


**unesp**  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**CAMPUS DE GUARATINGUETÁ**

**LEONARDO FRAGA DAMASCENO**

**Modelamento e simulação de movimento de uma prensa de dobra  
com a utilização de software CAD**

Guaratinguetá - SP  
2017

**Leonardo Fraga Damasceno**

**Modelamento e simulação de movimento de uma prensa de dobra  
com a utilização de software CAD**

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi

Guaratinguetá - SP  
2017

D155m Damasceno, Leonardo Fraga  
Modelamento e simulação de movimento de uma prensa de dobra com a utilização de software CAD / Leonardo Fraga Damasceno – Guaratinguetá, 2017.  
50 f : il.  
Bibliografia: f. 49

Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2017.  
Orientador: Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi

1. Programas de computador. 2. Computação gráfica. 3. Imagem tridimensional. I. Título.

CDU 681.3.06

  
Luciana Máximo

Bibliotecária/CRB-8 3595

**LEONARDO FRAGA DAMASCENO**

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO  
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
“GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA”

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE  
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. MARCELO SAMPAIO MARTINS  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**



Prof. Dr. ERICK SIQUEIRA GUIDI  
Orientador/UNESP-FEG



Prof. Dr. FERNANDO DE AZEVEDO SILVA  
UNESP-FEG



Prof. Dr. VICTOR ORLANDO GAMARRA ROSADO  
UNESP-FEG

Dezembro de 2017

## **DADOS CURRICULARES**

### **LEONARDO FRAGA DAMASCENO**

**NASCIMENTO** 30.03.1992 – São Bernardo do Campo / SP

**FILIAÇÃO** Sergio Damasceno  
Giselda Maria Fraga da Silva Damasceno

**2010/2017** Curso de Graduação  
Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Guaratinguetá

Dedico este trabalho aos meus pais e a minha irmã, que são minhas referências de perseverança, resiliência e amor, e que sempre me incentivaram a sonhar grande.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe, *Giselda*, e ao meu pai, *Sergio*, pelo carinho, pelo amor e pelas constantes palavras de apoio ao longo da minha graduação,

à minha irmã, *Ticiane*, cujas orientações me ajudaram a trilhar os melhores caminhos para alcançar meus objetivos,

à minha namorada, *Eduarda*, que esteve constantemente presente, me incentivando e me inspirando nos momentos mais críticos e decisivos da minha graduação,

ao meu orientador, *Prof. Dr. Erick Siqueira Guidi*, pela atenção, pela disponibilidade e pelos conselhos, que foram fundamentais para a realização deste trabalho,

a todos os funcionários da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, pelo grande comprometimento nos serviços e pelo empenho em ajudar.

“Coisas que nos parecem impossíveis só podem ser conseguidas com uma teimosia pacífica.”

Mahatma Gandhi



## RESUMO

Com a utilização do *SolidWorks*, um *software* de *CAD* amplamente empregado para a elaboração de desenhos técnicos tridimensionais e projetos mecânicos, são desenvolvidos os modelamentos dos componentes de uma prensa de dobra. A partir do recurso de criação de diferentes configurações em um mesmo arquivo de peça, as ferramentas de dobra da prensa – punção e matriz – são construídas com mais de uma versão. Os modelos dos componentes são então compilados em um único arquivo de montagem, no qual estes são devidamente posicionados, originando assim o desenho tridimensional de conjunto. Para uma melhor visualização da operação da prensa no processo de dobramento, são também gerados vídeos do conjunto em movimento. As etapas de desenvolvimento do projeto são detalhadas neste trabalho, que desta forma disponibiliza um tutorial descritivo de modelamento, montagem e elaboração de vídeos pelo *software SolidWorks*, visando a sua aplicação para fins didáticos ou profissionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Prensa de dobra. Dobramento. Estampagem. Modelamento. Montagem. *SolidWorks*. *CAD*.

## **ABSTRACT**

By using SolidWorks, a CAD software widely applied for the elaboration of three-dimensional technical drawings and mechanical projects, the component models of a bending press are developed. With the use of a feature that allows the creation of different configurations in the same part file, the bending tools of the press - the punch and the die - are built with more than one version. The component models are then compiled into one single assembly file, in which they are properly positioned, thus originating the three-dimensional drawing of the set. For a better display of the press operation in the bending process, videos of the moving press are also made. The stages of the project are detailed in this work, making a descriptive tutorial of modeling, assembly making and video creation by the software SolidWorks, available for didactic or professional purposes.

**KEYWORDS:** Bending press. Bending. Stamping. Modeling. Assembly. SolidWorks. CAD.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Operações de estampagem .....   | 14 |
| Figura 2 – Esquema de uma prensa de corte .....  | 15 |
| Figura 3 – Esquema de uma prensa de estampagem profunda.....                               | 15 |
| Figura 4 – Diferentes tipos de dobramentos em matrizes .....                               | 16 |
| Figura 5 – Esquema de uma prensa de estampagem profunda.....                               | 18 |
| Figura 6 – Exemplo de vista explodida em montagem desenvolvida no SolidWorks .....         | 19 |
| Figura 7 – Desenho 2D de conjunto da prensa de dobra .....                                 | 21 |
| Figura 8 – Base inferior .....   | 22 |
| Figura 9 – Coluna de guia.....   | 22 |
| Figura 10 – Base superior.....   | 23 |
| Figura 11 – Espiga.....  | 23 |
| Figura 12 – Matriz.....  | 24 |
| Figura 13 – Punção .....   | 24 |
| Figura 14 – Área de trabalho do software SolidWorks para modelamento de uma peça.....      | 25 |
| Figura 15 – Seleção do plano superior para início do modelamento da peça .....             | 26 |
| Figura 16 – Desenho de retângulo a partir da origem do esboço criado .....                 | 26 |
| Figura 17 – Definição das medidas do retângulo pela ferramenta “Dimensão inteligente”..... | 27 |
| Figura 18 – Pré-visualização do sólido a ser gerado a partir do esboço.....                | 28 |
| Figura 19 – Esboço sobre uma face do sólido .....  | 29 |
| Figura 20 – Pré-visualização do corte a ser gerado a partir do esboço .....                | 29 |
| Figura 21 – Pré-visualização dos cortes para alojamento das cabeças dos parafusos.....     | 30 |
| Figura 22 – Geometria básica da matriz armazenada como “valor predeterminado”.....         | 31 |
| Figura 23 – Adicionando a primeira configuração à peça matriz.....                         | 31 |
| Figura 24 – Esboço de perfil para primeira configuração da matriz .....                    | 32 |
| Figura 25 – Pré-visualização do corte para primeira configuração da matriz.....            | 32 |
| Figura 26 – Primeira configuração da matriz da ferramenta de dobra .....                   | 33 |
| Figura 27 - Adicionando a segunda configuração à peça matriz.....                          | 33 |
| Figura 28 – Pré-visualização do corte para segunda configuração da matriz .....            | 34 |
| Figura 29 – Segunda configuração da matriz da ferramenta de dobra .....                    | 34 |
| Figura 30 – Aplicação de cores nas faces da peça com a ferramenta “Aparências” .....       | 35 |
| Figura 31 – As duas configurações do punção da ferramenta de dobra .....                   | 36 |
| Figura 32 – Componentes da ferramenta de dobra.....  | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 33 – Base inferior como primeira peça da montagem da ferramenta de dobra..... | 37 |
| Figura 34 – Utilização da ferramenta de posicionamento avançado “Largura” .....      | 38 |
| Figura 35 – Montagem completa da prensa de dobra com a primeira configuração.....    | 39 |
| Figura 36 – Montagem completa da prensa de dobra com a segunda configuração .....    | 40 |
| Figura 37 – Tela da ferramenta de vídeo para selecionar um tipo de animação .....    | 41 |
| Figura 38 – Tela para salvar a animação como arquivo de vídeo .....                  | 42 |
| Figura 39 – Reprodução de vídeo gerado pelo SolidWorks.....                          | 42 |
| Figura 40 – Seleção das peças que se movimentarão na animação.....                   | 43 |
| Figura 41 – Movimento de subida do conjunto móvel.....                               | 44 |
| Figura 42 – Segunda etapa de explosão do conjunto.....                               | 44 |
| Figura 43 – Mais opções para tipos de animação .....                                 | 45 |
| Figura 44 – Reprodução de vídeo com movimento do conjunto.....                       | 46 |

## SUMÁRIO

|          |   |    |
|----------|---|----|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b> .....                 | 12 |
| 1.1      | CONSIDERAÇÕES GERAIS.....               | 12 |
| 1.2      | OBJETIVOS .....                         | 12 |
| 1.3      | MOTIVAÇÕES .....                        | 12 |
| 1.4      | ESTRUTURA DO TRABALHO .....             | 13 |
| <b>2</b> | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....      | 14 |
| 2.1      | ESTAMPAGEM.....                         | 14 |
| 2.2      | DOBRAMENTO .....                        | 16 |
| 2.3      | <i>SOLIDWORKS</i> .....                 | 19 |
| <b>3</b> | <b>DESENVOLVIMENTO</b> .....            | 21 |
| 3.1      | DADOS DA PRENSA DE DOBRA .....          | 21 |
| 3.2      | DESENHOS TÉCNICOS DOS COMPONENTES ..... | 22 |
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....    | 25 |
| 4.1      | MODELAMENTOS DOS COMPONENTES .....      | 25 |
| 4.2      | MONTAGEM DO CONJUNTO.....               | 37 |
| 4.3      | SIMULAÇÕES DE MOVIMENTO .....           | 40 |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES</b> .....                 | 47 |
|          | <b>REFERÊNCIAS</b> .....                | 48 |
|          | <b>BIBLIOGRAFIA CONSULTADA</b> .....    | 49 |

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Processos de conformação de metais, em uma definição mais geral, são aplicações de técnicas e recursos para modificação de formas do corpo metálico.

A quase totalidade dos produtos metálicos passa por processos de conformação durante sua fabricação, e, portanto, o estudo destes processos é de fundamental importância na Engenharia Mecânica.

Os processos de conformação podem ser divididos entre mecânicos e metalúrgicos. Em processos mecânicos, também chamados de processos de conformação mecânica, há deformação plástica provocada por tensões externas sem a liquefação do metal. Já nos processos metalúrgicos, há modificação de forma com liquefação do metal, ou com difusão de partículas (BRESCIANI FILHO, 2011).

Os métodos mais frequentes de classificação dos diversos processos de conformação plástica são: classificação conforme o tipo de esforço predominante (seja este o de tração, de cisalhamento, de compressão direta ou indireta, ou por flexão); e classificação quanto à temperatura de trabalho (trabalho mecânico a frio e trabalho mecânico a quente, de forma geral) (BRESCIANI FILHO, 2011).

Dentre os principais processos de conformação plástica, tem-se: laminação, extrusão, trefilação, estampagem e forjamento; sendo que existem diversos processos mais específicos que se enquadram nestes (CHIAVERINI, 1986).

Entre os fabricantes de ferramentas e equipamentos para processos de conformação, é cada vez maior a busca por tecnologias que reduzam seus custos de produção e que tornem seus projetos mais eficientes, e, portanto, a utilização de recursos de CAD e CAE tem significado importante vantagem competitiva para estes produtores (ESPINOZA, 2004).

Neste contexto, o *software SolidWorks* é uma importante ferramenta de projeto, amplamente empregado para a elaboração de desenhos tridimensionais e reconhecido pela precisão e facilidade de utilização.

## 1.2 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento do modelamento de uma ferramenta de dobra por meio do *software SolidWorks*, a simulação de movimento do

conjunto, e, paralelamente ao projeto, a elaboração de um tutorial descritivo que sirva de fonte de consulta para alunos, e até mesmo profissionais que atuem com projeto de ferramentas de conformação mecânica.

### 1.3 MOTIVAÇÕES

Os ciclos de produção de peças metálicas são cada vez mais velozes e diversificados, o que demanda soluções rápidas e efetivas dos fabricantes de ferramentas e moldes para conformação mecânica (ESPINOZA, 2004).

As pressões e exigências do mercado sobre estes fabricantes impõem a necessidade de projetos mais eficientes e de menor custo. Para tanto, a utilização de recursos de *CAD*, *CAE* e *CAM* no projeto de ferramentas, moldes e equipamentos para conformação mecânica são fundamentais para a melhoria da competitividade e para a perenidade dos fabricantes. Desta forma, o estudo da aplicação de *softwares* de *CAD* e *CAE* no projeto de ferramentas de dobra é necessário.

Este cenário evidencia a importância de aprender, durante a graduação, a trabalhar com estes *softwares*, amplamente utilizados no mercado, para o melhor e mais completo desenvolvimento da formação de alunos de Engenharia Mecânica e demais áreas.

### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No próximo capítulo, conceitos teóricos acerca dos processos de conformação mecânica relacionados a este estudo serão abordados, para um melhor entendimento da estampagem, de uma forma geral, e dos parâmetros que devem ser considerados em um projeto de dobramento. Também será brevemente apresentado o *software SolidWorks*, utilizado para o desenvolvimento do trabalho.

No terceiro capítulo, apresentam-se os dados da prensa de dobra propostos pela literatura, nos quais foi baseado o desenvolvimento deste trabalho.

A etapas dos modelamentos e das simulações de movimento da prensa de dobra são detalhadas no quarto capítulo, o qual configura um tutorial descritivo.

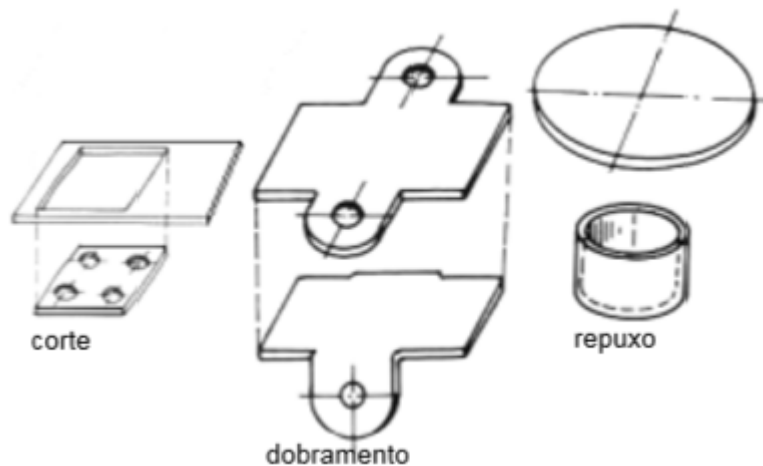
As conclusões do trabalho são apresentadas no capítulo 5, e em seguida são listadas as referências e a bibliografia consultada.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 ESTAMPAGEM

A estampagem é um processo de conformação mecânica, no qual uma chapa plana é submetida a transformações, geralmente a frio, de modo a adquirir uma nova forma. As possíveis operações de estampagem, representadas na Figura 1, são basicamente três: corte, dobramento e estampagem profunda ou repuxo (CHIAVERINI, 1986).

Figura 1 – Operações de estampagem.



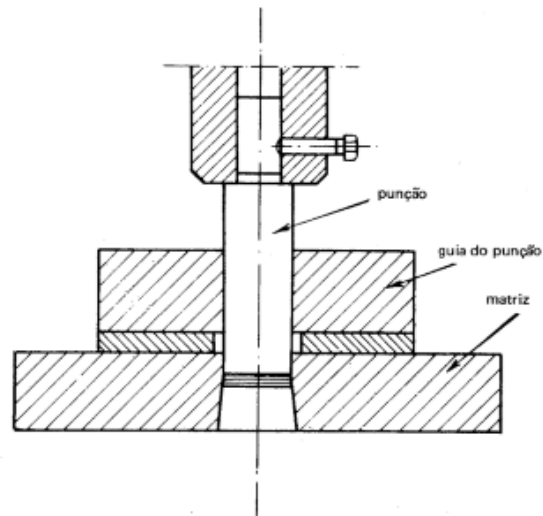
Fonte: Larapedia (2017).

O corte corresponde à submissão de um punção de corte aplicado por uma prensa, em uma chapa metálica, de modo a obter formas geométricas definidas pelas ferramentas. O esforço de compressão é convertido em esforço de cisalhamento, assim que o punção penetra na matriz, ocorrendo à ruptura, seguido de desprendimento de parte da chapa metálica.

Segundo Chiaverini (1986), verificou-se experimentalmente que para chapas de aço e punções de aço temperado, a espessura da chapa deve ser igual ou menor que o diâmetro do punção. A Figura 2 mostra o esquema de uma prensa para corte.



