $0,4\%$ de Carbono em média. É usado em aplicações que exigem um combinação de moderada temperabilidade e boa resistência e tenacidade. No entanto, se tratando de usinabilidade e soldabilidade não é bom (ASM Handbook, 1990).

O forjamento do aço 4140 pode ser prontamente feito, geralmente entre 1100 e 1200 °C, e a temperatura de acabamento não deve estar abaixo de 980 °C. As peças devem ser resfriadas lentamente após a conformação a quente. Após o processo de forjamento, este aço passa a ter boa soldabilidade usando qualquer um dos métodos de soldagem padrão (ASM Handbook, 1990).

2.2.2.1. Propriedades do Aço SAE 4140

As propriedades deste aço varia de acordo com o tratamento térmico envolvido no processo de obtenção. As informações da tabela (2) são referentes a um tratamento específico.

Tabela 2 - Propriedades do Aço SAE 4140 temperado e revenido a 205°C (Fonte: SHIGLEY et al., 2005)

Propriedades do Aço SAE 4140 temperado e revenido a 205°C	
Resistência à tração [MPa]	1770
Resistência ao escoamento [MPa]	1640
Dureza Brinell	510
Módulo de elasticidade [GPa]	210
Densidade [g/cm ³]	7,85
Coefficiente de Poisson	0,7 a 0,3

2.2.3. Motor de indução monofásico

Os motores de indução monofásicos podem ser para uso residencial (doméstico) e até para grandes indústrias, são construídos para suprir a necessidade de movimento de rotação em situações onde é disponibilizada apenas uma única fase de corrente alternada (UMANS, 2014).

É sabido que esses motores não possuem grande faixa de escolha para maiores potências. Existem diversos tipos de motores monofásicos, porém, os motores com rotor tipo gaiola destacam-se pela simplicidade de fabricação e, principalmente, pela robustez e manutenção reduzida (TORO, 1999).

2.2.3.1. Funcionamento

O motor monofásico não apresenta campo girante, e sim um campo magnético pulsante. Para o motor iniciar sua partida necessita de enrolamentos e capacitor auxiliares, originando um campo girante e conjugado suficiente para fazê-lo sair do repouso (MENDONÇA, 2012).

Uma chave é responsável por desligar o enrolamento auxiliar depois da partida do motor. Para aplicações mais exigentes é feita uma ligação em série entre um capacitor e o enrolamento auxiliar. Na figura (4), está representado o circuito elétrico equivalente deste processo (MENDONÇA, 2012).

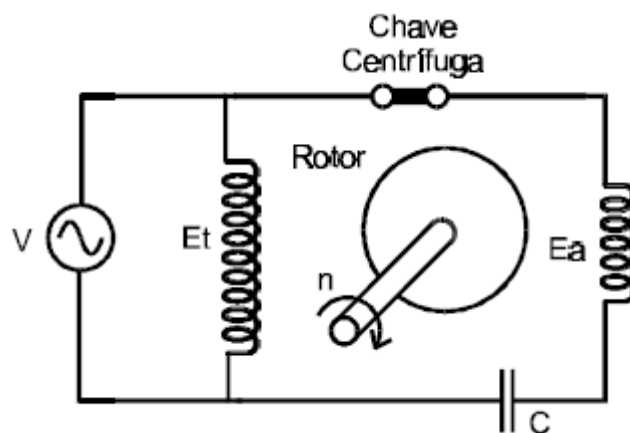


Figura 4 - Diagrama de ligação do motor, Et (enrolamento de trabalho), Ea (enrolamento auxiliar) e C (capacitor) (MENDONÇA, 2012)

A inversão do sentido de giro do motor é realizada através da inversão da ligação do enrolamento auxiliar (MENDONÇA, 2012).

2.2.3.2. Especificação do motor escolhido

Para o funcionamento do mecanismo do martelo para forja, foi escolhido o motor WEG W22 (IP55), que a seguinte especificação: W22 2 cv 4P 100L 1F 220/440 V 60 Hz IC411 - TFVE - B3D.

Este motor é de indução monofásico com 2 cv de potência. A tabela (3) descreve suas principais características e a figura (5) ilustra a escolha.

Tabela 3 - Especificações do motor (WEG, 2018)

Principais especificações do motor WEG W22			
Carcaça	100 L	Fator de serviço	1,15
Potência	2 cv	Elevação de temperatura	80 K
Número de polos	4	Método de partida	Direta
Frequência	60 Hz	Altitude	1000 m
Rotação nominal	1745 rpm	Refrigeração	IC411 - TFVE
Tensão nominal	220/440 V	Sentido de rotação	Ambos
Corrente nominal	9,52/4,76 A	Nível de ruído	58 dB
Corrente de partida	68,5/34,3 A	Massa aproximada	36,6 kg
Ip/In	7,2	Grau de proteção	IP55
Classe de isolamento	F	Temperatura ambiente	-20°C a +40°C



Figura 5 - Motor elétrico WEG W22 (IP55) monofásico de 2cv (Fonte: WEG, 2018)

2.3. CINEMÁTICA MULTICORPOS

Foram observados três tipos básicos de movimento, identificados na figura (6), aos quais as partes do martelete estão submetidas: translação, rotação em torno de um eixo fixo e movimento plano geral.

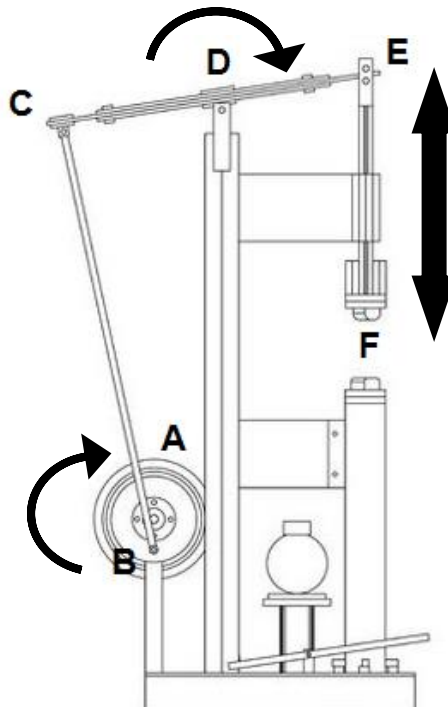


Figura 6 - Ilustração dos tipos de movimento e os pontos principais (Fonte: Bolshoy, 2011).

De acordo com HIBBELER (2011), a translação ocorre quando ao observar a posição original de cada ponto sobre o corpo e as posições que estes pontos ocupam durante o trajeto, estas permanecem sempre paralelas, sendo que ao se moverem como linhas paralelas, descrevem uma translação retilínea, enquanto que ao se manterem constantes ao longo de curvas, temos uma translação curvilínea.

A rotação em torno de um eixo fixo ocorre quando um corpo de movimento de forma que cada ponto ao longo deste corpo descreve uma trajetória circular em torno do eixo de rotação (HIBBELER, 2011).

Já o movimento plano geral ocorre quando o corpo sofre uma combinação tanto de translação quanto de rotação (HIBBELER, 2011).

Para uma barra AB qualquer, como a representada na figura (7), a posição, deslocamento e velocidade relativos de B em relação a A, podem ser dados, respectivamente pelas equações (7), (8) e (9) a partir das quais, conhecendo-se a uma dessas grandezas em um ponto específico de qualquer sistema multicorpos, é possível obter a mesma grandeza em qualquer ponto ao longo do sistema, pois aplicam-se a casos onde um corpo rígido em movimento plano geral esteja conectado a outros corpos em movimento.

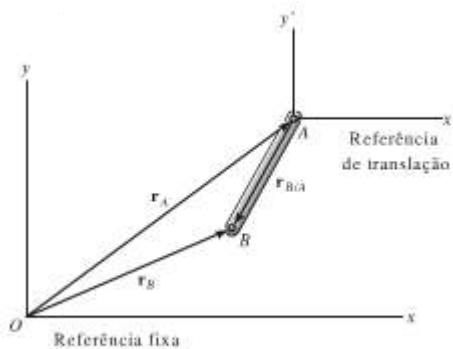


Figura 7 - Barra rígida sob movimento plano geral (Fonte: Hibbeler, 2011).

$$r_B = r_A + r_{\frac{B}{A}} \quad (7)$$

$$dr_S = dr_A + dr_{\frac{S}{A}} \quad (8)$$

$$V_B = V_A + V_{\frac{B}{A}} \quad (9)$$

3. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

3.1. METODOLOGIA

Serão apresentadas as etapas necessárias para a modelagem e projeto do martelo de forjamento, são elas:

- **Escolha dos materiais utilizados para a construção;**
- **Modelagem 3D de todos os componentes estruturais;**
- **Gerar desenhos técnicos referentes aos componentes seguindo as normas ABNT;**
- **Analisar por meio computacional as solicitações mecânicas e o cinematismo; e**
- **Calcular a relação de transmissão.**

A figura (8) ilustra o fluxograma das etapas envolvidas neste projeto.

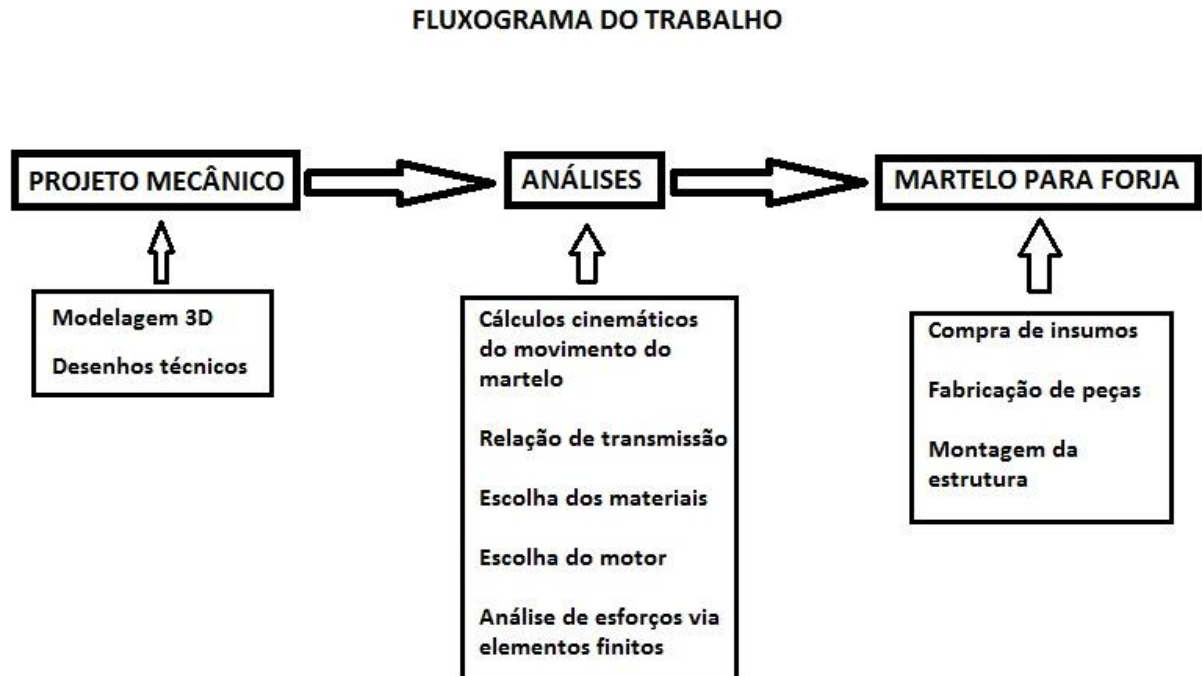


Figura 8 - Fluxograma do trabalho (Fonte: Autores, 2018).