Figura 2 – Esquema de uma prensa de corte.

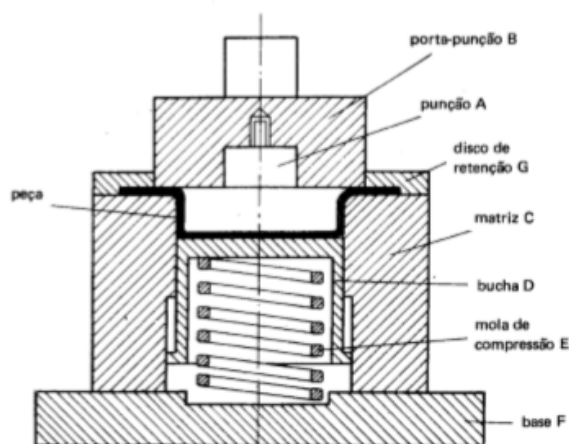


Fonte: Chiaverini (1986).

A forma da secção do punção, bem como da matriz, determinam a forma da peça a ser cortada da chapa. Além disso, a folga entre punção e matriz é um fator importante a ser determinado. Esse parâmetro de projeto é definido em função da espessura e do material da chapa metálica.

Na estampagem profunda as chapas metálicas são transformadas em formas ocas, realizando-se a deformação em uma ou mais fases. Este processo pode também ser realizado a quente, conforme as necessidades. Da mesma forma, a aplicação de estampagem pode não ser única, dependendo da profundidade de deformação desejada, pode ser necessária à aplicação de operações de reestampagem. A Figura 3 mostra uma prensa para estampagem profunda.

Figura 3 – Esquema de uma prensa de estampagem profunda.



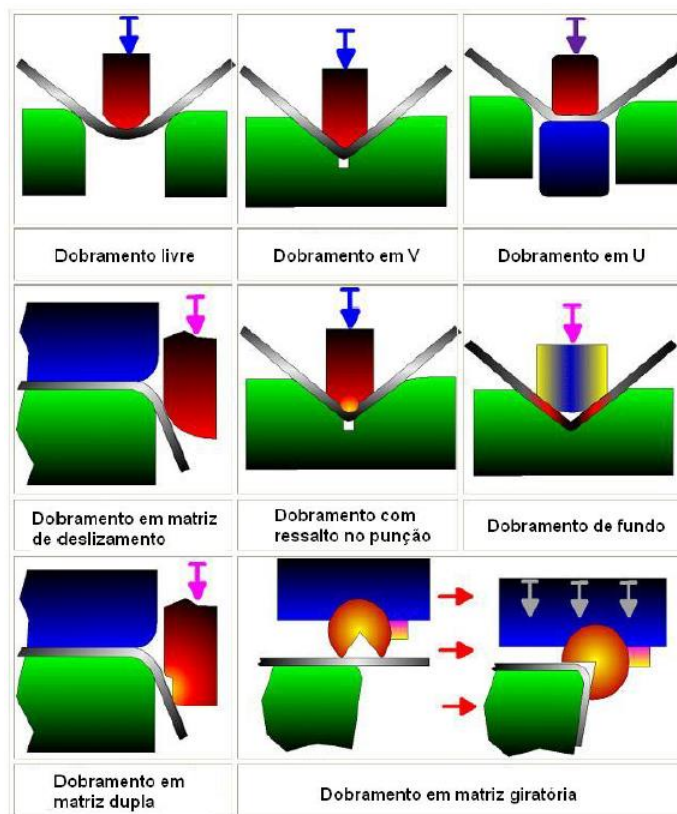
Fonte: Chiaverini (1986).

## 2.2 DOBRAMENTO

O dobramento é um processo de conformação plástica a partir do qual elementos metálicos de geometria plana são curvados pela ação de esforços externos. Por meio do dobramento, chapas metálicas são transformadas em diversos produtos, como calhas, tambores e estruturas em geral. Este processo pode, inclusive, originar parte das deformações do produto em outros processos de conformação (DIETER, 1981).

Dobramentos geralmente são feitos em dobradeiras, mas quando trata-se de perfis curtos, ou de deformações especiais, matrizes e prensas são utilizadas. Na Figura 4, são demonstrados alguns tipos de dobramentos por matrizes (MARCONDES, 2008).

Figura 4 – Diferentes tipos de dobramentos em matrizes.



Fonte: Marcondes (2008).

Parâmetros muito importantes para projetos de dobramento são o raio de dobramento  $R$ , a tolerância de dobramento  $B$  e o ângulo de dobramento  $\alpha$ .

O raio de dobramento é a medida do raio de curvatura que se apresenta na superfície interna da dobra, ou seja, na superfície côncava (DIETER, 1981). Dobras em que o raio de curvatura interno seja inferior à espessura da chapa devem ser evitadas, pois isto implicaria em trações excessivas nas fibras externas, que poderiam facilmente gerar trincas, o que

inviabiliza o processo (MARCONDES, 2008). Por este motivo, é importante definir o raio mínimo de dobramento, dado na equação 1, mostrada a seguir.

$$R_{min} = t \left( \frac{50}{r} - 1 \right) \quad (1)$$

Onde  $R_{min}$  é o raio mínimo de dobramento,  $t$  é a espessura da chapa e  $r$  é a redução em área para um dado material em teste de tração (MARCONDES, 2008).

Porém, segundo Marcondes (2008), a partir de recursos como o aquecimento da chapa, ou a aplicação de pressão hidrostática, a capacidade de dobramento pode ser melhorada, e assim raios ainda menores podem ser obtidos.

Um efeito de importante consideração em projetos de dobramento é o retorno elástico, ou efeito de mola. Segundo Dieter (1981), denomina-se efeito de mola as variações dimensionais que ocorrem na peça dobrada após a liberação da pressão exercida pelas ferramentas. A deformação total sofrida pela peça é reduzida por conta da recuperação elástica. O retorno elástico é tanto maior quanto maior for a deformação plástica, maior for o limite de escoamento, e menor for o módulo elástico.

Todos os processos de conformação apresentam retorno elástico, mas o dobramento permite maior facilidade de constatação e de estudo deste efeito (DIETER, 1981). Segundo Marcondes (2008), o efeito de mola pode ser expresso pela equação 2.

$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left( \frac{R_i S_y}{ET} \right)^3 - 3 \left( \frac{R_i S_y}{ET} \right) + 1 \quad (2)$$

Em que  $R_i$  é o raio de dobramento antes do retorno elástico,  $R_f$  é o raio de dobramento depois do retorno elástico,  $S_y$  é a tensão de escoamento do material,  $E$  é o módulo de elasticidade do material e  $T$  é a espessura do material.

Para compensar a recuperação elástica do material, comumente a peça é dobrada até um raio de curvatura menor do que o pretendido. Alternativamente, executa-se o processo de dobramento a altas temperaturas, de forma a reduzir o limite de escoamento, ou também, segundo Dieter (1981), emprega-se a estratégia de calcar o punção no fundo da matriz, gerando um efeito parecido com o processo de cunhagem.

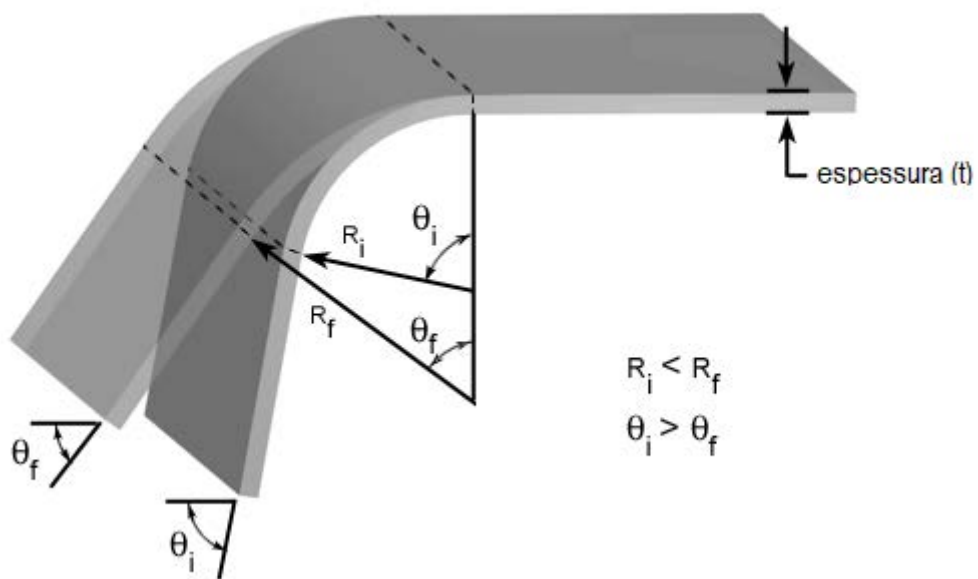
De acordo com Dieter (1981), uma boa aproximação da força  $F$  necessária para o dobramento de um comprimento  $L$  e um raio  $R$  é dada pela equação 3.

$$F = \frac{\sigma_0 L h^2}{2(R + \frac{h}{2})} \tan \frac{\alpha}{2} \quad (3)$$

Onde  $\sigma_0$  é a tensão limite de escoamento,  $h$  é a espessura da chapa e  $\alpha$  é o ângulo da dobra.

A Figura 5 representa uma chapa dobrada e evidencia os estágios antes e após o efeito de mola. Estão também indicados nesta figura alguns elementos do dobramento, sendo  $R_i$  o raio antes do retorno elástico,  $R_f$  o raio após o retorno elástico,  $\theta_i$  o ângulo de dobra antes do retorno elástico e  $\theta_f$  o ângulo de dobra após o retorno elástico.

Figura 5 – Representação do retorno elástico no dobramento de uma chapa.



Fonte: Próprio autor.

### 2.3 SOLIDWORKS

O *SolidWorks* é um *software* de *CAD*, compatível com o sistema operacional *Microsoft Windows*, que permite a elaboração com alta precisão de desenhos 3D, desenhos 2D, montagens de conjuntos e diversos tipos de simulações, tendo assim aplicação em variados ramos da Engenharia.

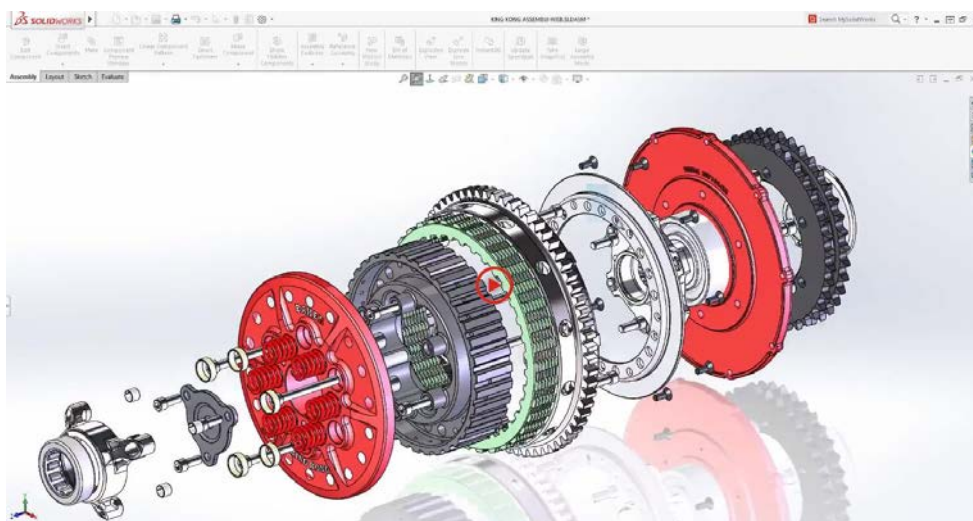
Este programa de computador foi desenvolvido pela *SolidWorks Corporation*, empresa fundada em 1993 por Jon Hirschtick, graduado no Instituto de Tecnologia de Massachusetts

(MIT). O lançamento do software deu-se em 1995, representando grandes avanços no sentido de facilidade de operação por parte dos usuários. Em 1997, a empresa francesa *Dassault Systèmes S.A.*, líder mundial no desenvolvimento de softwares 3D, adquiriu o *SolidWorks* (SOLIDWORKS, 2017).

Atualmente, em sua vigésima quarta versão, são estimados mais de 3 milhões de usuários ao redor do mundo, e mais de 230 mil empresas com sua licença. Em razão de sua vasta aplicabilidade e da facilidade de utilização, o *SolidWorks* atende a uma grande variedade de setores e mercados, como por exemplo o mercado automotivo, aeroespacial, de energias, de produtos médicos, de óleo e gás, de indústria de máquinas, de bens de consumo, de construção e de educação (FACT SHEET, 2016).

A Figura 6 mostra um exemplo de montagem desenvolvida por meio do *software SolidWorks*.

Figura 6 – Exemplo de vista explodida em montagem desenvolvida no *SolidWorks*.



Fonte: PREMIUM (2017).

A área de trabalho do *software* conta com ferramentas e recursos dispostos principalmente em um painel superior, com nomes e símbolos de fácil assimilação e divididos em categorias de forma lógica, garantindo uma interface amigável com o usuário.

A partir de ferramentas simples e semelhantes às de outros *softwares* de *CAD*, pode-se criar esboços planos, que originam peças tridimensionais por meio de recursos de criação de sólidos. Montagens também podem ser elaboradas através de ferramentas intuitivas e de fácil acesso.

O programa também conta com uma árvore de projeto que contém o histórico de todos os esboços criados e recursos utilizados, possibilitando o acesso e alterações nos mesmos em qualquer momento do desenvolvimento do projeto, alertando para possíveis inconsistências nas operações.

Desenhos 2D podem ser facilmente criados a partir de modelos 3D, e os respectivos arquivos mantem-se vinculados, de forma que alterações feitas no modelo automaticamente traduzem-se em atualizações no seu respectivo desenho 2D, diminuindo assim os riscos de erros e a poupando o tempo de trabalho.

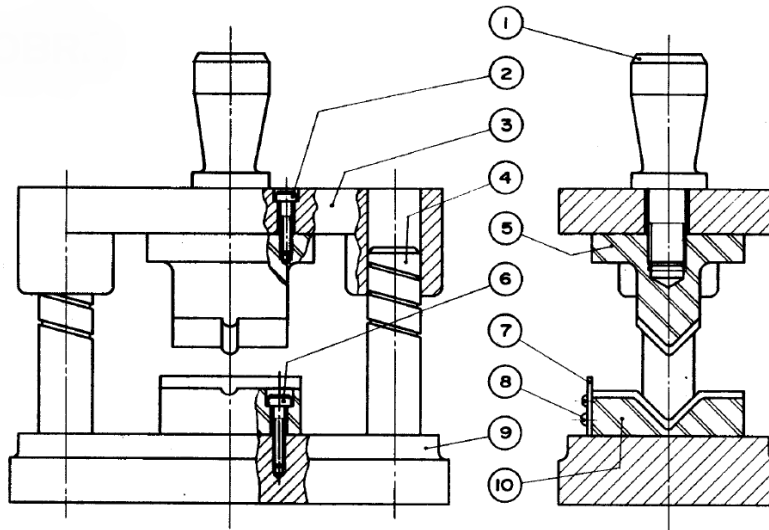
### 3 DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 DADOS DA PRENSA DE DOBRA

A prensa de dobra foi obtida a partir de desenhos técnicos 2D apresentados no livro *Desenhista de Máquinas*, de Francesco Provenza, 46ª edição, São Paulo: Protec, 1991, páginas 7-146 e 7-147.

A Figura 7 apresenta o desenho 2D de conjunto da prensa, e o quadro 1 relaciona os materiais propostos para cada componente listado.

Figura 7 – Desenho 2D de conjunto da prensa de dobra



Fonte: Provenza (1991).