As etapas, modelagem e análises, deste trabalho de conclusão de curso foram realizada inteiramente em ambientes computacionais. Com destaque para o software CATIA V5 R19 e ANSYS WORKBENCH 16.0.

3.2. MODELAGEM 3D

O programa auxiliar mais utilizado foi o já citado software modular CATIA V5 R19 (Computer-Aided Three-Dimensional Interactive application, Aplicação Interativa Tridimensional Auxiliada por Computador, em tradução livre), tendo sido utilizado seu módulo CAD (Computer Aided Design, Desenho Assistido por Computador, em tradução livre) para a geração tanto de figuras tridimensionais quanto de desenhos técnicos.

Inicialmente, foi desenvolvido, no espaço "part design" um modelo tridimensional de cada peça do martelo de forja, visando futura montagem do modelo para simulações referentes ao dimensionamento, solicitações mecânicas ao qual este seria submetido, assim como relações de cinematisimo presentes.

3.2.1. Desenhos técnicos

A partir dos modelos tridimensionais, foi utilizado o espaço "drafting" para a geração de modelos de desenho técnico para cada peça, de forma a possibilitar uma fácil visualização e entendimento para confecção das peças e montagem da estrutura.

3.3. CORRELAÇÕES CINEMÁTICAS

Para o estudo do funcionamento cinemático e grandezas pertinentes do martelo de forja, tais como velocidade linear da ponta do martelo e velocidade angular de suas partes que giram em torno de pontos fixos, foi possível aproximar o modelo deste martelo, representado na figura (9) e seus pontos principais, identificados de A a F, para um sistema multicorpos rígido em movimento plano, de forma a ser possível analisá-lo vetorialmente, de acordo com os tamanhos de

alavanca de suas barras e rotação inicial de um ponto qualquer, sendo tomado aqui, de início, a roda A, a partir da qual, com a velocidade angular, que pode ser obtida a partir de seu raio e sua rotação, é possível calcular a velocidade do martelo para qualquer posição, ao longo da roda, que o ponto B se encontre. Sendo que, caso necessário, também é possível realizar o caminho inverso, calculando as velocidades angulares de qualquer ponto, através da velocidade linear do martelo.

Sabendo-se que tanto a roda A quanto a viga CDE rotacionam em eixos fixos, é possível determinar a velocidade linear dos pontos B, C e E através das equações (10), (11) e (12).

$$V_B = \omega \cdot r_B \quad (10)$$

$$V_C = \omega_{CDE} \cdot r_{DC} \quad (11)$$

$$V_E = \omega_{CDE} \cdot r_{DE} \quad (12)$$

Aplicando o conceito de velocidade relativa e tendo como base a equação (11), consegue-se obter a velocidade angular das vigas CDE e BC em torno de seus centros instantâneos. Com isso, os resultados das equações ω_{bc} e ω_{cde} são obtidos, como mostrado nas equações (14) e (15). A partir das quais, finalmente têm-se a velocidade do martelo, de acordo com o resultado da equação (16).

$$V_C = V_B + \omega_{BC} \cdot r_{\frac{C}{B}} \quad (13)$$

$$\omega_{BC} = \frac{\omega \cdot R_B}{R_{BC} \cdot \left(\frac{R_{DCH} \cdot \sin \theta}{R_{DCV}} - \cos \theta \right)} \quad (14)$$

$$\omega_{CDE} = \frac{\omega_{DC} \cdot R_{BC} \cdot \sin \theta}{R_{DCV}} \quad (15)$$

$$VM = \frac{r_{DE} \cdot \omega \cdot r_B \cdot \sin \theta}{r_{DCH} \cdot \sin \theta - r_{DCV} \cdot \cos \theta} \quad (16)$$

3.4. ANÁLISES DE ESFORÇOS ESTRUTURAIS

Para a realização desta etapa foi utilizado o software Ansys Workbench 16.0, cujo intuito foi analisar estaticamente a estrutura do martetele e sua vida em fadiga. Os modelos desenhados em 3D no projeto mecânico foram unidos através da montagem¹ realizada no software CATIA V5 R19 para obter um produto simplificado do martelo para forjamento.

3.4.1. Qualidade de malha

A precisão numérica das simulações depende principalmente da métrica da malha aplicada no objeto. A qualidade da malha é definida por tamanho do elemento, geometria do elemento, quantidade de nós e outros fatores. Utilizando a ferramenta *Element Quality* do software Ansys 16.0 foi possível observar a qualidade da malha implementada nos modelos a serem analisados, os valores estão ilustrados na figura (9).

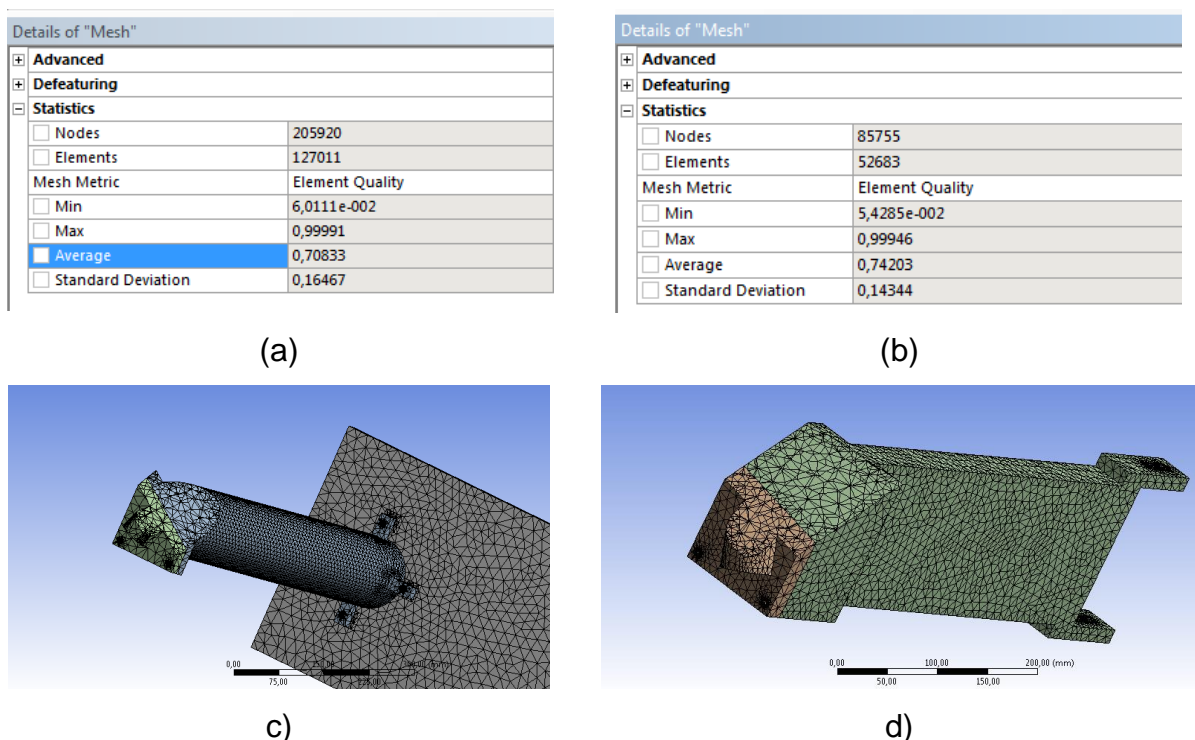


Figura 9 - Detalhes da malha: a) Estatística da malha da base da estrutura, b) Estatística da malha do martelo, c) Geometria da malha da base da estrutura, d) Geometria da malha do martelo (Fonte: Autores, 2018)

¹ Assemblagem é um termo utilizado para definir a montagem/colagem de elementos tridimensionais.

3.4.2. Análise estática

Para a análise estática, foram aplicadas as seguintes condições de contorno: a base da estrutura totalmente engastada, assim como o suporte do martelo, e foi aplicado uma carga de 225N tanto no martelo quanto na base onde acontece o impacto. A partir da velocidade do martelo calculada pelo código descrito no Anexo I, pôde-se calcular esta força aplicada utilizando a massa do martelo e a aceleração gerada pelo sistema biela manivela.

Os materiais utilizados foram caracterizados no software com os valores apresentados nas tabelas (1) e (2).

O critério de von Mises foi utilizado para a obtenção da tensão e da deformação da estrutura. Para a bigorna resultou-se aproximadamente 75,8kPa e 0,000000381mm de tensão e deslocamento respectivamente. Já para o martelo foi obtido aproximadamente 757,17kPa e 0,000003659mm de tensão e deslocamento respectivamente como mostra a figura (10).

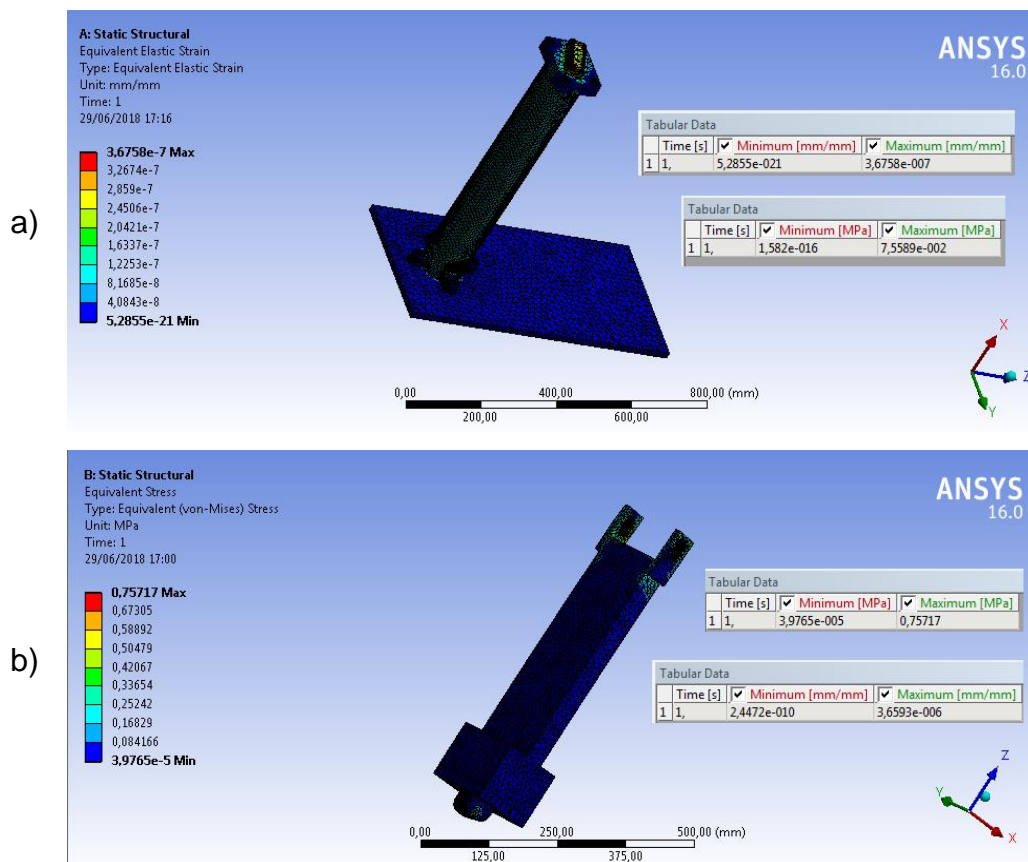


Figura 10 - a) Tensão e deformação da base/bigorna, b) Tensão e deformação do martelo (Fonte: Autores, 2018)

3.4.3. Análise de fadiga

Com a obtenção das análises estáticas da estrutura realizou-se a análise de fadiga com o material definido como padrão do Ansys 16.0, o aço estrutural. Não foi possível realizar a análise de fadiga com os aços SAE 1020 e 4140 devido a ausência de informações a respeito da curva de Wöhler. Para os aços, a vida infinita é considerada a partir de 10^6 ciclos, fato que ocorreu na análise de ambas estruturas, como mostra a figura (11).

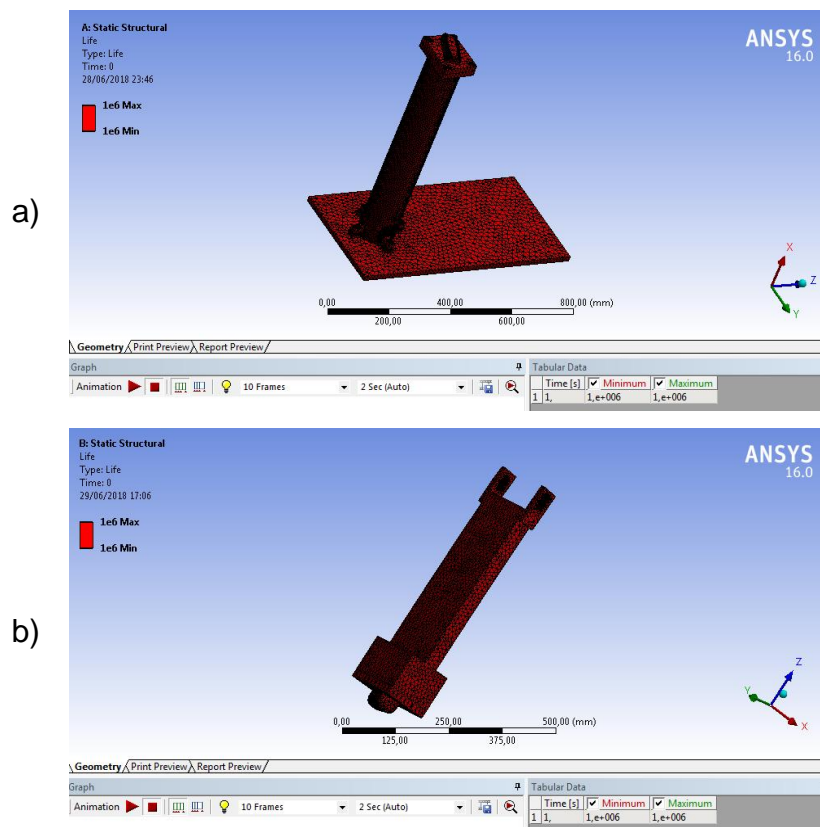


Figura 11 - a) Análise de fadiga da base/bigorna, b) Análise de fadiga do martelo (Fonte: Autores, 2018)

4. RESULTADOS

4.1. LISTA DE COMPONENTES DA ESTRUTURA

Para a construção de um produto há necessidade de elaborar uma lista de materiais, esta é a melhor forma de representar os componentes envolvidos no projeto. Na lista de materiais é possível observar a integralização dos elementos de toda a concepção do produto final (FILHO E MARÇOLA, 1996). Diante disso, foi elaborada a tabela (4) ilustrando os componentes dos subgrupos definidos.

Com os resultados obtidos no capítulo 3, os materiais para cada subgrupo foram definidos de acordo com a tensão resultante das análises em cada peça. Sendo assim:

Base de fixação/sustentação (Subgrupo 1): Aço SAE 1020

Estrutura vertical (Subgrupo 2): Aço SAE 1020

Estrutura horizontal móvel (Subgrupo 3): Aço SAE 1020

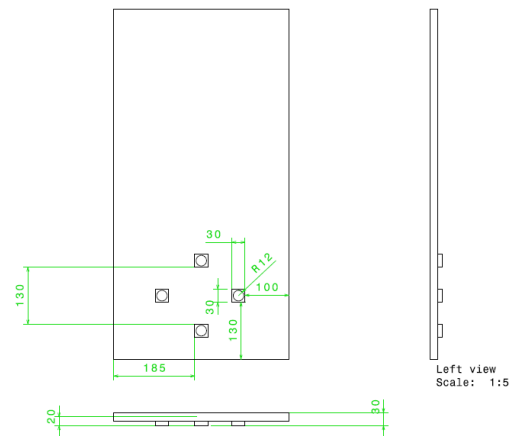
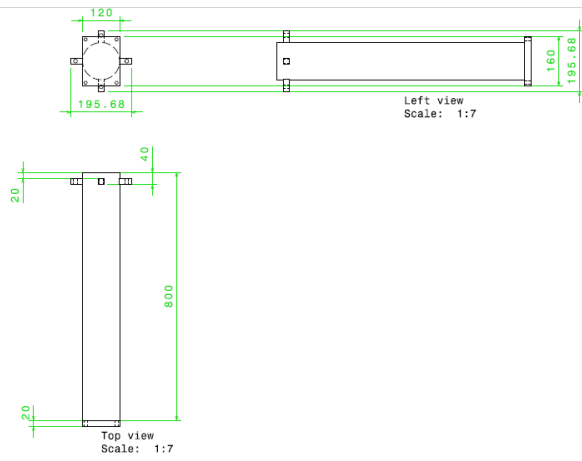
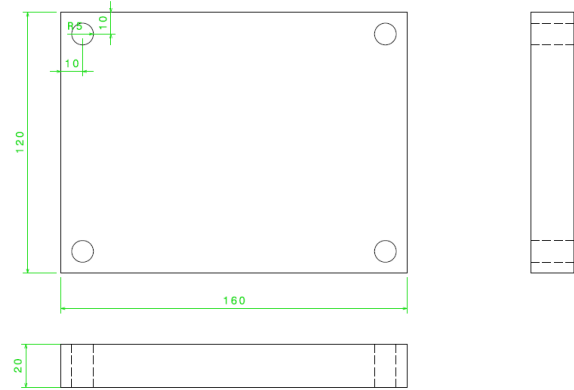
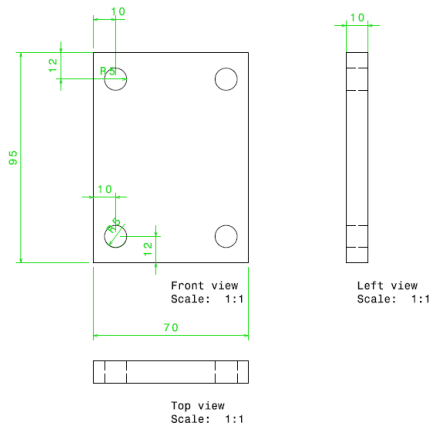
Martelo e bigorna (Subgrupo 4): Aço SAE 4140

Sistema biela manivela (Subgrupo 5): Aço SAE 1020

Vigas comerciais, Perfil I (Subgrupo 6): Aço ASTM A 572 Grau 50

Nos subitens a seguir, serão apresentados os desenhos técnicos correspondentes a cada subgrupo determinado, as medidas especificadas estão na unidade milímetros (mm).