Quadro 1 – Lista de materiais e dimensões dos componentes

| ITEM | DENOMINAÇÃO       | QUANT. | MATERIAL E DIMENSÕES   |
|------|-------------------|--------|------------------------|
| 1    | Espiga            | 1      | Aço NB 1020            |
| 2    | Parafuso Allen    | 4      | #10 x 13               |
| 3    | Base superior     | 1      | Ferro fundido          |
| 4    | Coluna            | 2      | Aço NB 1020 Ø14 x 68   |
| 5    | Punção            | 1      | Aço RCC retif. e temp. |
| 6    | Parafuso Allen    | 4      | #10 x 13               |
| 7    | Encosto           | 1      | Chapa preta #16        |
| 8    | Parafuso de fenda | 4      | Ø3/32" x 4             |
| 9    | Base inferior     | 1      | Ferro fundido          |
| 10   | Matriz            | 1      | Aço RCC retif. e temp. |

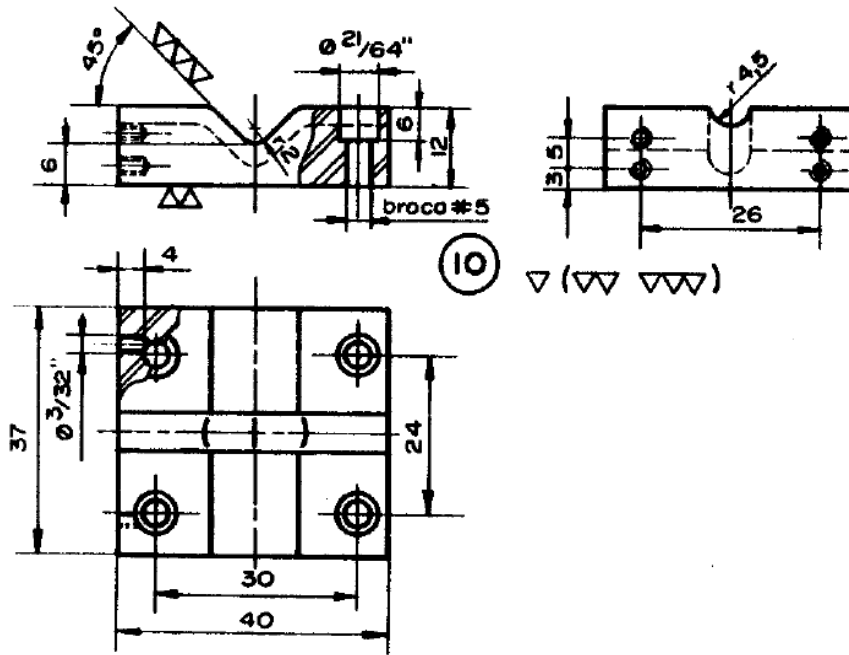
Fonte: Adaptado de Provenza (1991).





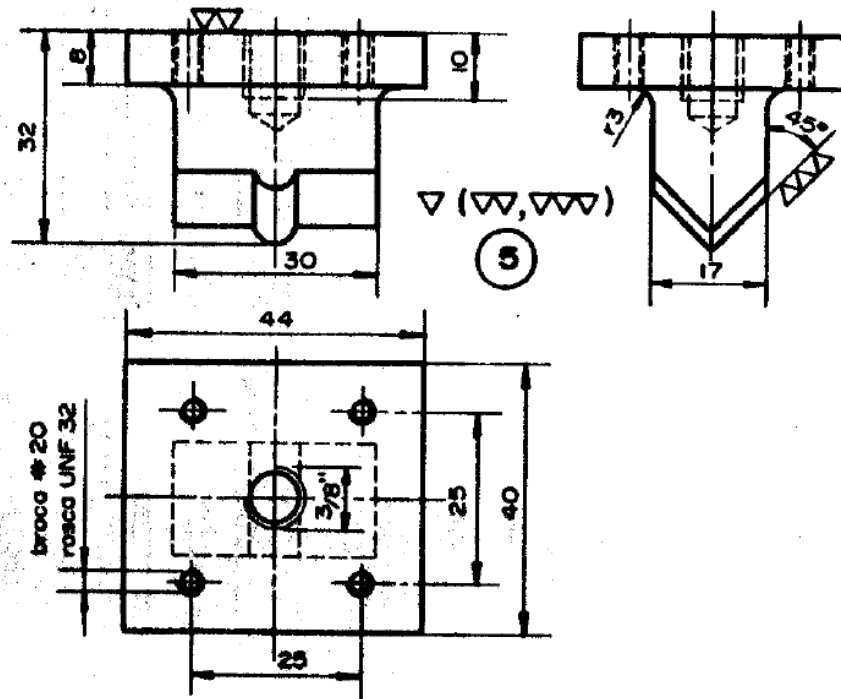


Figura 12 – Matriz



Fonte: Provenza (1991).

Figura 13 – Punção



Fonte: Provenza (1991).

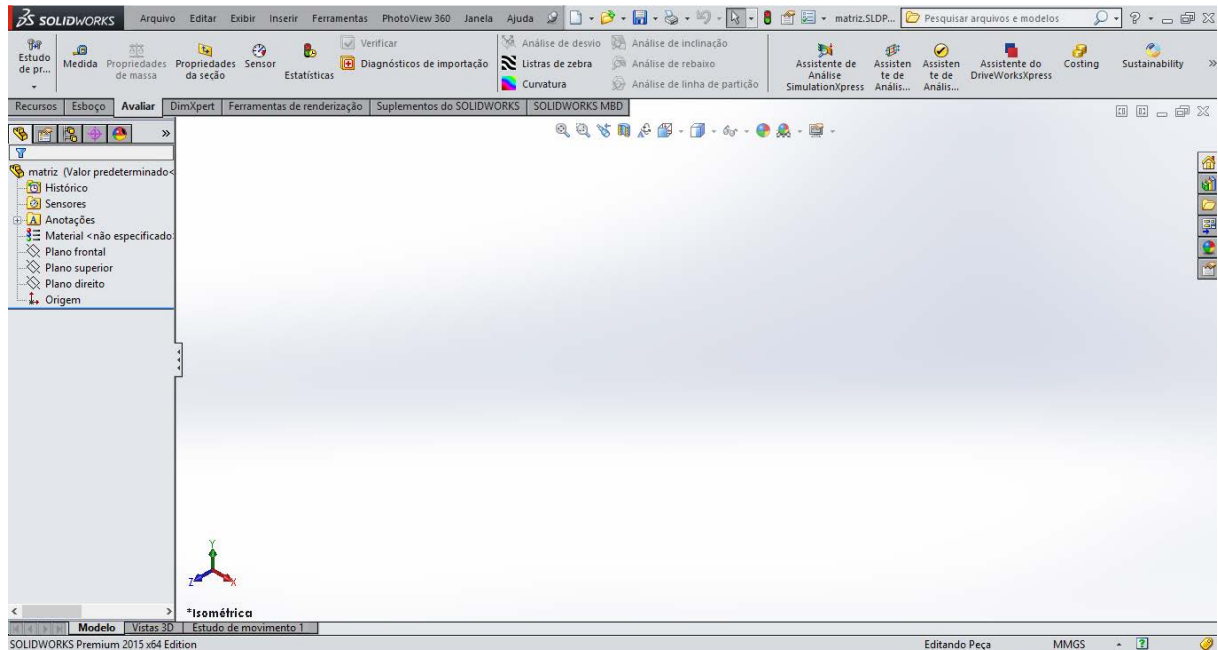
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 MODELAMENTOS DOS COMPONENTES

O software *SolidWorks* foi utilizado para o modelamento da ferramenta de dobra.

Para a elaboração do modelo tridimensional de cada componente do conjunto, após a inicialização do software, seleciona-se o botão “*Novo*” na barra de ferramentas superior, e em seguida o botão “*Peça*”, para uma representação 3D de um único componente. É aberta a área de trabalho para o modelamento de uma peça, exibida na Figura 14, e pode-se armazenar o arquivo com o nome do componente a ser modelado.

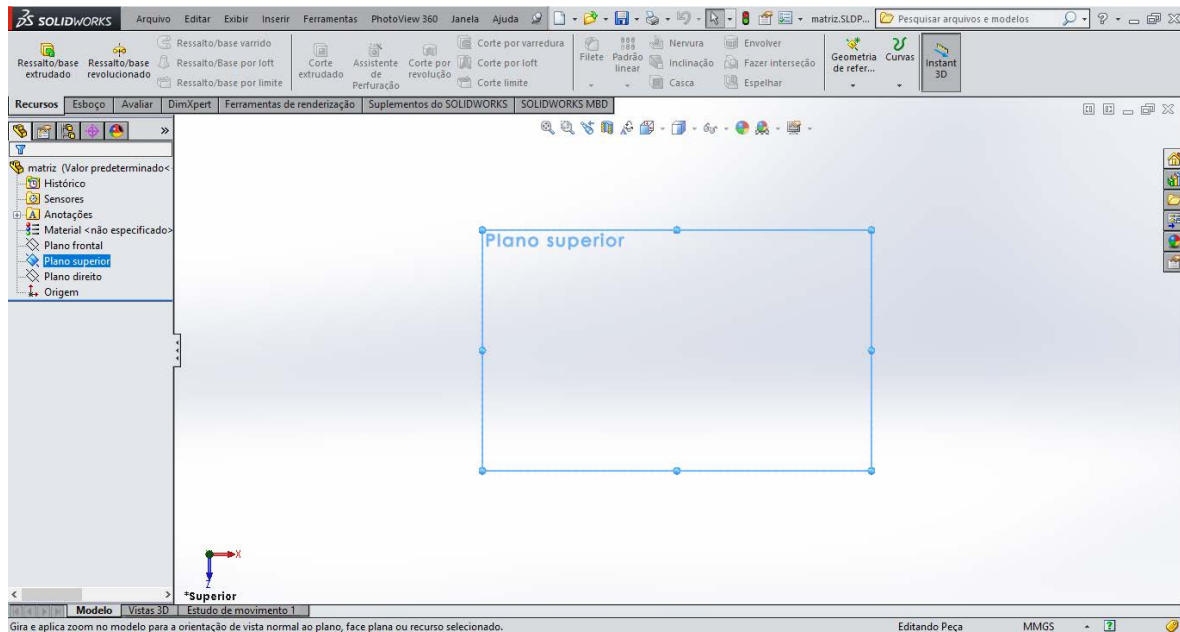
Figura 14 – Área de trabalho do software *SolidWorks* para modelamento de uma peça.



Fonte: Próprio autor.

No caso de modelamento da matriz, seleciona-se o “*Plano superior*” (plano XZ), na árvore de projeto do “*FeatureManager*”, localizada no canto esquerdo da tela, como evidenciado na Figura 15.

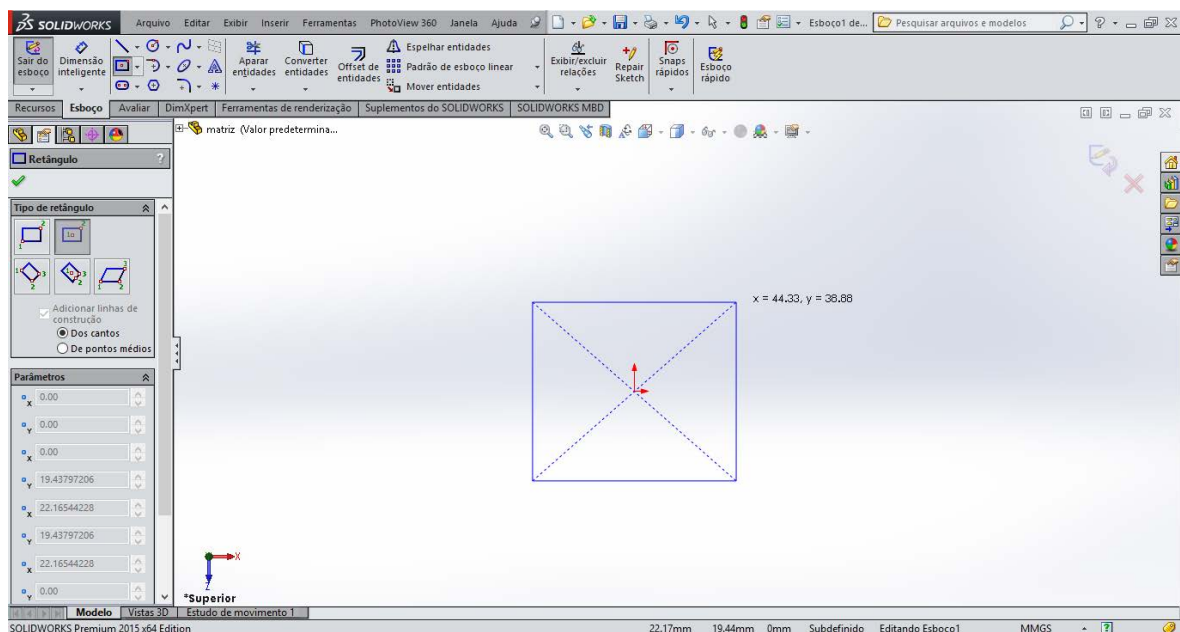
Figura 15 – Seleção do plano superior para início do modelamento da peça.



Fonte: Próprio autor.

Dentro da aba “Esboço”, no menu superior, seleciona-se a ferramenta “Esboço”, para dar início ao desenho da peça no plano anteriormente selecionado. Um ponto central de origem sobre este plano foi automaticamente definido pela ferramenta, e com a opção “Retângulo central”, foi desenhado um retângulo de dimensões arbitrárias com centro nesta origem, conforme representado na Figura 16.

Figura 16 – Desenho de retângulo a partir da origem do esboço criado.

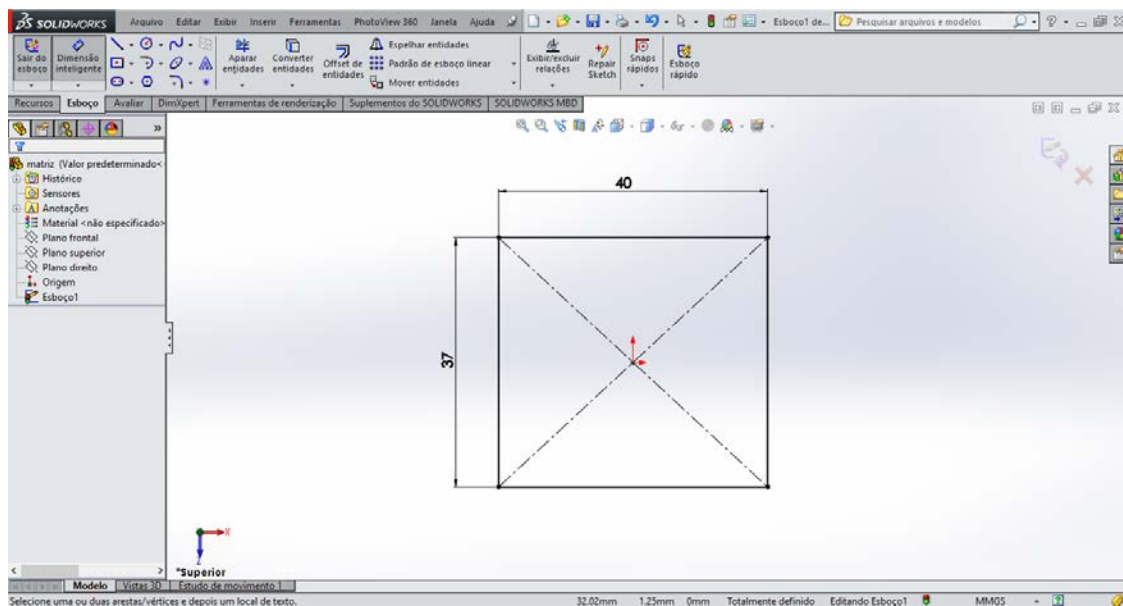


Fonte: Próprio autor.

Selecionando a ferramenta “*Dimensão inteligente*” e clicando sobre os lados do retângulo, é possível definir a dimensão conforme se desejar. Este procedimento é evidenciado na Figura 17. As dimensões escolhidas para os modelamentos foram baseadas nos desenhos propostos no livro “*Desenhista de Máquinas*”, 46ª edição, de *Francesco Provenza*, Editora *F. Provenza*, páginas 7-146 e 7-147.

Nos esboços desenvolvidos pelo software *SolidWorks*, em configurações padrão, as cores das linhas representam o estado de definição em que elas se encontram. Linhas azuis simbolizam que as mesmas ainda não tiveram seus posicionamentos e dimensões completamente definidos. A cor preta representa as linhas fixas, ou seja, aquelas cujas medidas e localizações em relação ao plano já foram completamente estipuladas. Já os traços de cores vermelha ou amarela representam partes do esboço com informações conflitantes, erros de concordância ou mesmo redundâncias. O ideal é que todo esboço seja criado de forma a apresentar-se completamente em linhas pretas, para que os próximos passos no modelamento não apresentem erros ou variações imprevistas e indesejadas.

Figura 17 – Definição das medidas do retângulo pela ferramenta “*Dimensão inteligente*”.

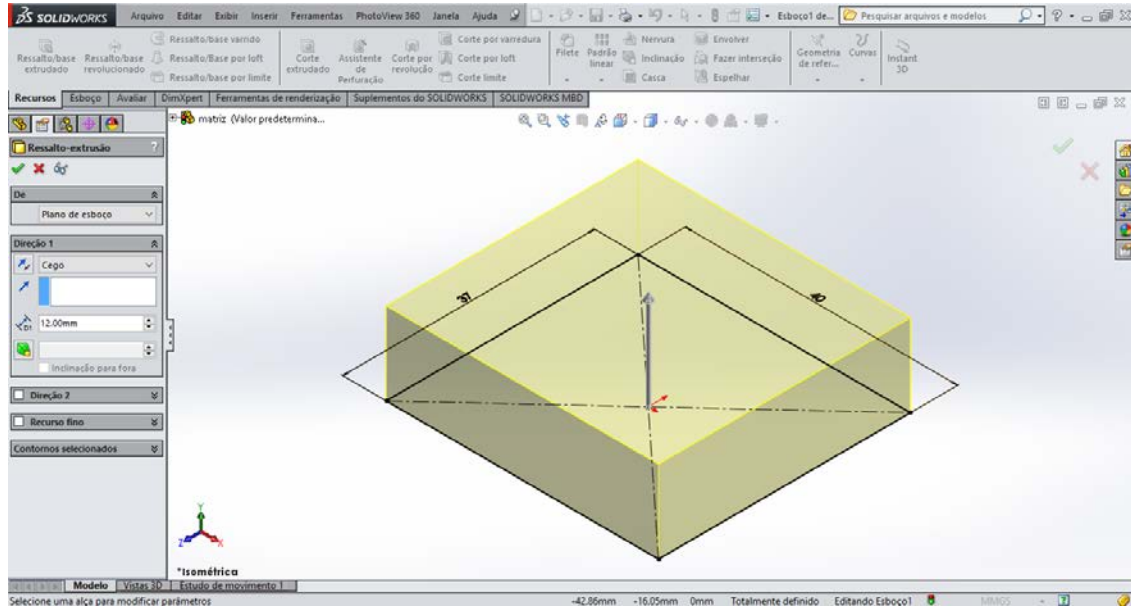


Fonte: Próprio autor.

Após a finalização do esboço, inicia-se a etapa de transformar o desenho bidimensional em um modelo tridimensional. Clicando na aba “*Recursos*”, e posteriormente na ferramenta “*Ressalto/base extrudado*”, automaticamente a vista do plano de trabalho se altera para uma posição em que os três eixos do plano são perceptíveis, e, como mostrado na Figura 18, é originada uma pré-visualização do sólido a ser gerado a partir do esboço previamente

concebido, com dimensão arbitrária de altura em direção ao eixo Y, perpendicular ao plano do esboço.

Figura 18 – Pré-visualização do sólido a ser gerado a partir do esboço.

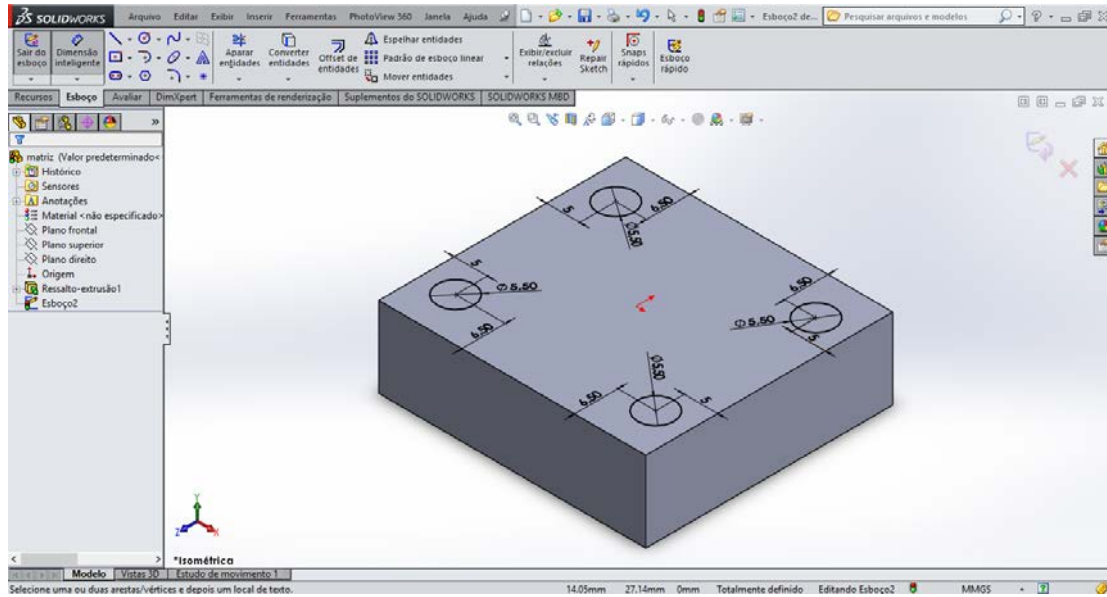


Fonte: Próprio autor.

Definindo-se a dimensão de altura da peça e clicando em “OK”, representado pelo botão verde em forma de *check mark*, o sólido é finalmente gerado a partir do esboço.

Para dar continuidade ao modelamento da peça, fazendo novos ressaltos, cortes ou furos, pode-se partir de novos esboços, que podem ser desenvolvidos sobre qualquer plano ou mesmo faces do sólido modelado. Clicando sobre a face superior da peça, paralela ao plano XZ, surge na tela um menu de ferramentas temporário, próximo ao cursor. Ao selecionar a ferramenta “*Novo esboço*”, um novo esboço é gerado e listado na árvore de projeto do “*FeatureManager*”, e com as ferramentas da aba “*Esboço*”, como “*Linha*”, “*Círculo*”, “*Retângulo*” e “*Dimensão inteligente*”, é gerado o desenho, conforme a Figura 19, que dará origem aos furos de alojamento dos parafusos.

Figura 19 – Esboço sobre uma face do sólido.

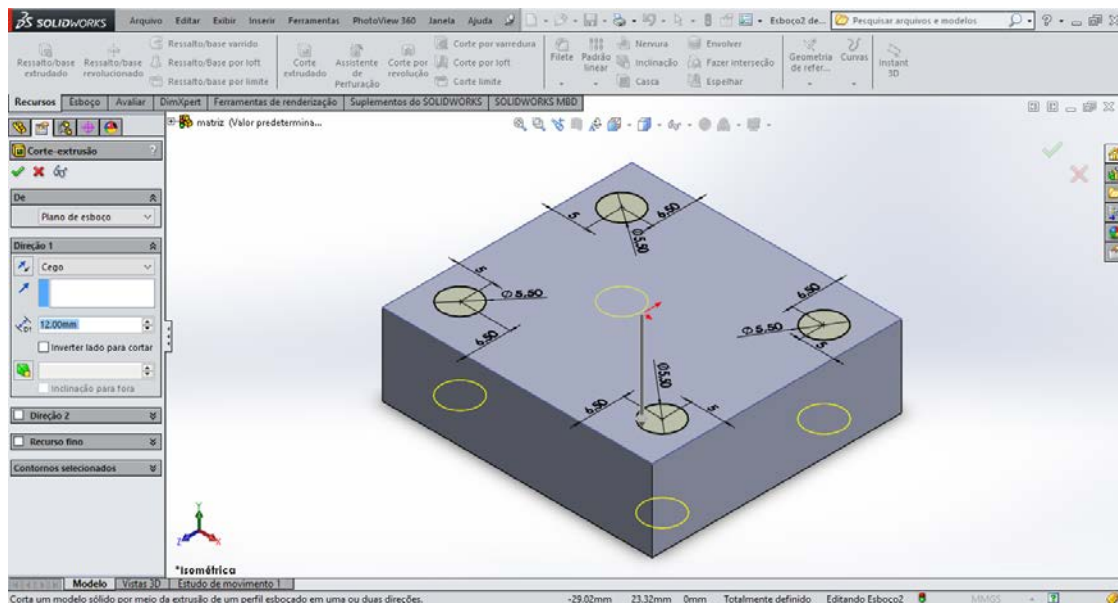


Fonte: Próprio autor.

Com o esboço concluído, novamente parte-se para a aba “Recursos”, a partir da qual pode-se acessar as ferramentas que transformam o sólido por meio do esboço elaborado.

No exemplo, o esboço das circunferências na face superior da *matriz* dá origem aos furos nos quais parafusos serão alojados, por meio da ferramenta “Corte-extrusão”, como evidenciado na Figura 20. Assim como na ferramenta “Ressalto/base extrudado”, existem diversas opções para o recurso, como profundidade, inclinação, entre outras.

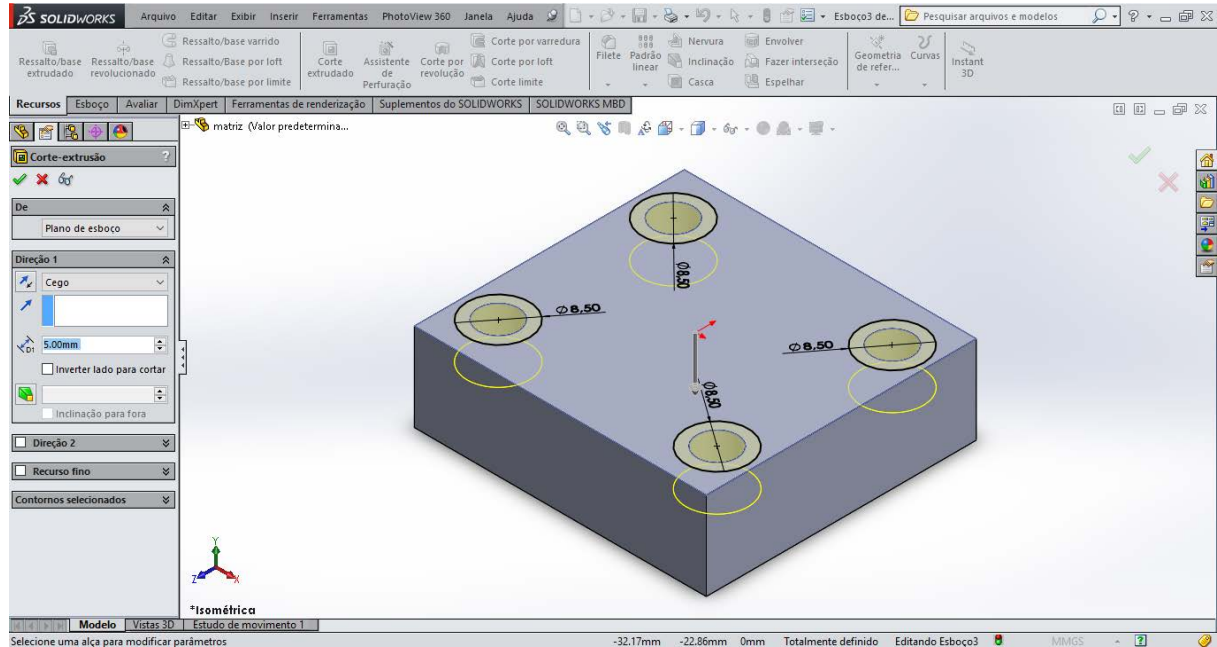
Figura 20 – Pré-visualização do corte a ser gerado a partir do esboço.



Fonte: Próprio autor.

Utilizando os mesmos recursos, são criados os furos onde serão alojadas as cabeças dos mesmos parafusos de fixação da *matriz*, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Pré-visualização dos cortes para alojamento das cabeças dos parafusos.

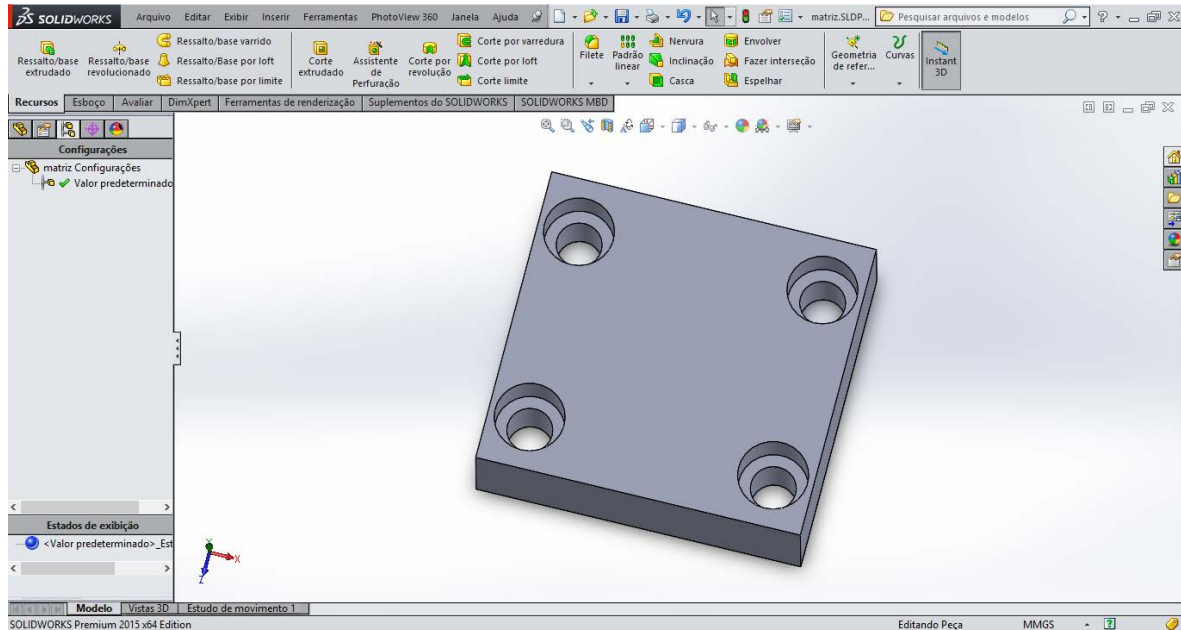


Fonte: Próprio autor.

Com a finalização dos furos, temos a base do que será a *matriz* da ferramenta de dobra. Antes de continuar o modelamento da *matriz*, desenhando o formato que dará origem à dobra no produto, pode-se acessar a aba “*ConfigurationManager*”, localizada na mesma barra onde se encontra a árvore de projeto do “*FeatureManager*”. Nesta aba, a peça criada até então é armazenada apenas como “*valor predeterminado*”, conforme se vê na Figura 22, e novas configurações podem ser criadas.



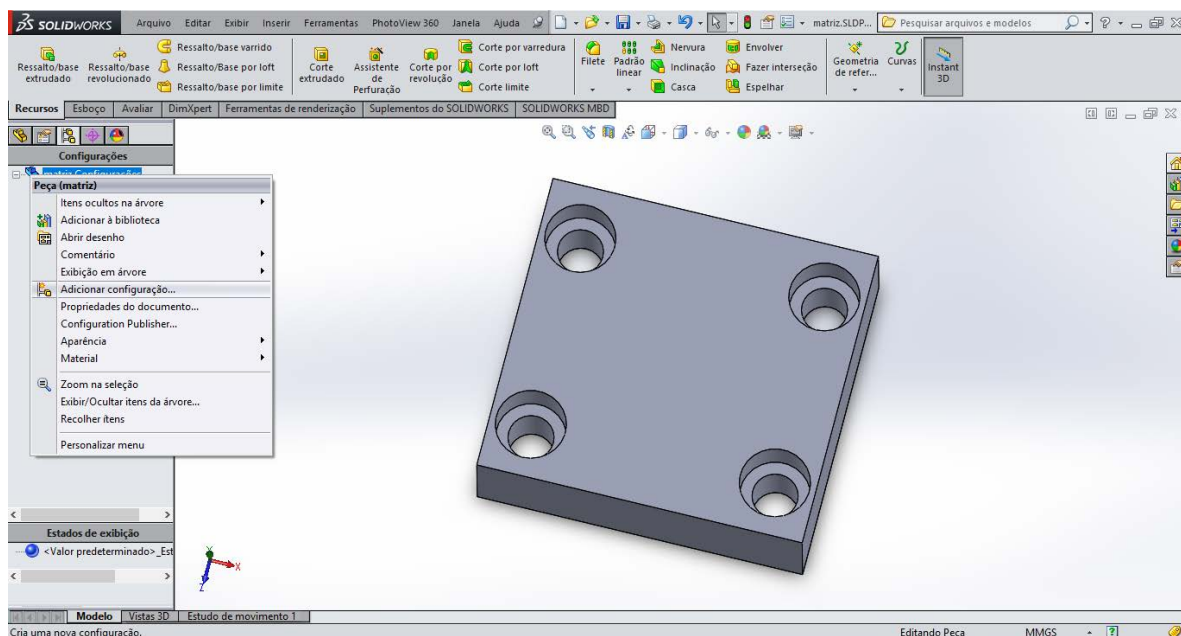
Figura 22 – Geometria básica da *matriz* armazenada como “valor predeterminado”.