4.1.1. Subgrupo 1: Base de fixação/sustentação



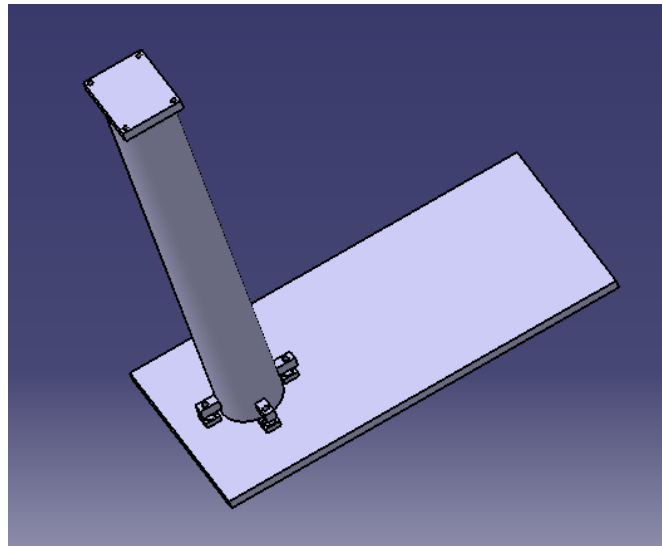
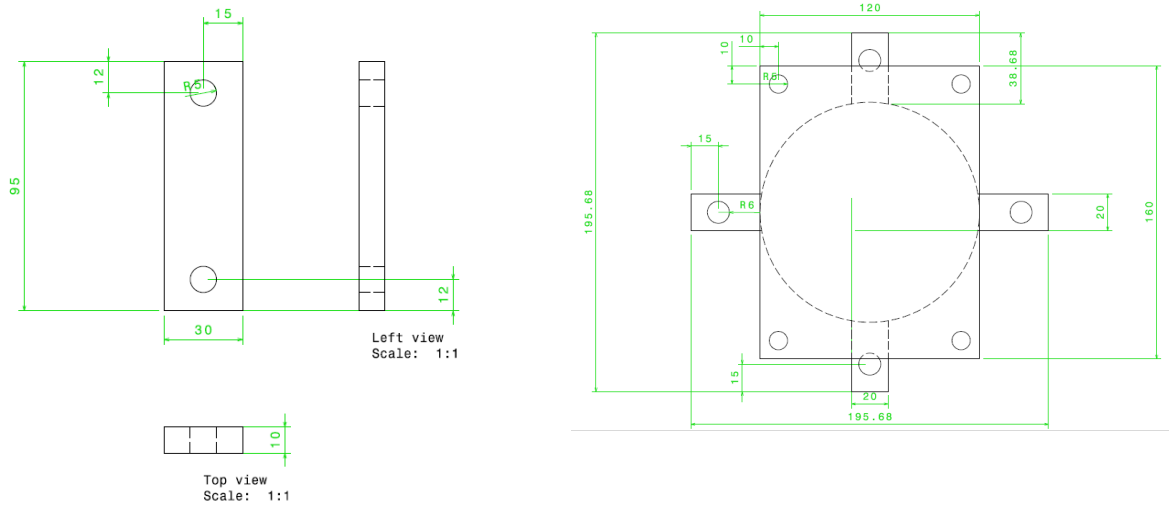
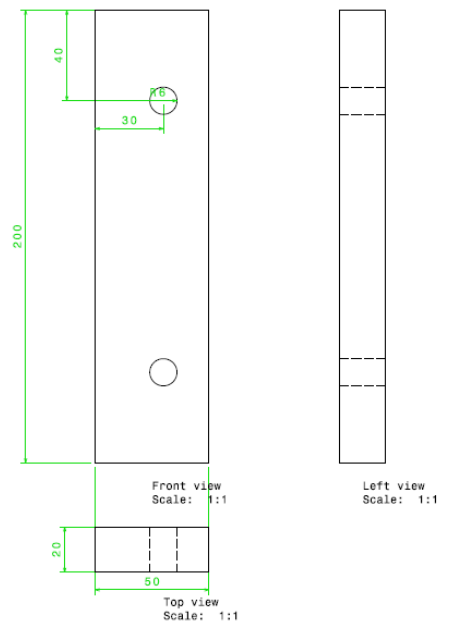
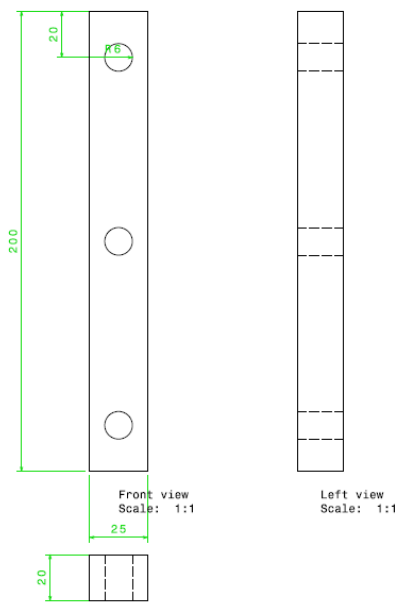
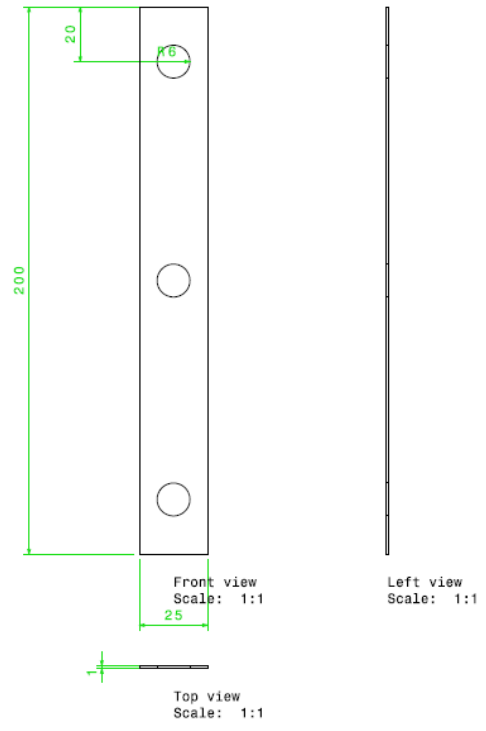
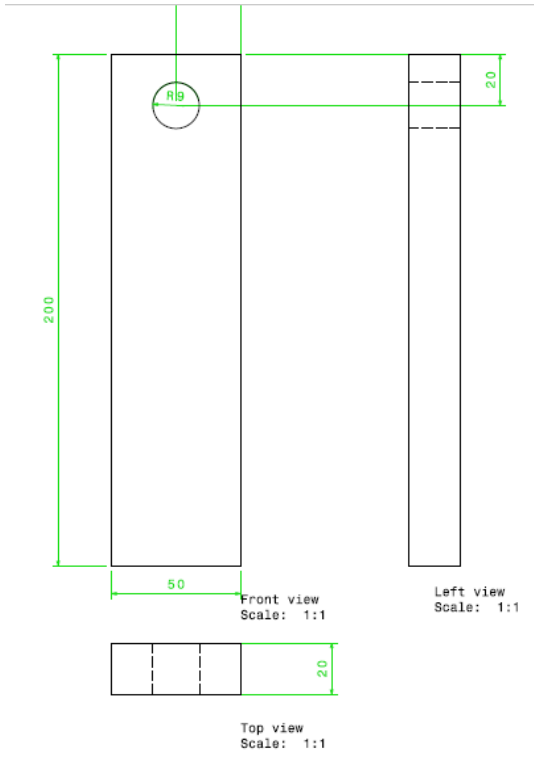
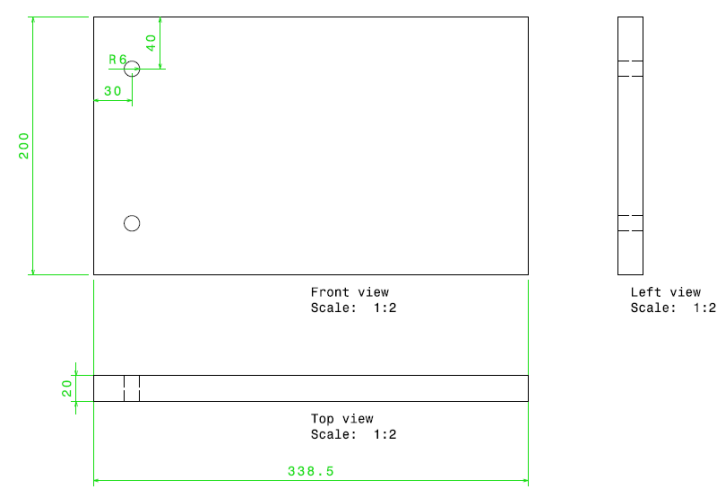
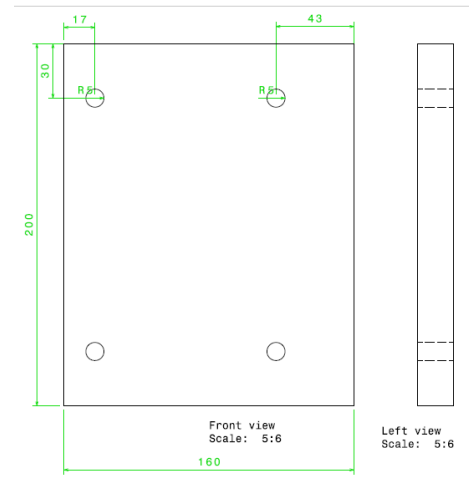
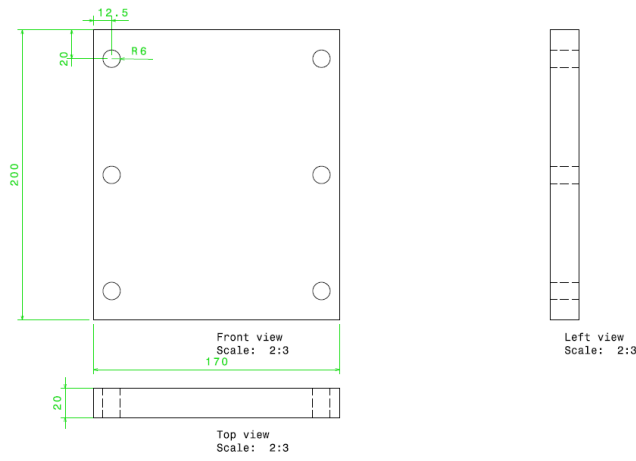
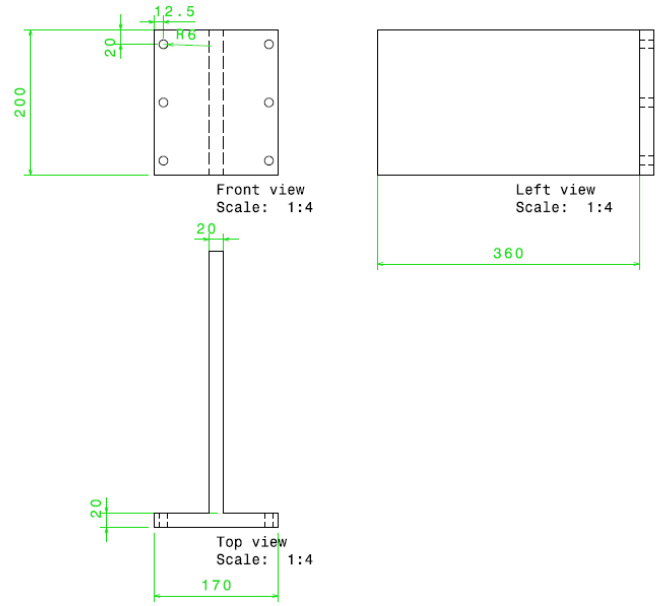


Figura 12 - Base de fixação/sustentação montada (Fonte: Autores, 2018)

4.1.2. Subgrupo 2: Estrutura vertical





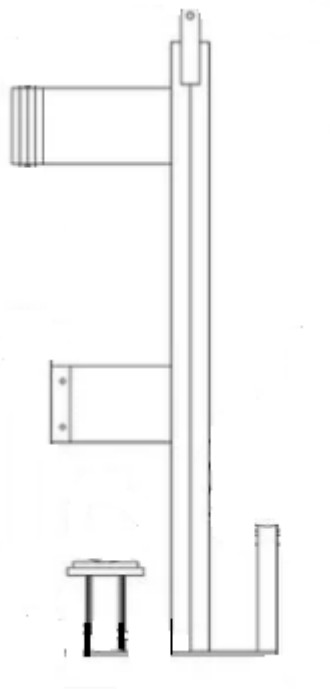
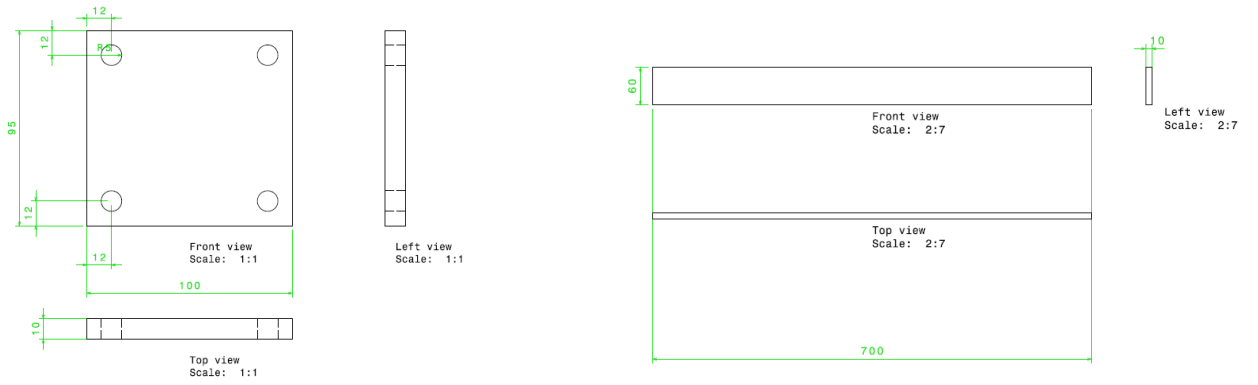


Figura 13 - Estrutura vertical completa (Fonte: adaptado de Bolshoy, 2011)

4.1.3. Subgrupo 3: Estrutura horizontal móvel



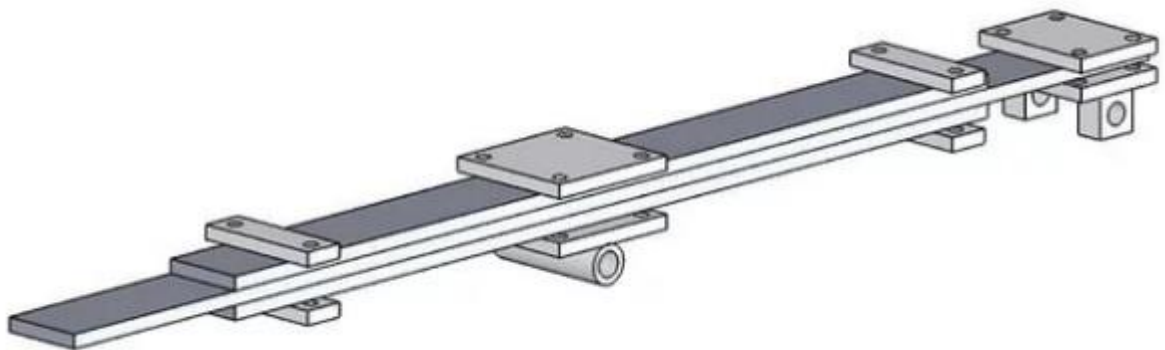
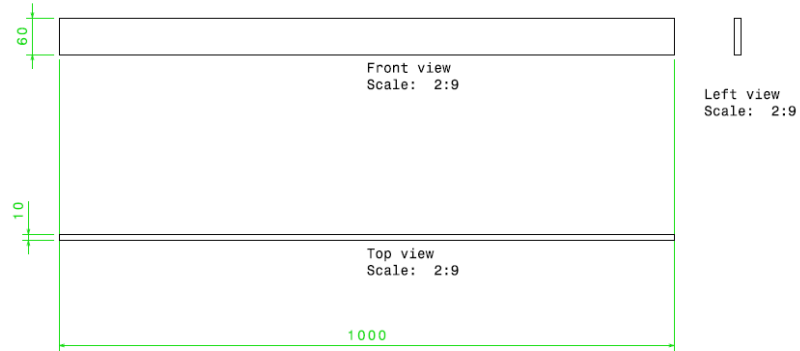
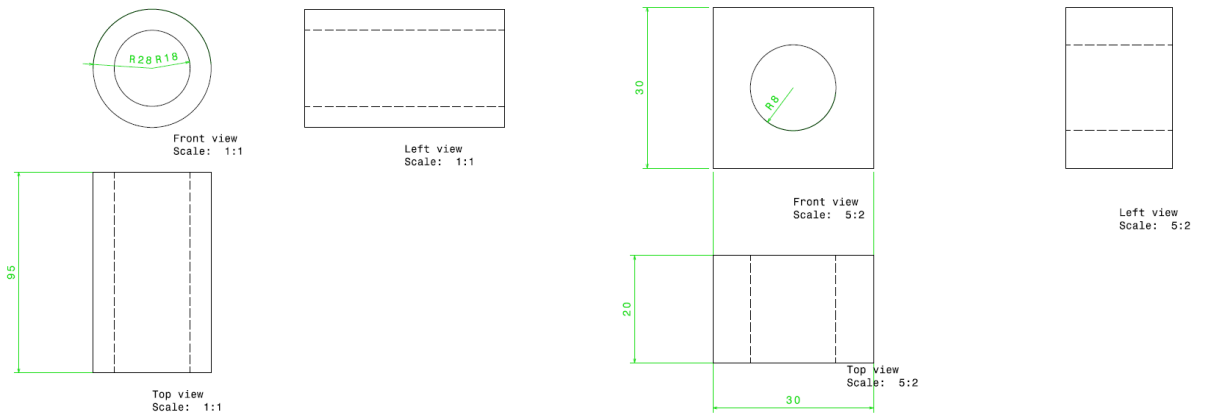
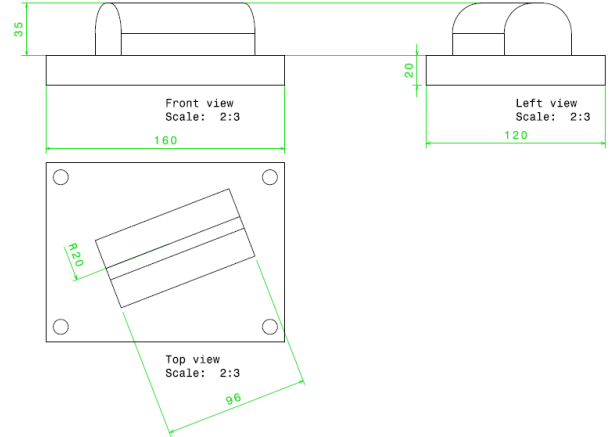
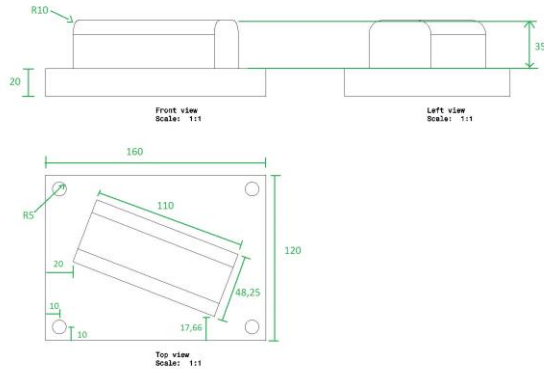
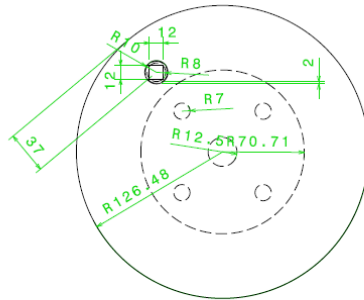


Figura 14 - Estrutura horizontal móvel montada (Fonte: Bolshoy, 2011)

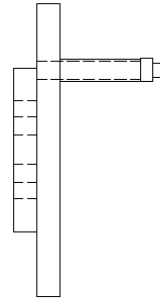
4.1.4. Subgrupo 4: Martelo e bigorna



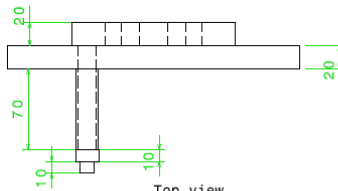
4.1.5. Subgrupo 5: Sistema biela manivela



Front view
Scale: 2:5



Left view
Scale: 2:5

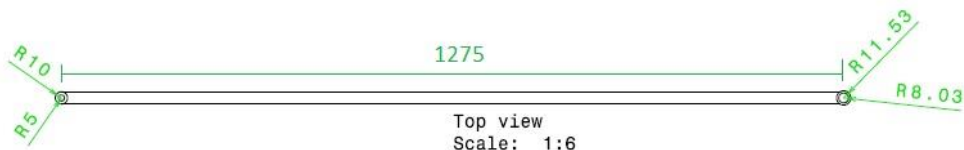


Top view
Scale: 2:5



Front view
Scale: 1:6

Left view
Scale: 1:6



Top view
Scale: 1:6

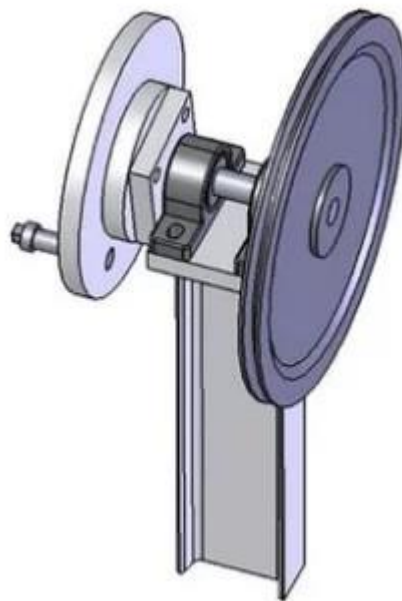
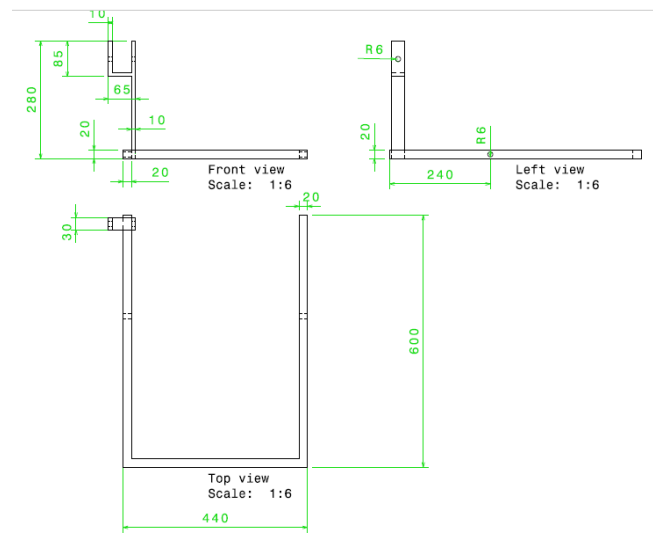
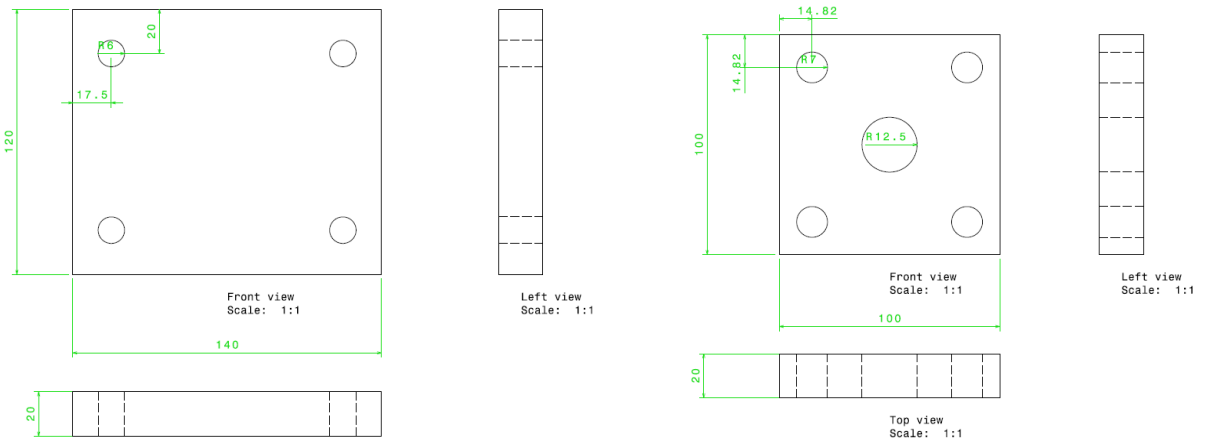