Fonte: Próprio autor.

Clicando com o botão direito sobre o texto “*matriz Configurações*”, aparece na tela um menu suspenso, no qual dentre as diversas opções, encontra-se a ferramenta “*Adicionar configuração...*”, como mostrado na Figura 23. Selecionando esta opção, pode-se nomear a configuração que se deseja modelar (no caso, foi atribuído o nome “*Config02*”), e em seguida apertar o botão “*OK*”.

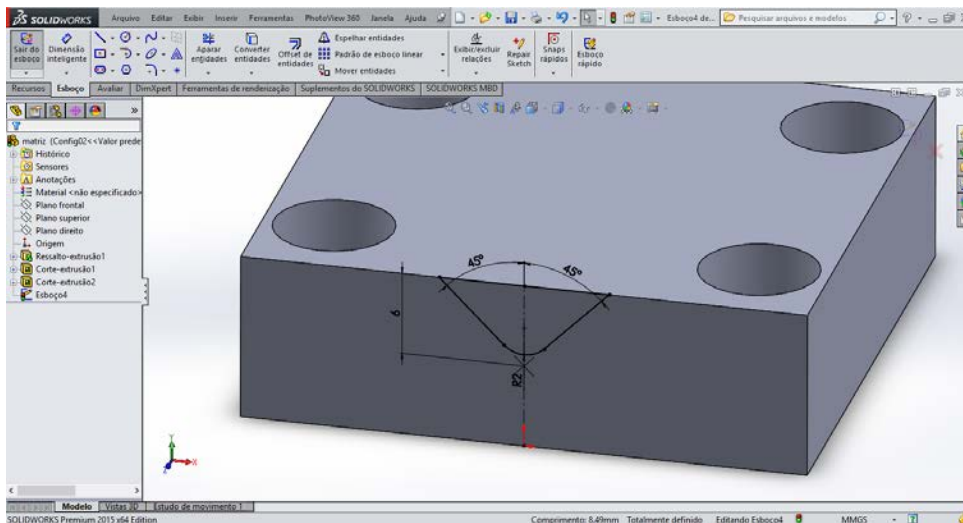
Figura 23 – Adicionando a primeira configuração à peça *matriz*.



Fonte: Próprio autor.

Neste momento, deixou-se de trabalhar com o “*valor predeterminado*” e passou-se a trabalhar especificamente com esta configuração criada. Todas os recursos utilizados e as operações feitas serão então armazenadas somente nesta configuração. A partir disto, seleciona-se uma face lateral da matriz, para a criação de um novo esboço, evidenciado na Figura 24, contendo as linhas e dimensões que representam o perfil que originará a dobra do produto.

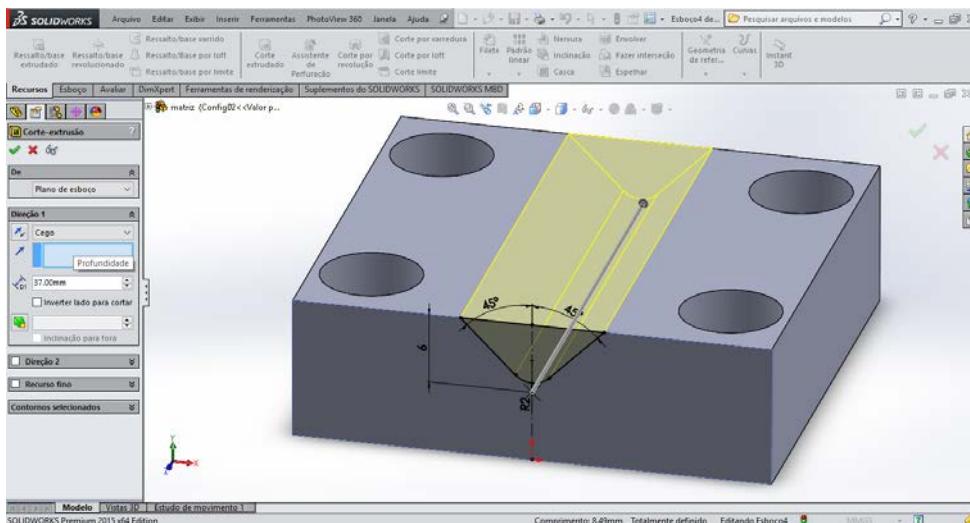
Figura 24 – Esboço de perfil para primeira configuração da *matriz*.



Fonte: Próprio autor.

Com o esboço do perfil concluído, aciona-se novamente a ferramenta “*Corte-extrusão*” na aba “*Recursos*”, para dar origem ao formato que caracteriza a matriz da ferramenta de dobra. A Figura 25 mostra como será realizado o corte na peça.

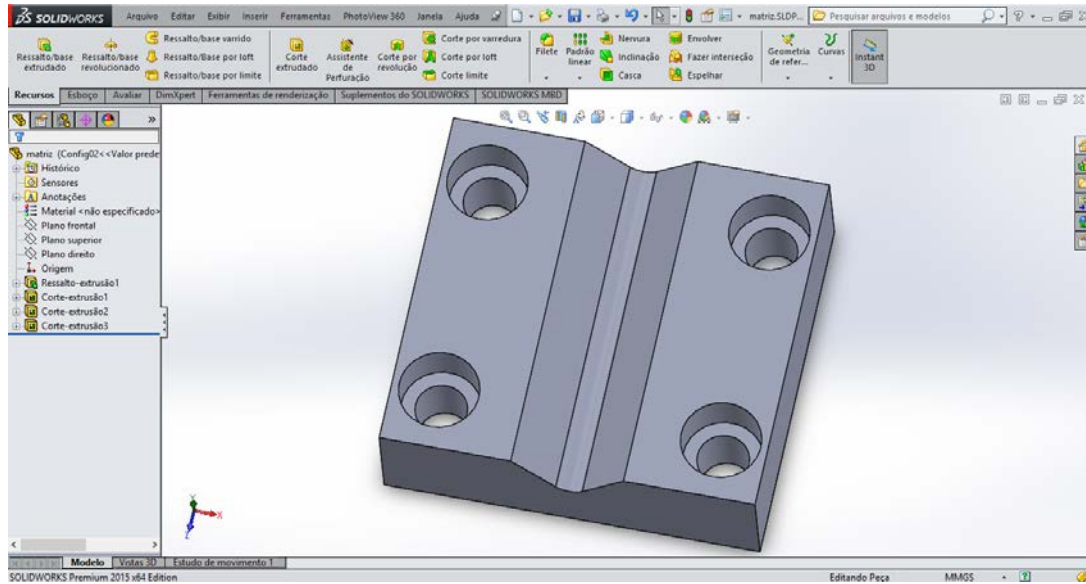
Figura 25 – Pré-visualização do corte para primeira configuração da *matriz*.



Fonte: Próprio autor.

Tem-se então, representada na Figura 26, a primeira configuração da *matriz* de dobra finalizada, com os furos para alojamento dos parafusos de fixação à base da ferramenta, bem como com o canal onde a chapa metálica se deformará para dar origem ao produto dobrado.

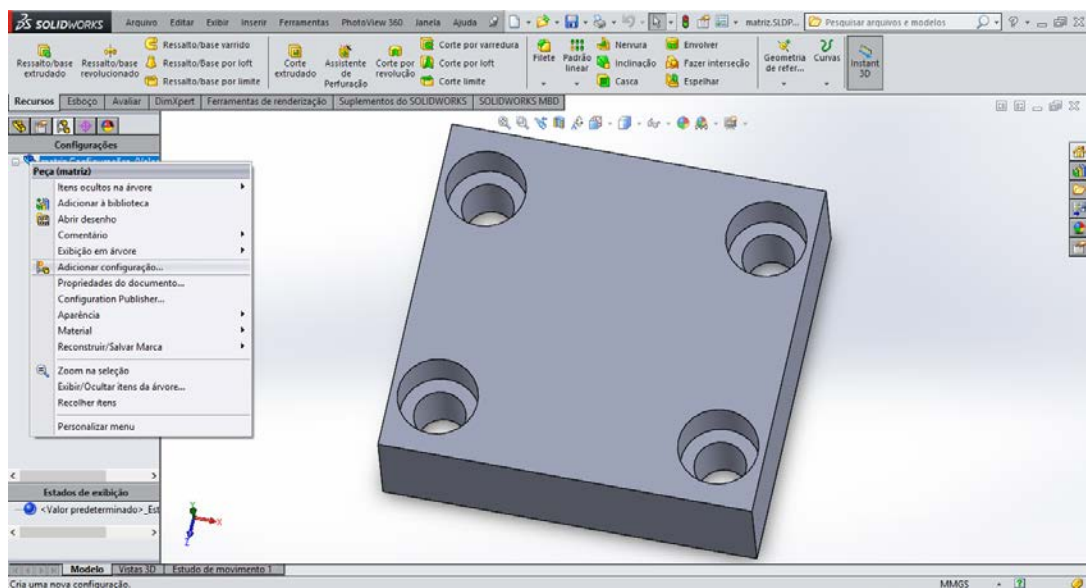
Figura 26 – Primeira configuração da *matriz* da ferramenta de dobra.



Fonte: Próprio autor.

Visitando novamente a aba “*ConfigurationManager*”, seleciona-se mais uma vez a ferramenta “*Adicionar configuração...*”, para criar então uma nova configuração da *matriz*, conforme mostrado na Figura 27.

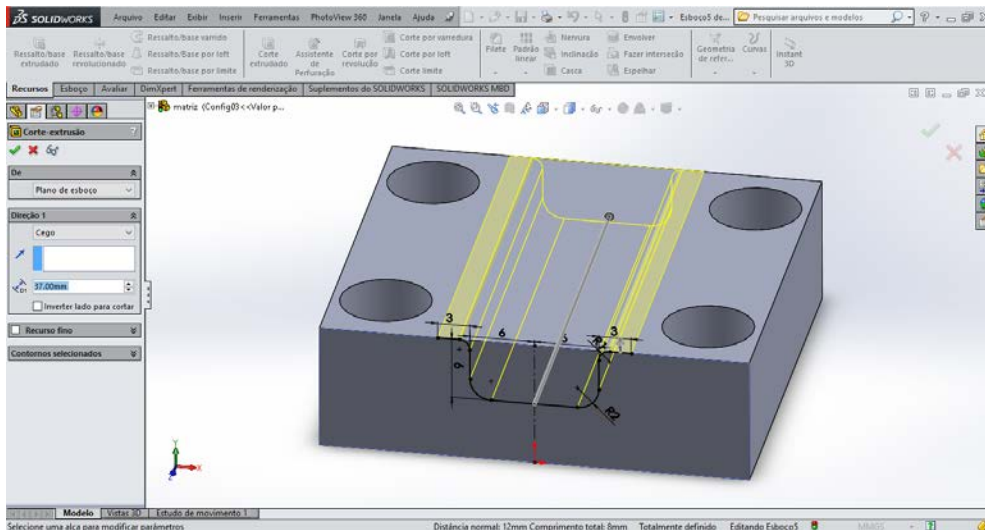
Figura 27 - Adicionando a segunda configuração à peça *matriz*.



Fonte: Próprio autor.

Repetindo o procedimento já realizado para a criação do canal de dobra, cria-se o esboço do perfil conforme representado na Figura 28, para um diferente processo de estampagem de chapa metálica. As operações de esboço e o subsequente corte no sólido são realizadas exclusivamente dentro desta nova configuração (denominada “*Config03*”).

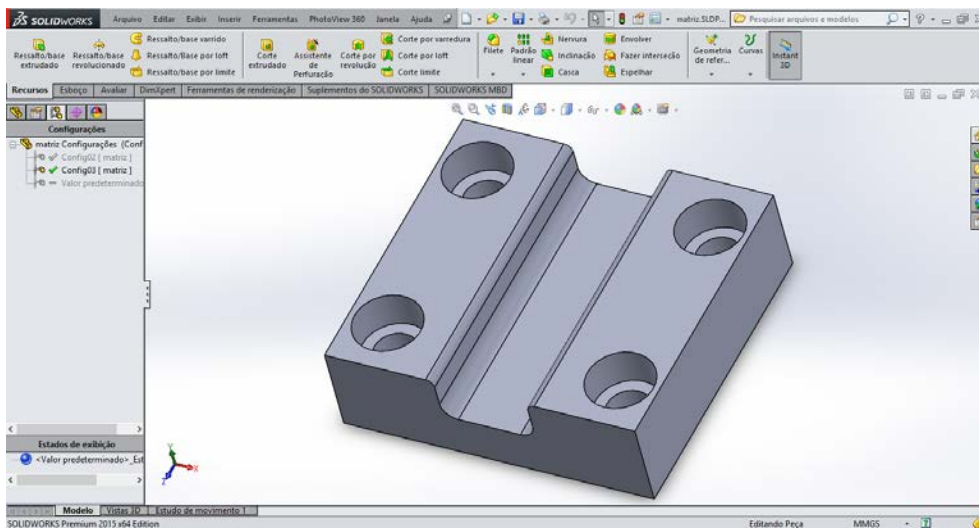
Figura 28 – Pré-visualização do corte para segunda configuração da *matriz*.



Fonte: Próprio autor.

Dentro do mesmo arquivo, são então armazenadas duas diferentes configurações de *matriz*, que podem ser selecionadas por duplo clique sobre o seu nome, na árvore “*matriz Configurações*”, dentro de “*ConfigurationManager*”, para assim serem visualizadas na tela. A segunda versão completa da matriz pode ser visualizada na Figura 29.

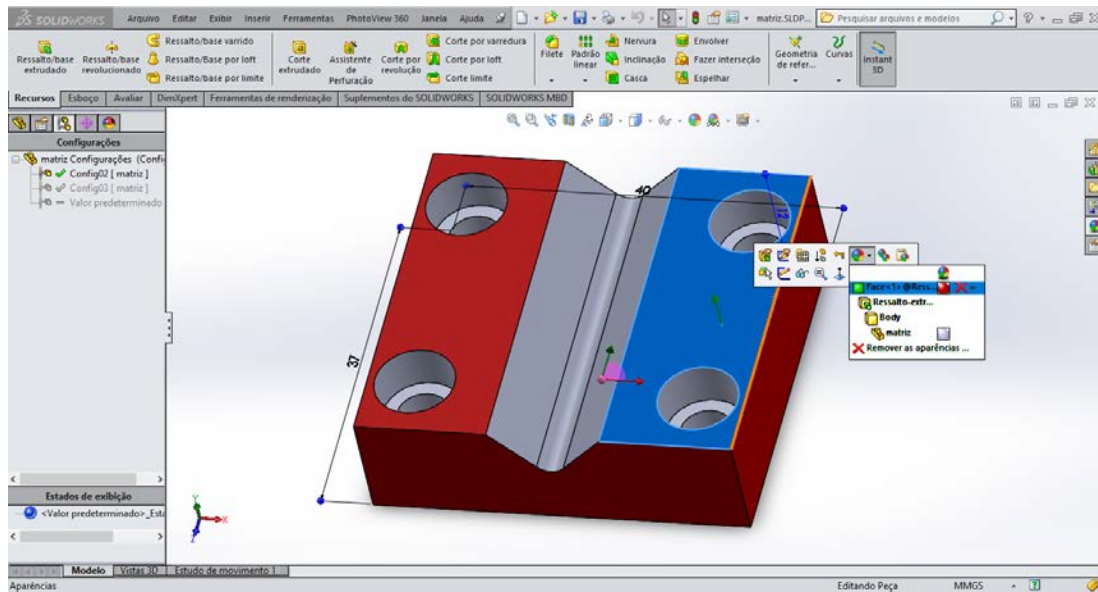
Figura 29 – Segunda configuração da *matriz* da ferramenta de dobra.



Fonte: Próprio autor.

Com o intuito de melhorar a visualização do canal onde ocorrerá a dobra da chapa metálica na *matriz*, as faces da peça podem ser coloridas, como visto na Figura 30, utilizando a ferramenta “*Aparências*”, disposta no menu suspenso temporário que aparece na tela ao clicar sobre a face.

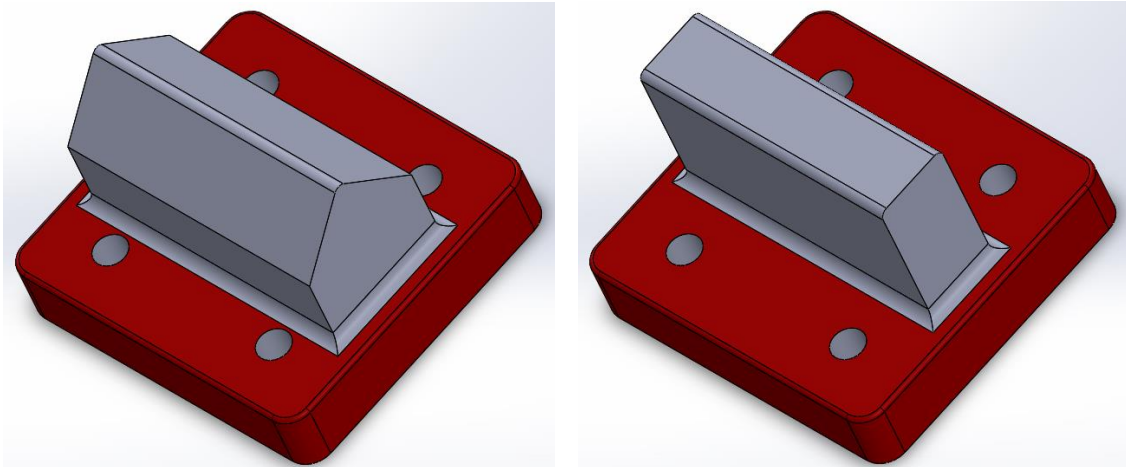
Figura 30 – Aplicação de cores nas faces da peça com a ferramenta “*Aparências*”.



Fonte: Próprio autor.

De forma análoga, é criado o arquivo referente ao *punção* da ferramenta de dobra. A *matriz* e o *punção* são os componentes do conjunto que, de fato, entrarão em contato com a chapa, deformando-a e dando origem ao produto. Assim sendo, o perfil do *punção* deve ser compatível ao perfil da *matriz*, e, portanto, devem ser criadas também duas configurações para o *punção*. Estas duas versões, com perfis denominados *retangular* e *quadrado*, são mostradas na Figura 31.

Figura 31 – As duas configurações do *punção* da ferramenta de dobra.



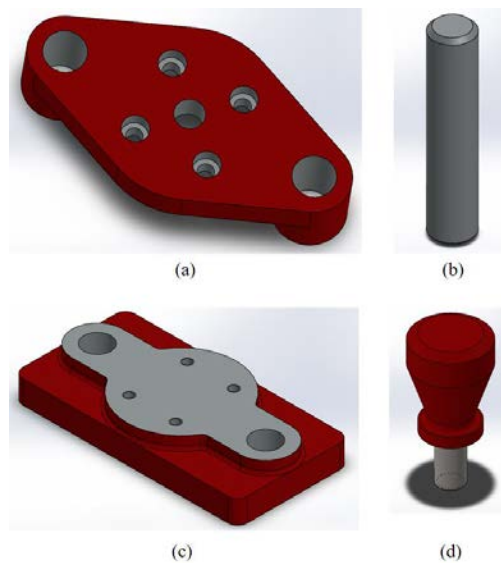
(a) Punção de perfil retangular

(b) Punção de perfil quadrado

Fonte: Próprio autor.

Os outros componentes da ferramenta de dobra, mostrados na Figura 32, são modelados no software de forma semelhante, utilizando-se das mesmas ferramentas e dos mesmos recursos descritos na modelagem da matriz. Os parafusos, que são componentes padrão, já estão prontos e disponíveis para utilização na própria “*Caixa de ferramentas*” do software *SolidWorks*.

Figura 32 – Componentes da ferramenta de dobra: (a) *base superior*; (b) *coluna*; (c) *base inferior*; (d) *espiga*.

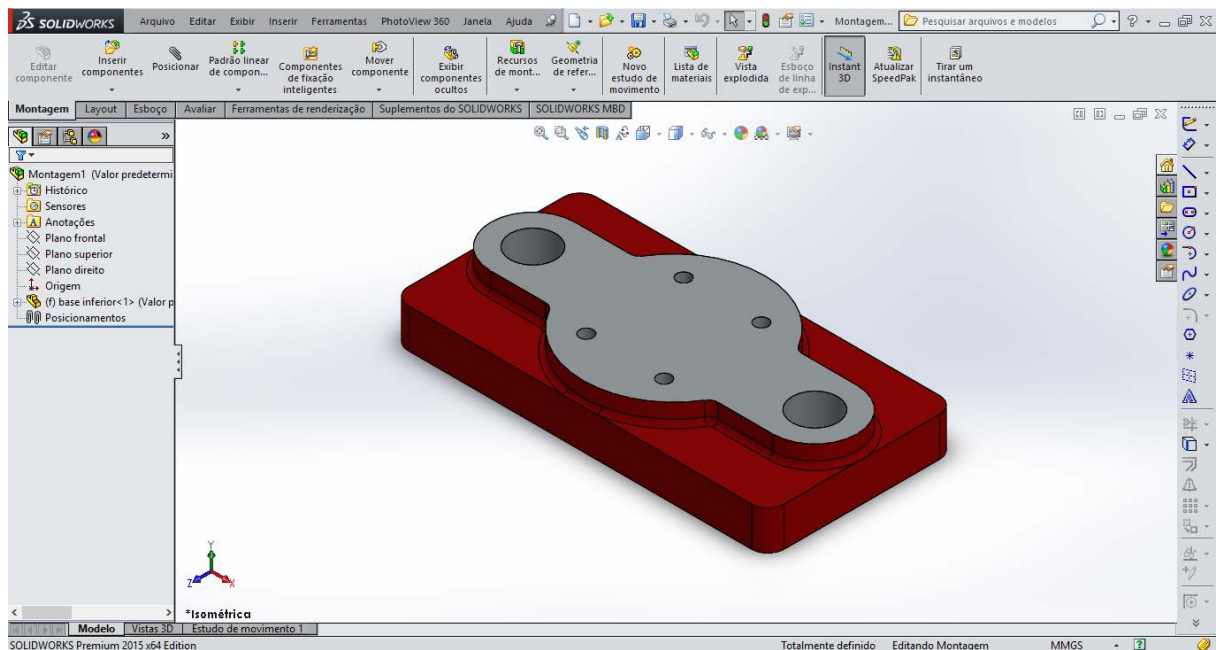


Fonte: Próprio autor.

## 4.2 MONTAGEM DO CONJUNTO

Após a etapa de modelamento dos componentes, pode-se finalmente criar um arquivo de montagem, selecionando no software *SolidWorks* a opção “*Novo*”, e em seguida “*Montagem*”. Ao abrir o plano de trabalho para criação da montagem, automaticamente está ativa a ferramenta “*Iniciar montagem*”. Para começar, deve-se clicar no botão “*Procurar...*”, e então selecionar o arquivo de uma das peças modeladas. Mas deve-se atentar a um detalhe muito importante: esta primeira peça a ser selecionada será a base de toda a montagem, ou seja, a peça que permanecerá fixa em relação à origem do plano de trabalho da montagem. Portanto, por conveniência, a peça a ser selecionada para a montagem da ferramenta de dobra deve ser a *base inferior*. Ao selecionar esta peça, basta clicar no botão “*OK*” e a mesma será posicionada no centro da área de trabalho, como pode-se ver na Figura 33.

Figura 33 – *Base inferior* como primeira peça da montagem da ferramenta de dobra.



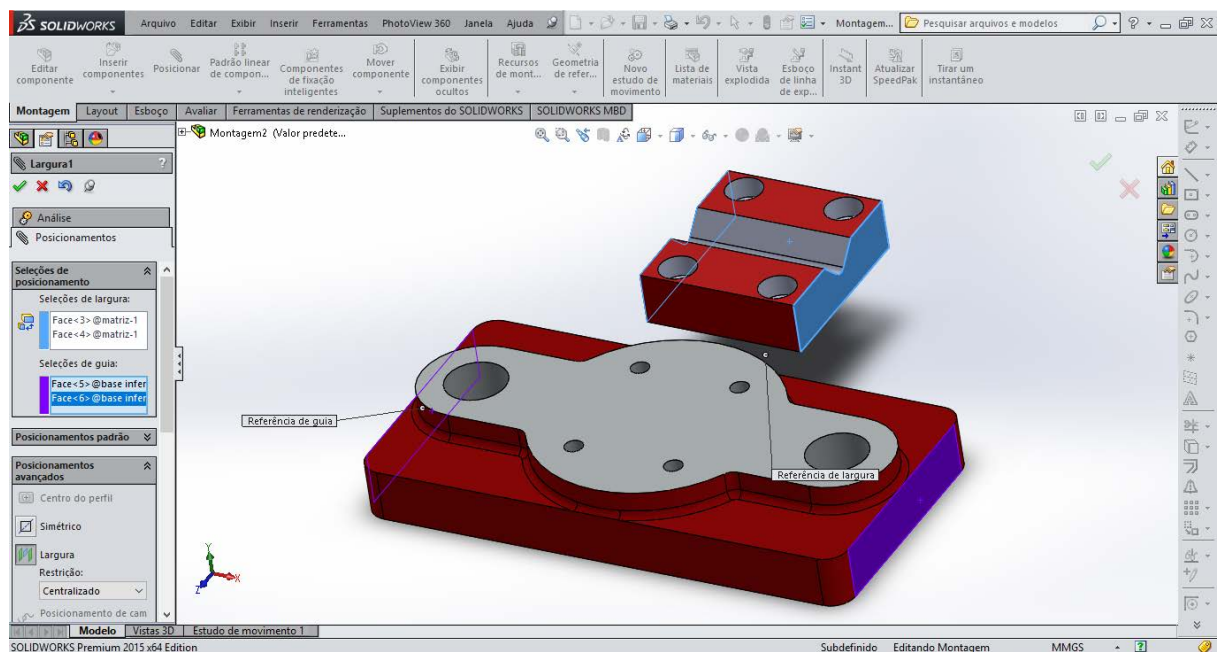
Fonte: Próprio autor.

Com a *base inferior* fixa, podemos selecionar a próxima peça para a montagem, que será a *matriz*. Na aba “*Montagem*”, seleciona-se a ferramenta “*Inserir componentes*”, e em seguida “*Procurar...*”. Na janela aberta, seleciona-se o arquivo referente à *matriz*, que surge na área de trabalho da montagem. Basta então clicar em qualquer ponto da área, para confirmar a adição da peça.

A partir da ferramenta “*Posicionar*”, também localizada na aba “*Montagem*”, a *matriz* será então situada corretamente sobre a *base inferior*. Ao selecionar esta ferramenta, o campo “*seleções de posicionamento*” já estará ativo. Clicando sobre a face superior da *base inferior* e sobre a face inferior da *matriz*, o *software* automaticamente propõe a opção “*Coincidente*”, na aba “*Posicionamentos padrão*”, no canto esquerdo da tela. Como este é a relação desejada, visto que a *matriz* deve posicionar-se sobre a base inferior, clica-se no botão “*OK*”, para aceitar o recurso.

Para continuar com o posicionamento da *matriz*, necessita-se fixar esta peça no centro da base. Selecionando novamente a ferramenta “*Posicionar*”, e posteriormente, dentro da aba “*Posicionamentos avançados*”, a opção “*Largura*”, com a restrição “*Centralizado*” ativa, pode-se centralizar duas faces paralelas de uma peça com duas faces paralelas da outra peça da montagem. Na coluna referente à ferramenta (canto esquerdo), percebe-se que o campo “*Seleções de largura*” está ativo. Seleciona-se então as duas faces laterais opostas da *matriz*, onde pode-se ver o perfil do canal da dobra, em seguida clica-se no campo “*Seleções de guia*”, e clica-se nas duas faces opostas menores da base inferior. A *matriz* instantaneamente se moverá de forma a centralizar-se longitudinalmente em relação à *base inferior*, como mostrado na Figura 34. Basta então clicar no botão *OK*, para aceitar o recurso. O mesmo procedimento pode ser feito para centralizar as outras duas faces laterais da *matriz*, em relação às duas faces laterais maiores da *base inferior*.

Figura 34 – Utilização da ferramenta de posicionamento avançado “*Largura*”.



Fonte: Próprio autor.

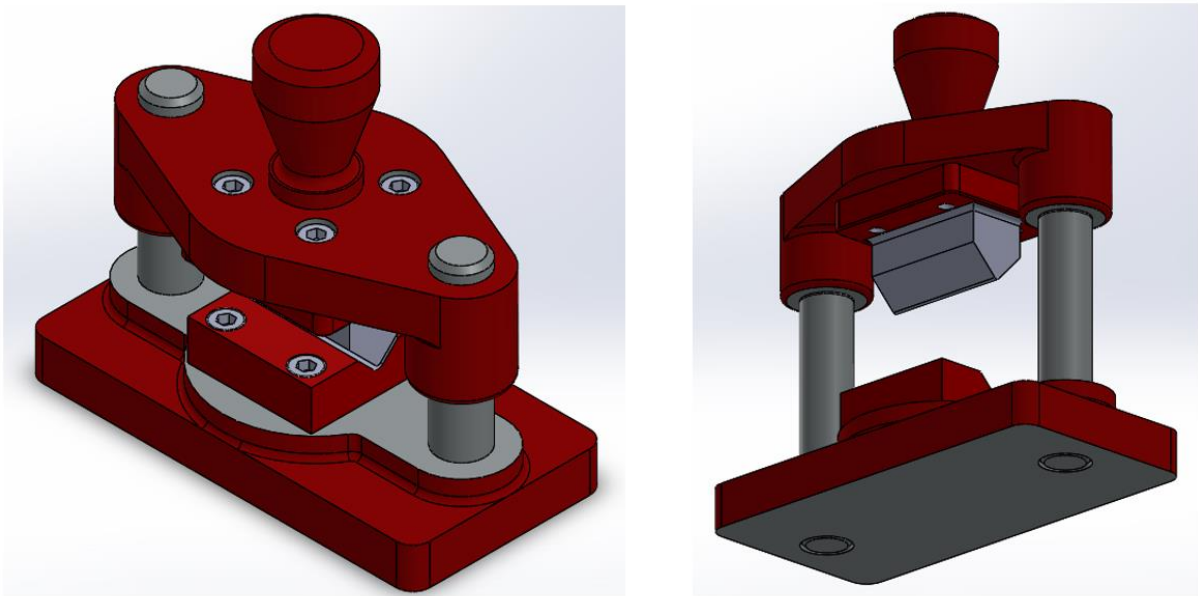


Os outros componentes do conjunto podem ser inseridos no arquivo de montagem e posicionados utilizando-se dos diversos recursos contidos na ferramenta “*Posicionar*”, de acordo com o que se deseja.

Opções de posicionamento também muito importantes na ferramenta “*Posicionar*”, e necessárias para praticamente toda montagem de conjunto, são: “*Concêntrico*”, na aba “*Posicionamentos padrão*”, por meio da qual dois itens de geometria circular (sejam estas circunferências, ou superfícies cilíndricas, por exemplo) podem ser posicionadas de forma que seus centros ou eixos centrais se tornem coincidentes; “*Paralelo*”, na aba “*Posicionamentos padrão*”, cujo objetivo é tornar paralelos dois itens (sejam estas linhas sobre um plano, ou faces planas); e “*Distância*”, na aba “*Posicionamentos padrão*”, por meio da qual pode ser definida a distância entre dois itens (sejam estas linhas sobre um plano, ou faces planas), ou até mesmo as distâncias máxima e mínima, caso seja selecionada a opção de mesmo nome dentro da aba “*Posicionamentos avançados*”.

Com o uso da ferramenta “*Inserir componentes*” e dos recursos de posicionamento citados, é possível realizar a montagem de todo o conjunto da ferramenta de dobra, como vê-se na Figura 35.