Figura 15 - Sistema biela manivela montado (Fonte: Bolshoy, 2011)

4.1.6. Subgrupo 6: Vigas comerciais, Perfil I

As vigas que serão utilizadas na construção deste martelete possuem medidas comerciais, por isso não foi elaborado desenhos técnicos para esta. A figura (16) mostra as especificações do Perfil I W 150 x 13,0. Sendo que as medidas escolhidas de acordo com o Anexo III são:

- $d = 148\text{mm}$ (altura total da peça)
- $b_f = 100\text{mm}$ (comprimento da mesa)
- $t_w = 4,3\text{mm}$ (espessura da alma)
- $t_f = 4,9\text{mm}$ (espessura da mesa)

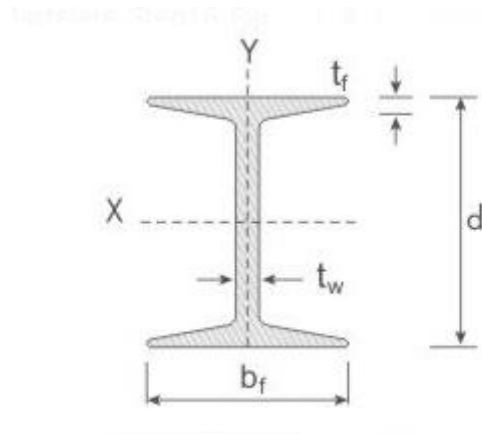


Figura 16 - Seção transversal da viga e suas especificações. (Fonte: Gravia, 2018).

Serão necessárias 4 vigas: 2 x 1600mm, 1 x 200mm e 1 x 400mm. As dimensões representam o comprimento da viga.

A seguir, na figura (17), a ilustração de todo o sistema montado.

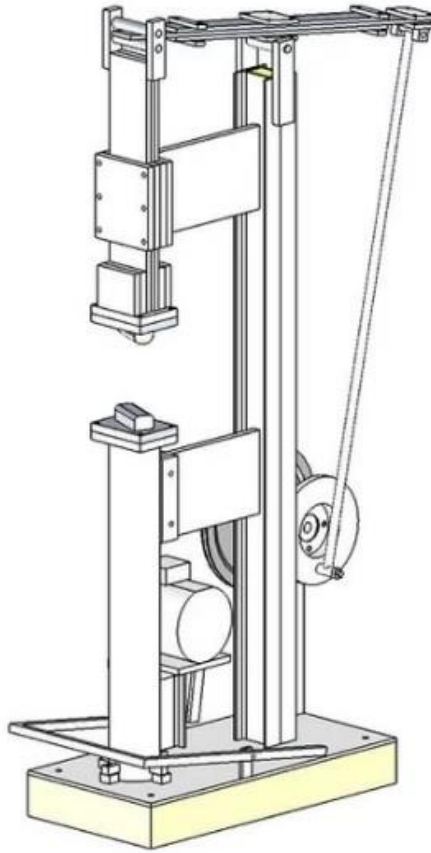


Figura 17 - Martelo para forjamento completo (Fonte: Bolshoy, 2011)

4.2. ANÁLISE DO MOVIMENTO

O software escolhido para análise cinemática do conjunto foi o ADAMS (Automated Dynamic Analysis of Mechanical Systems, Análise dinâmica automatizada de sistemas mecânicos, em tradução livre), surgido originalmente para resolver equações lineares a partir da inserção de arquivos de texto, hoje, com o módulo ADAMS/View, possibilita, em um ambiente simplificado, a análise de diversos produtos, onde o usuário pode construir, simular e gerar resultados para diversos sistemas mecânicos.

Apesar de já existirem previamente softwares CAD que auxiliassem com análise estática, cinemática básica e frequências de vibração, o ADAMS trouxe o diferencial de poder fazer análises que envolvam grandes rotações, assim como movimentos não lineares não infinitesimais, coisas que não eram possíveis nos outros softwares, que utilizavam o método dos elementos finitos. Sendo assim, ele pode ser utilizado como ferramenta para análises da cinemática e dinâmica de mecanismos mais gerais e determinação da distribuição de esforços provenientes de forças pré-estabelecidas e condições de contorno pertinentes.

Como o presente trabalho trata de um sistema simples, que pode ser representado por várias barras rígidas ligadas entre si, tal software atende todas as necessidades, permitindo tanto uma montagem fidedigna do sistema do martelete, quanto obtenção de dados cinemáticos como velocidade, aceleração e energia cinética dos pontos de interesse do conjunto.

Partindo das condições já conhecidas do trabalho, como dimensões das peças do martelete, assim como do funcionamento do conjunto, foi montado o modelo figura (6) da seção 2.3, representando os pontos principais de interesse, assim como na figura (18).

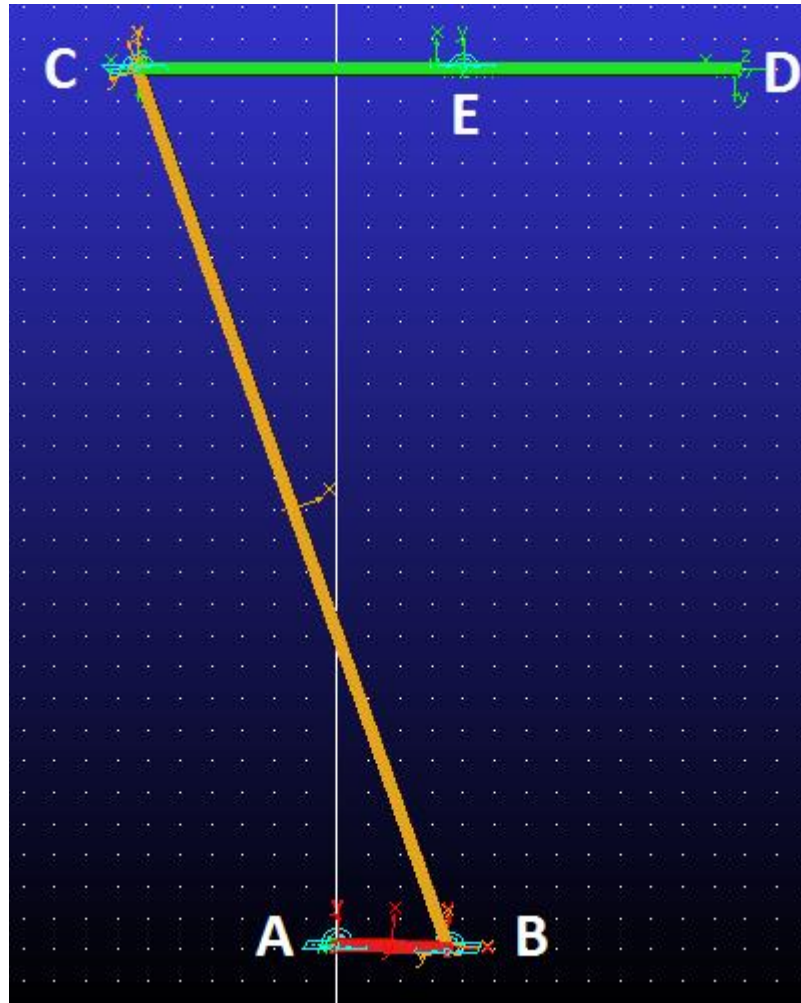


Figura 18 - Representação dos pontos principais do martelete (Fonte: Autores, 2018)

Para a criação do modelo e garantia de sua verossimilhança, foram obedecidas as seguintes condições de contorno: A barra AB corresponde a parte rotativa acoplada ao motor, com rotação fixa em torno de A, onde, pode-se, nos comandos do software, inserir diferentes velocidades angulares fixas, correspondentes as velocidades das rotações fornecidas pelo motor, para que se verifique sua influência nas partes pertinentes. A barra CD corresponde a parte horizontal móvel, a qual está acoplada o martelo. Essa barra oscila fixamente em torno do ponto E, que corresponde ao ponto onde a parte horizontal móvel é fixada a estrutura vertical de sustentação. Por último, a barra BC corresponde a barra de ligação entre o motor e a parte horizontal móvel, responsável pela transmissão de movimento entre ambas as partes. Um importante ponto que deve ser levado em consideração na análise é o de que, embora o martelo não esteja presente na simulação, por estar acoplado ao ponto D da barra CD e por ter um movimento

limitado a vertical, a velocidade e aceleração verticais do ponto D correspondem às aquelas as quais o martelo é submetido em seu caminho até a bigorna.

Após diversas simulações, com entrada de diferentes velocidades angulares no motor, foi constatado que, conforme o esperado, a velocidade terminal do ponto E corresponde de fato a uma senóide, com velocidade nula nos pontos mais alto e mais baixo do movimento e velocidade máxima no decorrer desses pontos, como mostra a figura (19).