Figura 35 – Montagem completa da prensa de dobra com a primeira configuração.

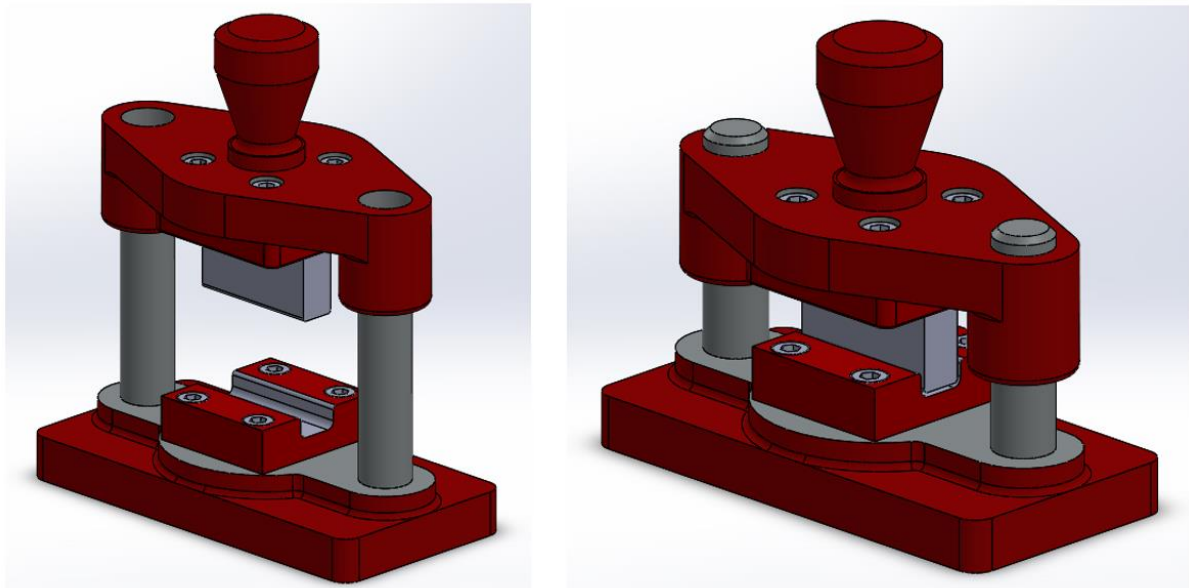


Fonte: Próprio autor.

Para modificar a configuração da *matriz* e do *punção* na própria montagem é muito simples. Basta clicar com o botão esquerdo do *mouse* sobre qualquer face da peça que se

deseja alterar a configuração. Desta forma a peça de destacará na árvore de projeto do “*FeatureManager*”, no canto esquerdo da tela. Clicando novamente com o botão esquerdo do *mouse* agora sobre o nome da peça listado na árvore, surge na tela, próximo ao cursor, um menu suspenso temporário de ferramentas. Acima deste menu, localiza-se, também temporariamente, uma lista suspensa, onde pode-se selecionar as diferentes configurações da peça, e, em seguida, clicar em “OK”. Neste momento, a peça terá sua configuração alterada na montagem, como evidenciado na Figura 36, sem que nenhum dos posicionamentos seja afetado. Vale ressaltar a importância de não aplicar posicionamentos aos itens variáveis conforme configuração, já que isto ocasionaria inconsistências no momento de troca de configuração.

Figura 36 – Montagem completa da prensa de dobra com a segunda configuração.



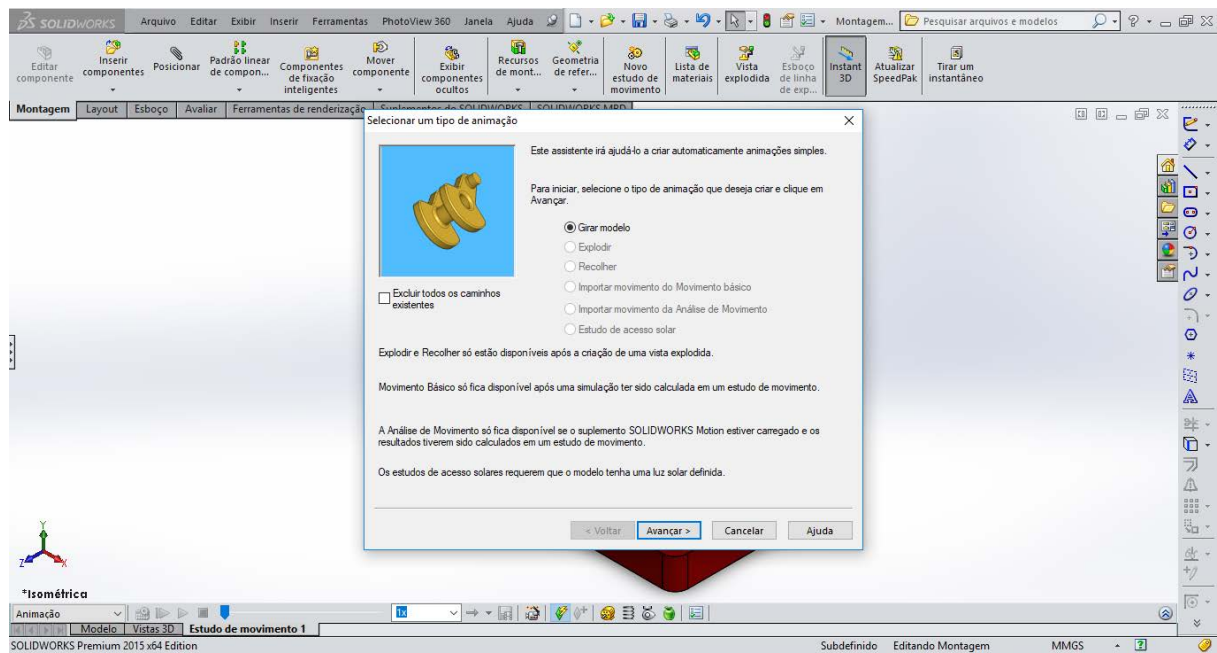
Fonte: Próprio autor.

### 4.3 SIMULAÇÕES DE MOVIMENTO

Ainda com o arquivo de montagem da prensa de dobra aberto, é possível criar animações e vídeos, mostrando o conjunto em movimento, a partir de ferramentas do próprio *SolidWorks*. Este recurso possibilita uma melhor visualização da montagem, podendo ter diversas aplicações, como, por exemplo, uma apresentação de projeto em computador que não possua o *software*, ou na qual não haveria tempo para inicializar o programa e carregar os desenhos.

Primeiramente, para a criação de uma animação mais simples, seleciona-se, na aba “*Montagem*”, a ferramenta “*Novo estudo de movimento*”. Uma barra de ferramentas surgirá na parte inferior da tela. Nesta barra encontra-se a ferramenta “*Inserir uma rotação da vista ou explode/recolhe no local atual da barra de tempo*”, sobre a qual deve-se clicar em seguida. A Figura 37 apresenta a tela que se abre na sequência.

Figura 37 – Tela da ferramenta de vídeo para selecionar um tipo de animação.



Fonte: Próprio autor.

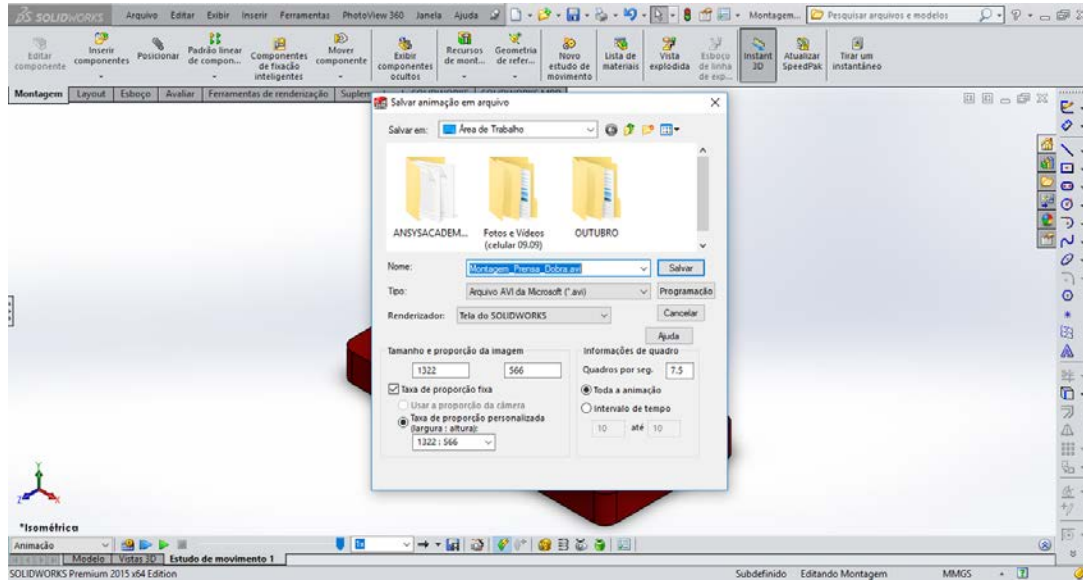
Observando as possibilidades listadas na tela, percebe-se que o *SolidWorks* permite a criação de diversos tipos de animação, porém para o tipo de montagem desenvolvido neste trabalho, apenas a opção “*Girar modelo*” está disponível, pois as opções “*Explodir*” e “*Recolher*” só são possíveis após a criação de uma *vista explodida*, que será abordada posteriormente, e as demais opções requerem análises e cálculos mais profundos da montagem, a partir de extensões do *software* que não estão disponíveis na versão utilizada.

Clicando em “*Avançar*”, pode-se ainda escolher o eixo em torno do qual o conjunto rotacionará, bem como o número de rotações e o sentido. Após clicar em “*Avançar*” mais uma vez, pode-se também definir o tempo de duração da animação, em segundos. Por fim, selecionando o botão “*Concluir*”, tem-se a animação terminada.

Na barra de ferramentas de “*Novo estudo de movimento*”, encontra-se o botão “*Play*”, a partir do qual verifica-se o resultado obtido, na própria tela de trabalho do *SolidWorks*.

Na mesma barra de ferramentas, clica-se na opção “*Salva a animação como um arquivo AVI ou de outro tipo*”. A Figura 38 mostra a tela que se abre em seguida.

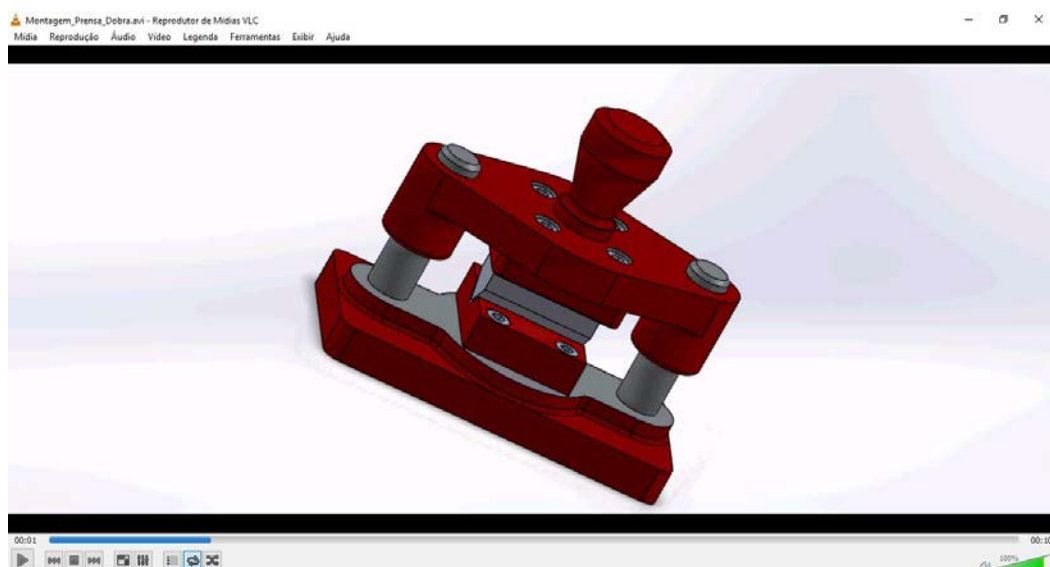
Figura 38 – Tela para salvar a animação como arquivo de vídeo.



Fonte: Próprio autor.

Escolhe-se, então, o nome do arquivo, o local onde este será armazenado, sua extensão, o número de quadros por segundo, entre outras opções. Finalmente, clicando no botão “*Salvar*”, tem-se o arquivo de vídeo gerado a partir da animação da montagem. Na Figura 39, vê-se uma imagem da exibição do vídeo através de um aplicativo reproduzidor multimídia.

Figura 39 – Reprodução de vídeo gerado pelo *SolidWorks*.



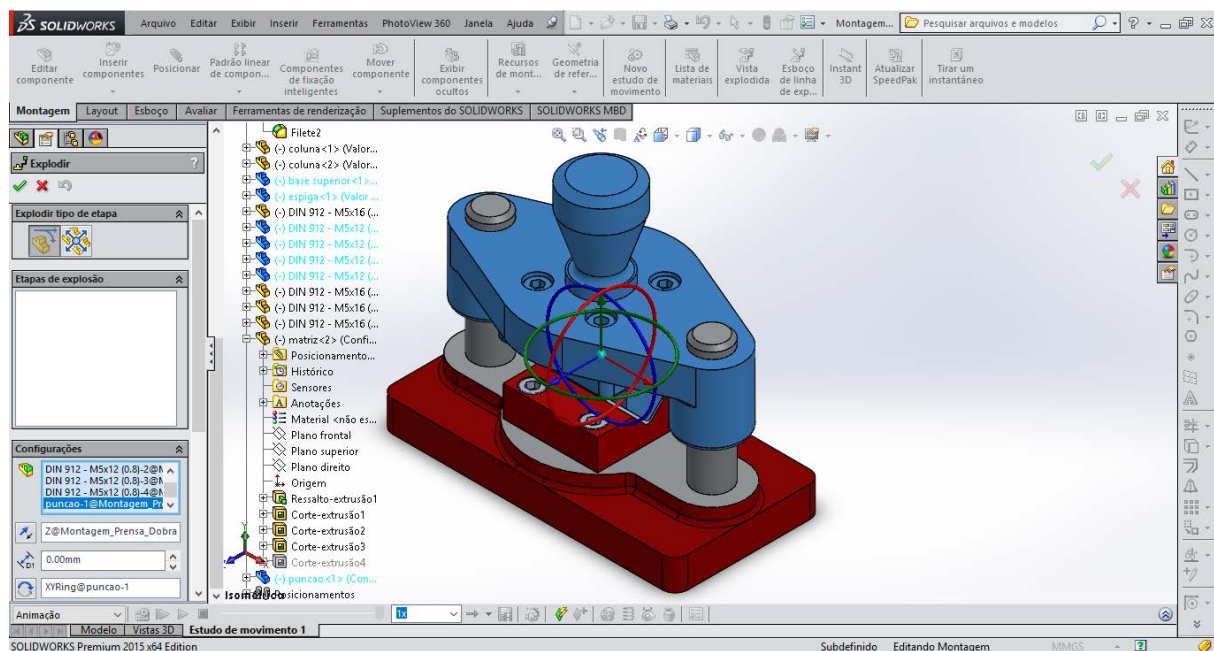
Fonte: Próprio autor.

Também é possível criar uma animação na qual o movimento da prensa durante o processo de dobramento é visualizado. Para isso, como não foi feita previamente uma análise de movimento na montagem do conjunto, é necessário gerar este movimento a partir da ferramenta “*Vista explodida*”.

Ao clicar sobre esta ferramenta, também disponível na aba “*Montagem*”, é necessário primeiramente selecionar as peças que devem se mover, que serão, então, listadas na caixa de seleção “*Componentes da etapa de explosão*”, no canto esquerdo da tela. Os componentes podem ser selecionados por meio de um simples clique sobre os mesmos, no próprio desenho, pressionando a tecla “*Ctrl*”, para que se possa selecionar mais de uma peça, ou a seleção pode ser feita através da árvore de projeto da montagem, clicando sobre o nome da peça.

Para uma animação que simule o processo de dobramento, seleciona-se a *espiga*, a *base superior*, o *punção* e os quatro parafusos que fixam o *punção* na *base superior*, pois este é o conjunto móvel de uma prensa de dobra, como mostra a Figura 40.

Figura 40 – Seleção das peças que se movimentarão na animação.

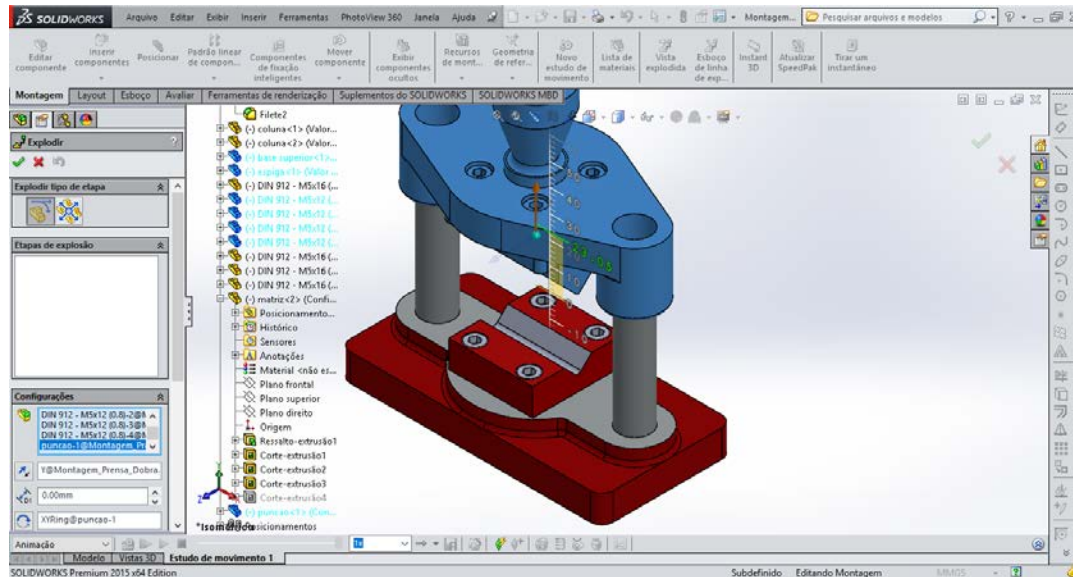


Fonte: Próprio autor.

Ao selecionar os componentes desejados, surgem elementos na tela que representam as suas possibilidades de movimento. As setas representam a translação nas direções em que estão alinhadas, e as circunferências representam as rotações nos eixos em que estão centralizadas. Como deseja-se movimentar o conjunto selecionado para “*cima*”, ou seja, no

sentido positivo do eixo Y, seleciona-se a seta que está alinhada a este eixo, e arrasta-se o cursor para o sentido desejado, conforme a Figura 41.

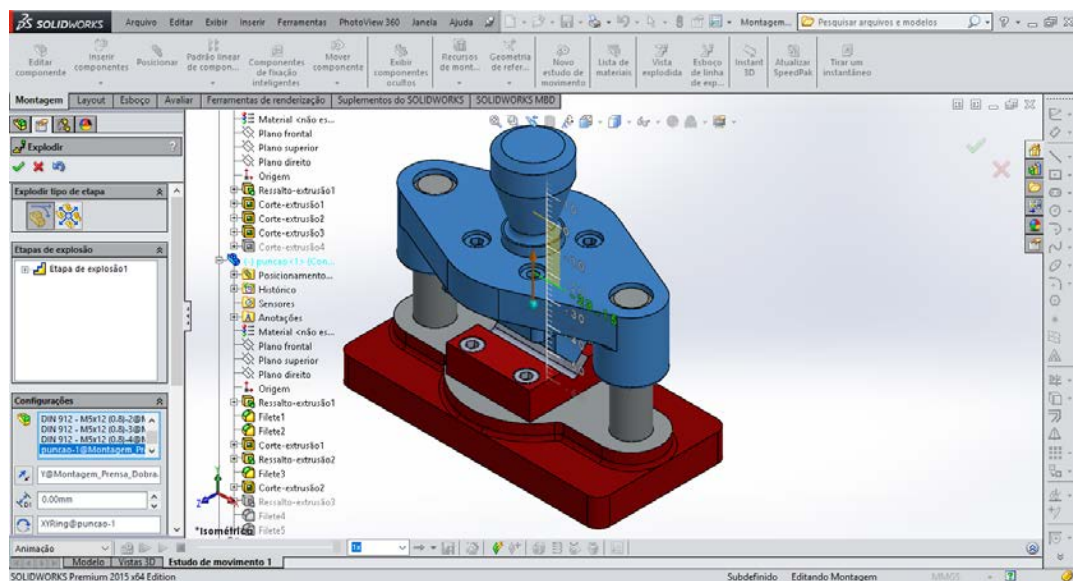
Figura 41 – Movimento de subida do conjunto móvel.



Fonte: Próprio autor.

Para controlar as medidas de deslocamento dos componentes, basta utilizar o campo “*Distância*”, localizado no canto esquerdo da tela, e entrar com o valor desejado. Após clicar em qualquer região da tela, este movimento de conjunto é aceito e listado na árvore “*Etapas de explosão*” sob o nome “*Etapa de explosão1*”, conforme evidenciado na Figura 42.

Figura 42 – Segunda etapa de explosão do conjunto.

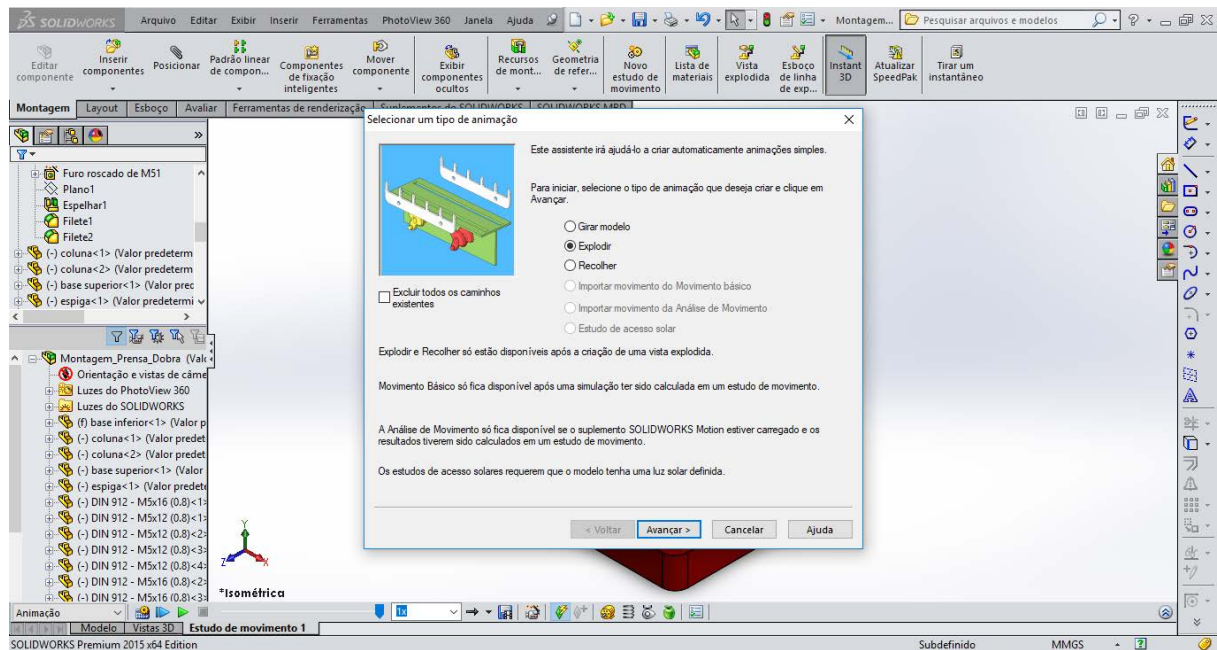


Fonte: Próprio autor.

Com a ferramenta “*Vista explodida*” ainda selecionada, um novo deslocamento deve ser realizado para que o movimento de abrir e fechar da prensa seja concluído. Selecionando os mesmo componentes da etapa anterior, e clicando na mesma seta de deslocamento referente ao eixo Y, deve-se arrastar o conjunto móvel para o sentido negativo do eixo, e preencher o campo “*Distância*” com a medida anteriormente utilizada para a primeira etapa, porém agora em sentido oposto. Feito isto, o conjunto volta a posição inicial e a segunda etapa de explosão é listada no campo “*Etapas de explosão*”.

Selecionando-se novamente a ferramenta “*Inserir uma rotação da vista ou explode/recolhe no local atual da barra de tempo*”, percebe-se que agora estão disponíveis as opções “*Explodir*” e “*Recolher*” na lista de possíveis animações, como se vê na Figura 43.

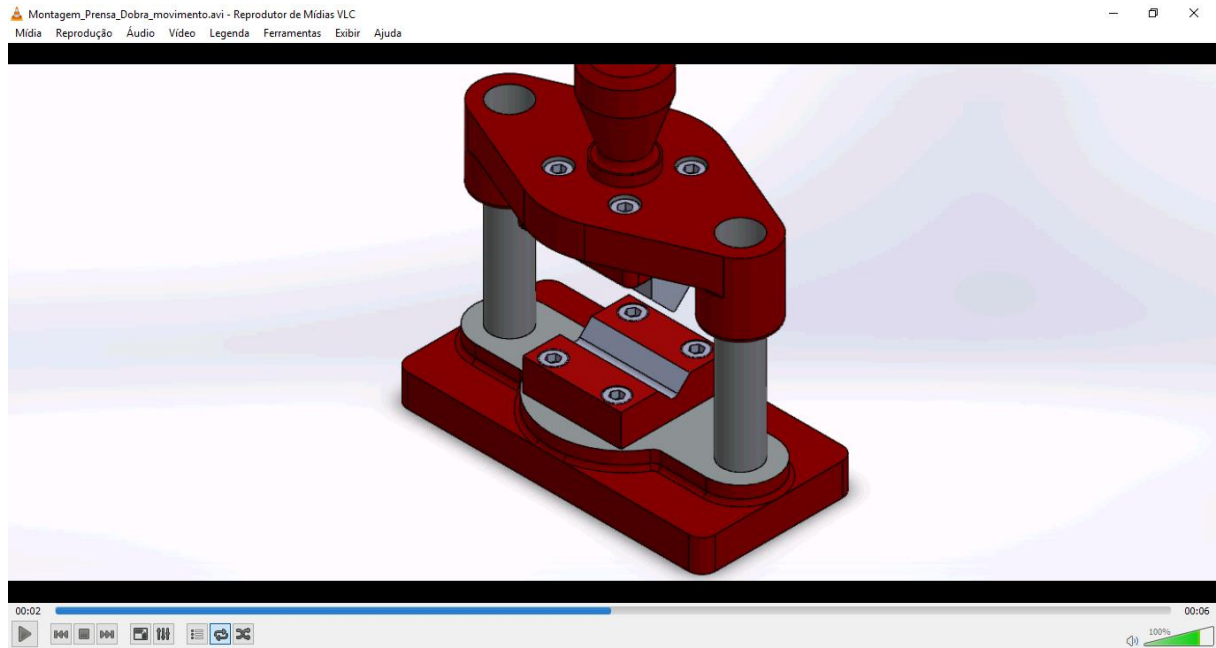
Figura 43 – Mais opções para tipos de animação.



Fonte: Próprio autor.

Estas opções estão disponíveis, porque agora a montagem possui etapas definidas de vista de explosão. Seleciona-se então a opção “*Explodir*”, e ao clicar em “*Avançar*”, escolhe-se as características da animação, conforme feito anteriormente para a animação mais simples. Finalmente, clicando em “*Salva a animação como um arquivo AVI ou de outro tipo*”, obtém-se um segundo vídeo de animação, agora com o movimento do conjunto da prensa de dobra. A Figura 44 mostra uma imagem do segundo vídeo, reproduzido por aplicativo multimídia.

Figura 44 – Reprodução de vídeo com movimento do conjunto.



Fonte: Próprio autor.



## 5 CONCLUSÕES

As necessidades de maior eficiência nos projetos de ferramentas de conformação mecânica, decorrentes da crescente diversificação e da aceleração dos ciclos de produção de peças metálicas, tem feito do emprego de tecnologias de *CAD* uma importante vantagem competitiva para os fabricantes destas ferramentas.

Projetos que, anteriormente, só eram realizáveis partindo-se de tentativas e erros, de desenhos feitos a mão, ou de confecções de protótipos físicos, podem hoje ser desenvolvidos de forma muito mais imediata e acurada com a ajuda de *softwares* de *CAD*.

O *SolidWorks* é uma ferramenta robusta, precisa e de fácil utilização, com recursos muito versáteis e intuitivos, o que garante o desenvolvimento de desenhos tridimensionais de forma prática e rápida.

A possibilidade de criação de diferentes configurações para uma peça em um mesmo arquivo, bem como a facilidade de se acessar as diferentes versões, simplifica muito o projeto de conjuntos em que trocas de apenas alguns detalhes de componentes são comuns, como no caso da prensa de dobra, ou em outros mecanismos de conformação mecânica.

O ambiente de montagem do *SolidWorks* oferece opções de posicionamento muito objetivas, simples e completas, através de uma interface amigável e de fácil entendimento. O recurso de criação de animações colabora muito para a visualização e o compartilhamento dos projetos desenvolvidos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização do recurso de análise estrutural em elementos finitos, disponível em *softwares* de *CAE*, sobre as ferramentas da prensa de dobra (matriz e punção), para a simulação de dobramento em uma chapa metálica. Desta forma, aplicando os materiais mais adequados aos componentes do conjunto e à chapa metálica, os esforços e deformações dos elementos podem ser analisados.

Com o desenvolvimento deste trabalho, foi possível compreender o quão fundamentais são os softwares *CAD* para a elaboração de projetos mecânicos em geral, e, portanto, o quão importante é o ensino da utilização destes softwares em cursos de engenharia, para a obtenção de uma formação mais completa e alinhada às expectativas do mercado.

## REFERÊNCIAS

BRESCIANI FILHO, E., et.al. **Conformação plástica dos metais**. 6. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2011. p. 12-16

CHIAVERINI, V. **Tecnologia mecânica: processos de fabricação e tratamento**. 2. ed. McGraw-Hill, 1986. v.2.

DIETER G. E. **Metalurgia mecânica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Dois, 1981. p. 573-597

ESPINOZA, M.; SCHAEFFER, L. Uso do CAD/CAE/CAM na produção de matrizes para os processos novos de conformação mecânica. **Revista del Instituto de Investigación FIGMMG**, n. 14, v. 7, 84-91, 2004.

FACT SHEET. **SolidWorks**. Disponível em: <[https://www.solidworks.com/sw/docs/3DS\\_2016\\_SWK\\_CorpFactSheet\\_2015\\_2H.pdf](https://www.solidworks.com/sw/docs/3DS_2016_SWK_CorpFactSheet_2015_2H.pdf)>. Acesso em: 12 nov. 2017.

LARAPEDIA **Processos de estampagem**. Disponível em: <[https://www.larapedia.com/engenharia\\_e\\_tecnologia/Processo\\_de\\_estampagem\\_resumo.html](https://www.larapedia.com/engenharia_e_tecnologia/Processo_de_estampagem_resumo.html)> Acesso em: 12 nov. 2017.

MARCONDES, P.V.P. Manufatura de chapas metálicas: dobramento. **Ferramental**. v. 4, n. 20, p.15-20, 2008.

PREMIUM SolidWorks. **Vídeo demonstrative do software**. Disponível em: <<http://www.solidworks.com/sw/products/3d-cad/solidworks-premium.htm>>. Acesso em: 12 nov. 2017.

PROVENZA, F. **Desenhista de máquinas**, 46. ed., São Paulo: Protec, 1991.

SOLIDWORKS. **Company history**. Disponível em: <[http://www.solidworks.com/sw/656\\_ENU\\_HTML.htm](http://www.solidworks.com/sw/656_ENU_HTML.htm)>. Acesso em: 12 nov. 2017.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BENAZZI JUNIOR, I.; CAVERSAN, E.G. **Tecnologia de estampagem**. Sorocaba: Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, 2011. (apostila de curso)

RODRIGUES, J.M.C.; MARTINS, P.A.F. Tecnologia da deformação plástica. **Aplicações Industriais**. Lisboa: Instituto Superior Técnico Escolar Editora, 1995. v.2.

SOUZA, A. C. de et al. **SolidWorks**: guia prático para modelagem sólida. Florianópolis: Visual Books Editora, 2001. 220 p.