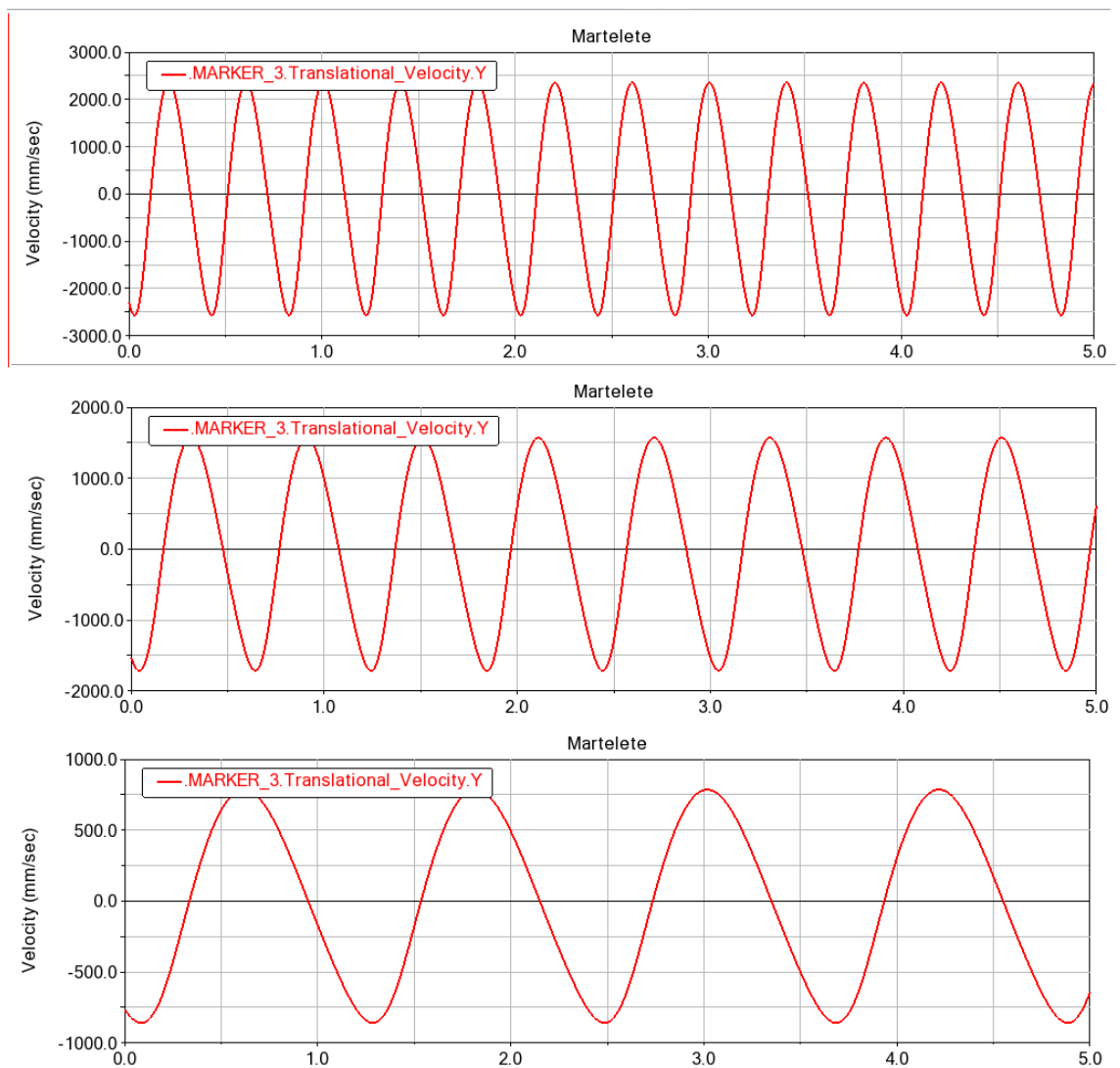


Figura 19 - Gráficos de velocidade do ponto e para velocidade de 15.7/10.4/5.2 rad/s no motor (Fonte: Autores, 2018)

Constatada a correta montagem e execução do modelo, foram então obtidos os valores máximos das grandezas pertinentes ao trabalho, todas encontradas para diferentes velocidades de entrada, e, referentes ao sentido de vertical, no qual trabalha o martetele. Os dados encontrados estão conforme a tabela (4) a seguir:

Tabela 4 - Valores máximos de velocidades linear e angular e aceleração

Velocidade Angular máx.	5.2 rad/s	10.4 rad/s	15.7 rad/s
Velocidade máx.	0.859 m/s	1.71 m/s	2.57 m/s
Aceleração máx.	5.13m/s ²	20.53 m/s ²	46.2 m/s

5. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO

A tabela (5) a seguir ilustra o cronograma do Trabalho de Conclusão de Curso 1 e a tabela (6) representa a distribuição das tarefas que serão seguidas durante o segundo semestre de 2018.

Tabela 5 - Cronograma do primeiro semestre de 2018 (Fonte: Autores, 2018)

Atividades	Março	Abril	Maió	Junho	Julho
Definição do tema	X				
Revisão bibliográfica	X	X	X		
Projeto Mecânico	X	X			
Cálculos cinemáticos do movimento			X	X	
Escolha do motor				X	
Análises de esforços				X	
Revisão do TCC1				X	
Defesa do TCC1					X

Tabela 6 - Cronograma do segundo semestre de 2018 (Fonte: Autores, 2018)

Atividades	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Correções do TCC1	X				
Revisão bibliográfica	X				
Compra de insumos	X				
Fabricação de peças	X	X	X	X	
Montagem da estrutura			X	X	
Revisão do TCC2				X	
Defesa do TCC2					X

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHSAN, Farhan. **8 homemade power hammer for forging**. Disponível em: <<http://theselfsufficientliving.com/8-homemade-power-hammer-for-forging/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

BRAGA, L. F. **Simulação Computacional por Elementos finitos do Processo de Forjamento em Matriz Fechada de Rodas SAE 4140 de Utilização em Ponte rolante**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2005.

BRESCIANI, Ettore. F. **Conformação Plástica dos Metais**. 4ª ed. Campinas, Editora da UNICAMP, 1991. p. 145-165.

CETLIN, P. R.; HELMAN, H. **Fundamentos da Conformação Mecânica dos Metais**. 2ª edição, 263 p. São Paulo, Artliber Editora, 2005.

CHIAVERINI, V. **Tecnologia Mecânica**. 2ª ed. São Paulo, Editora MAKRON, 1986. p. 73-103.

CORREA, F. J.; SCHAEFFER, L. **Comparação das Propriedades Mecânicas do Aço AISI 4140 no Estado Recozido e no Estado Normalizado**. Forge, Edição Maio-Agosto, 2013.

DIETER, G. E. **Metalurgia Mecânica**. 2ª ed, 653 p. Rio de Janeiro, Editora Guanabara Dois, 1981.

FILHO, E. V. G.; MARÇOLA, J. A. **Uma proposta de modelagem da lista de materiais**. Gestão & Produção. vol.3, no.2, São Carlos, ago. 1996.

GERDAU. **Perfis Estruturais Gerdau**. Disponível em: <<https://www.gerdau.com/br/pt/produtos/perfis-estruturais-gerdau#ad-image-0>>. Acesso em: 25 de junho de 2018.

HIBBELER, R. C. **Dinâmica: Mecânica para engenharia**. 12ª ed. São Paulo, Editora Pearson, 2011. P. 275, 279, 287.

BOLSHOY, Ploish. **Power Hammer**. Disponível em: <<http://www.instructables.com/id/Power-hammer/>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.

MENDONÇA, Victor. **Motor monofásico: Funcionamento básico**. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAacBQAB/motor-monofasico-funcionamento-basico#>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

MICHELS, Lucas Boeira et al. **Prensas usadas nos processos de forjamento: uma revisão**. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/ldtm/publicacoes/Michelsprensa.pdf>>. Acesso em: 12 de abril de 2018.

PAIVA, Marcelo Carlosso. **Forjamento**. Disponível em: <<https://burocracismo.wordpress.com/2009/08/28/forjamento/>>. Acesso em: 21 de maio de 2018.

PEARLITE STEEL. **Difference between Stainless Steel and Mild Steel**. Disponível em: <<http://pearlitesteel.com/difference-between-stainless-steel-and-mild-steel/>>. Acesso em: 11 de maio de 2018.

PILLIS, M. F. et al. **Resistência à oxidação do aço-carbono sae 1020 recoberto por um filme de cr₂o₃**. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/2012/eventos/18560.pdf>>. Acesso em: 11 de maio de 2018.

SHIGLEY, J. E. et al. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 7^a ed. Porto Alegre, Editora Bookman, 2005. p. 902-930.

UMANS, Stephen D. **Máquinas elétricas**. 7^a ed. Porto Alegre, Editora Bookman, 2014. p. 510-552.

TORO, Vicent Del. **Fundamentos de máquinas elétricas**. Rio de Janeiro, Editora LTC, 1999. p. 348-380.

WEG. **Motor de indução monofásico W22**. Disponível em: <<https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Motores-EI%C3%A9tricos/Monof%C3%A1sico/Usos-Gerais/W22-%28IP55%29/W22-2-cv-4P-100L-1F-220-440-V-60-Hz-IC411---TFVE---B3D/p/13781836>>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

ANEXOS

	Página
Anexo I Código MATLAB para calcular velocidade do martelo	41
Anexo II Gráfico: velocidade do martelo com diferentes rotações do motor	42
Anexo III Tabela de Bitolas, Gerdau	43

ANEXO I - Código MATLAB para calcular velocidade do martelo

```

rb=0.08948;
theta=0.12;
rdcv=0.024;
rbc=1.24488;
rdch=0.51856;
rde=0.43143;
w=15.71;

wcde=w*rb*sin(theta)/(rdcv*((rdch*sin(theta)/rdcv)-cos(theta)))

wbc=(w*rb/rbc)/((rdch*sin(theta)/rdcv)-cos(theta))

ve=wcde*rde;

ve= (rde*w*rb*sin(theta))/(rdch*sin(theta)-rdcv*cos(theta))

theta=[0:(2*pi)/1000:2*pi];
i=[0:1:1000];

n=1;
while n<=1001
wcde(n)=w*rb*sin(theta(n))/(rdcv*((rdch*sin(theta(n))/rdcv)-cos(theta(n))));

wbc=(w*rb/rbc)/((rdch*sin(theta(n))/rdcv)-cos(theta(n)));

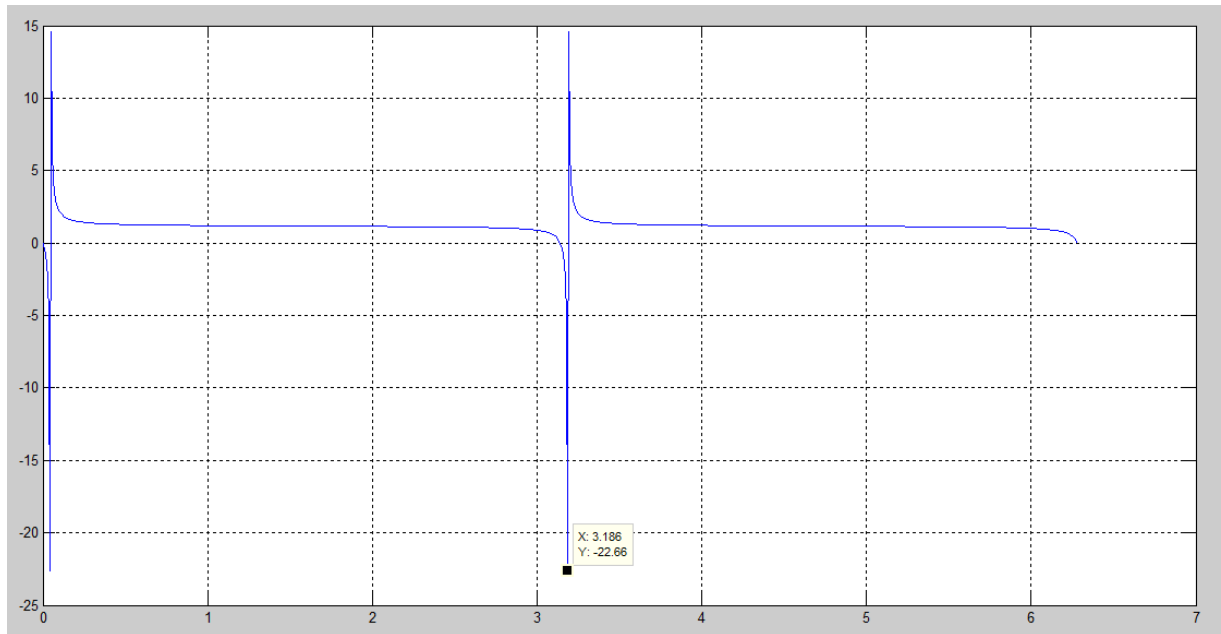
ve(n)=wcde(n)*rde;

n=n+1;
end

plot(theta, ve);
grid on

```

ANEXO II - Gráfico: velocidade do martelo com diferentes rotações do motor



ANEXO III - Tabela de Bitolas, Gerdau

Tabela de Bitolas								
Bitolas	Massa Linear	d	b _f	Espessura		h	d'	Área
				t _w	t _f			
mm x kg/m	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²
W 150 x 13.0	13,0	148	100	4,3	4,9	138	118	16,6
W 150 x 18.0	18,0	153	102	5,8	7,1	139	119	23,4
W 150 x 22.5 (H)	22,5	152	152	5,8	6,6	139	119	29,0
W 150 x 24.0	24,0	160	102	6,6	10,3	139	115	31,5
W 150 x 29.8 (H)	29,8	157	153	6,6	9,3	138	118	38,5
W 150 x 37.1 (H)	37,1	162	154	8,1	11,6	139	119	47,8
W 200 x 15.0	15,0	200	100	4,3	5,2	190	170	19,4
W 200 x 19.3	19,3	203	102	5,8	6,5	190	170	25,1
W 200 x 22.5	22,5	206	102	6,2	8,0	190	170	29,0
W 200 x 26.6	26,6	207	133	5,8	8,4	190	170	34,2
W 200 x 31.3	31,3	210	134	6,4	10,2	190	170	40,3
W 200 x 35.9 (H)	35,9	201	165	6,2	10,2	181	161	45,7
W 200 x 41.7 (H)	41,7	205	166	7,2	11,8	181	157	53,5
W 200 x 46.1 (H)	46,1	203	203	7,2	11,0	181	161	58,6
W 200 x 52.0 (H)	52,0	206	204	7,9	12,6	181	157	66,9
HP 200 x 53.0 (H)	53,0	204	207	11,3	11,3	181	161	68,1
W 200 x 59.0 (H)	59,0	210	205	9,1	14,2	182	158	76,0
W 200 x 71.0 (H)	71,0	216	206	10,2	17,4	181	161	91,0
W 200 x 86.0 (H)	86,0	222	209	13,0	20,6	181	157	110,9
W 200 x 100,0 (H)*	100,0	229	210	14,5	23,7	182	158	127,1
W 250 x 17,9	17,9	251	101	4,8	5,3	240	220	23,1
W 250 x 22,3	22,3	254	102	5,8	6,9	240	220	28,9
W 250 x 25,3	25,3	257	102	6,1	8,4	240	220	32,6
W 250 x 28,4	28,4	260	102	6,4	10,0	240	220	36,6
W 250 x 32,7	32,7	258	146	6,1	9,1	240	220	42,1
W 250 x 38,5	38,5	262	147	6,6	11,2	240	220	49,6
W 250 x 44,8	44,8	266	148	7,6	13,0	240	220	57,6
HP 250 x 62,0 (H)	62,0	246	256	10,5	10,7	225	201	79,6
W 250 x 73,0 (H)	73,0	253	254	8,6	14,2	225	201	92,7
W 250 x 80,0 (H)	80,0	256	255	9,4	15,6	225	201	101,9
HP 250 x 85,0 (H)	85,0	254	260	14,4	14,4	225	201	108,5
W 250 x 89,0 (H)	89,0	260	256	10,7	17,3	225	201	113,9
W 250 x 101,0 (H)	101,0	264	257	11,9	19,6	225	201	128,7
W 250 x 115,0 (H)	115,0	269	259	13,5	22,1	225	201	146,1
W 250 x 131,0 (H)*	131,0	275	261	15,4	25,1	225	193	167,8
W 250 x 149,0 (H)*	149,0	282	263	17,3	28,4	225	193	190,5
W 250 x 167,0 (H)*	167,0	289	265	19,2	31,8	225	193	214,0
W 310 x 21,0	21,0	303	101	5,1	5,7	292	272	27,2
W 310 x 23,8	23,8	305	101	5,6	6,7	292	272	30,7
W 310 x 28,3	28,3	309	102	6,0	8,9	291	271	36,5
W 310 x 32,7	32,7	313	102	6,6	10,8	291	271	42,1
W 310 x 38,7	38,7	310	165	5,8	9,7	291	271	49,7
W 310 x 44,5	44,5	313	166	6,6	11,2	291	271	57,2
W 310 x 52,0	52,0	317	167	7,6	13,2	291	271	67,0
HP 310 x 79,0 (H)	79,0	299	306	11,0	11,0	277	245	100,0
HP 310 x 93,0 (H)	93,0	303	308	13,1	13,1	277	245	119,2
W 310 x 97,0 (H)	97,0	308	305	9,9	15,4	277	245	123,6
W 310 x 107,0 (H)	107,0	311	306	10,9	17,0	277	245	136,4
HP 310x110,0 (H)	110,0	308	310	15,4	15,5	277	245	141,0
W 310 x 117,0 (H)	117,0	314	307	11,9	18,7	277	245	149,9

HP 310x125,0 (H)	125,0	312	312	17,4	17,4	277	245	159,0
W 310 x 129,0 (H)*	129,0	318	308	13,1	20,6	277	245	165,4
HP 310 x 132 (H)	132,0	314	313	18,3	18,3	277	245	167,5
W 310 x 143,0 (H)*	143,0	323	309	14,0	22,9	277	245	182,5
W 310 x 158,0 (H)*	158,0	327	310	15,5	25,1	277	245	200,7
W 310 x 179,0 (H)*	179,0	333	313	18,0	28,1	277	245	227,9
W 310 x 202,0 (H)*	202,0	341	315	20,1	31,8	277	245	258,3
W 360 x 32,9	32,9	349	127	5,8	8,5	332	308	42,1
W 360 x 39,0	39,0	353	128	6,5	10,7	332	308	50,2
W 360 x 44,6	44,6	352	171	6,9	9,8	332	308	57,7
W 360 x 51,0	51,0	355	171	7,2	11,6	332	308	64,8
W 360 x 58	58,0	358	172	7,9	13,1	332	308	72,5
W 360 x 64,0	64,0	347	203	7,7	13,5	320	288	81,7
W 360 x 72,0	72,0	350	204	8,6	15,1	320	288	91,3
W 360 x 79,0	79,0	354	205	9,4	16,8	320	288	101,2
W 360 x 91,0 (H)	91,0	353	254	9,5	16,4	320	288	115,9
W 360 x 101,0 (H)	101,0	357	255	10,5	18,3	320	286	129,5
W 360 x 110,0 (H)	110,0	360	256	11,4	19,9	320	288	140,6
W 360 x 122,0 (H)	122,0	363	257	13,0	21,7	320	288	155,3
W 410 x 38,8	38,8	399	140	6,4	8,8	381	357	50,3
W 410 x 46,1	46,1	403	140	7,0	11,2	381	357	59,2
W 410 x 53,0	53,0	403	177	7,5	10,9	381	357	68,4
W 410 x 60,0	60,0	407	178	7,7	12,8	381	357	76,2
W 410 x 67,0	67,0	410	179	8,8	14,4	381	357	86,3
W 410 x 75,0	75,0	413	180	9,7	16,0	381	357	95,8
W 410 x 85,0	85,0	417	181	10,9	18,2	381	357	108,6
W 460 x 52,0	52,0	450	152	7,6	10,8	428	404	66,6
W 460 x 60,0	60,0	455	153	8,0	13,3	428	404	76,2
W 460 x 68,0	68,0	459	154	9,1	15,4	428	404	87,6
W 460 x 74,0	74,0	457	190	9,0	14,5	428	404	94,9
W 460 x 82,0	82,0	460	191	9,9	16,0	428	404	104,7
W 460 x 89,0	89,0	463	192	10,5	17,7	428	404	114,1
W 460 x 97,0	97,0	466	193	11,4	19,0	428	404	123,4
W 460 x 106,0	106,0	469	194	12,6	20,6	428	404	135,1
W 530 x 66,0	66,0	525	165	8,9	11,4	502	478	83,6
W 530 x 72,0	72,0	524	207	9,0	10,9	502	478	91,6
W 530 x 74,0	74,0	529	166	9,7	13,6	502	478	95,1
W 530 x 82,0	82,0	528	209	9,5	13,3	501	477	104,5
W 530 x 85,0	85,0	535	166	10,3	16,5	502	478	107,7
W 530 x 92,0	92,0	533	209	10,2	15,6	502	478	117,6
W 530 x 101,0	101,0	537	210	10,9	17,4	502	470	130,0
W 530 x 109,0	109,0	539	211	11,6	18,8	501	469	139,7
W 530 x 123,0*	123,0	544	212	13,1	21,2	502	470	157,8
W 530 x 138,0*	138,0	549	214	14,7	23,8	501	469	177,8
W 610 x 82,0	82,0	599	178	10,0	12,8	573	541	105,1
W 610 x 92,0	92,0	603	179	10,9	15,0	573	541	118,4
W 610 x 101,0	101,0	603	228	10,5	14,9	573	541	130,3
W 610 x 113,0	113,0	608	228	11,2	17,3	573	541	145,3
W 610 x 125,0	125,0	612	229	11,9	19,6	573	541	160,1
W 610 x 140,0	140,0	617	230	13,1	22,2	573	541	179,3
W 610 x 153,0*	153,0	623	229	14,0	24,9	573	541	196,5
W 610 x 155,0	155,0	611	324	12,7	19,0	573	541	198,1
W 610 x 174,0	174,0	616	325	14,0	21,6	573	541	222,8
W 610 x 195,0	195,0	622	327	15,4	24,4	573	541	250,1
W 610 x 217,0	217,0	628	328	16,5	27,7	573	541	278,4