

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA CAMPUS JARAGUÁ DO SUL - RAU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM FABRICAÇÃO MECÂNICA**

MARLON BOGORNI DAVID

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO DE PARADA RÁPIDA DA
USINAGEM DO TIPO QUICK STOP**

**JARAGUÁ DO SUL
JUNHO DE 2018**

MARLON BOGORNI DAVID

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO DE PARADA RÁPIDA DA
USINAGEM DO TIPO QUICK STOP**

Monografia apresentada ao
Curso superior de
Fabricação Mecânica do
Campus Jaraguá do Sul -
Rau do Instituto Federal de
Santa Catarina para a
obtenção do diploma de
Tecnólogo em Fabricação
Mecânica.

Orientador: Prof. Gil Magno
Portal Chagas

**JARAGUÁ DO SUL
JUNHO DE 2018**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
por meio do programa de geração automática do câmpus Rau, do IFSC

Bogorni David, Marlon

DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO DE PARADA
RÁPIDA DA USINAGEM DO TIPO QUICK STOP / Marlon
Bogorni David ; orientação de Gil Magno Portal Chagas.
Jaraguá do Sul, SC, 2018.

49 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto
Federal de Santa Catarina, Câmpus Jaraguá do Sul -
Rau. Tecnologia em Fabricação Mecânica. .
Inclui Referências.

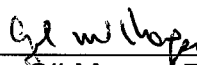
1. Torneamento. 2. Formação do cavaco. 3. Quick
stop.. I. Magno Portal Chagas, Gil. II. Instituto
Federal de Santa Catarina. . III. Título.

MARLON BOGORNI DAVID

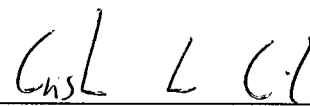
DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE DISPOSITIVO DE PARADA RÁPIDA DA
USINAGEM DO TIPO QUICK STOP

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnólogo em
Fabricação Mecânica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de
Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo
indicada.


Jaraguá do Sul, 20 de junho de 2018



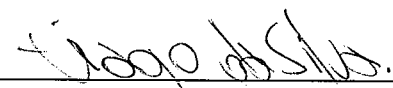
Prof. Dr. Gil Magno Portal Chagas
Orientador
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Me. Cristiano da Silva
IFSC – Campus Jaraguá do Sul - RAU



Prof. Giovani Conrado Carlini
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU



Prof. Me. Tiago da Silva
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – RAU

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um novo mecanismo de parada rápida do tipo *quick-stop* para estudo da formação de cavacos no torneamento. Foi realizado uma revisão na literatura verificado os dispositivos já existentes e elencado os melhores aspectos de cada modelo para o desenvolvimento dessa nova concepção. Dessa forma, o modelo foi desenvolvido de maneira a facilitar sua utilização, possuindo uma rápida e rígida fixação, além de possibilitar a troca do suporte de ferramentas com uma simples adaptação, permitindo a utilização de vários modelos de insertos. O dispositivo foi fabricado e testado obtendo amostras de dois tipos de materiais diferentes com diferentes parâmetros de usinagem. Essas amostras passaram pelo processo de metalografia para avaliar se o dispositivo foi capaz de gerar amostras preservando a raiz do cavaco. Os resultados obtidos através dos testes demonstraram proximidade com os testes realizados com dispositivos *quick stop* já disponíveis na literatura. Dessa maneira, foi possível verificar que o dispositivo desenvolvido foi capaz de gerar amostras passíveis de estudo do processo de formação de cavaco. A fabricação, os testes e análises experimentais foram realizados no Laboratório de máquinas operatrizes do Instituto Federal de Santa Catarina Campus Jaraguá do Sul - RAU.

Palavras-Chave: Torneamento. Formação do cavaco. Quick stop.

ABSTRACT

This work presents the development of a new quick-stop quick stop mechanism for the study of chip formation in turning. A literature review was performed on existing devices and the best aspects of each model were listed for the development of this new design. In this way, the model was developed in a way to facilitate its use, having a fast and rigid fixation, besides allowing the exchange of tool support with a simple adaptation, allowing the use of several models of inserts. The device was manufactured and tested by taking samples of two different types of materials with different machining parameters. These samples went through the metallography process to evaluate if the device was able to generate samples preserving the root of the chip. The results obtained through the tests were similar to the tests performed with quick stop devices already available in the literature. In this way, it was possible to verify that the developed device was able to generate samples capable of studying the chip formation process. The fabrication, testing and experimental analysis were carried out at the Laboratory of Teaching and Research in Machining of the Institute Federal of Santa Catarina Campus Jaraguá do Sul - RAU.

Keywords: Turning. Chip formation. Quick stop.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mecanismo de formação do cavaco.....	14
Figura 2 - Representação das zonas de aderência e escorregamento	14
Figura 3 - Três regimes de atrito sólido	15
Figura 4 - Modelo de distribuição de tensões em usinagem	16
Figura 5 - Vista do plano de trabalho durante o corte ortogonal.....	18
Figura 6 - Esquema de um dispositivo Quick-Stop acionado por impacto.....	19
Figura 7 - Conceito de dispositivo <i>Quick stop</i> elaborado por Joshi et al.	20
Figura 8 - Conceito de dispositivo Quick stop elaborado por SATHEESHA et al.	20
Figura 9 - Esquema de dispositivo de parada rápida acionado por mola.	21
Figura 10 - Modelo de quick stop com acionamento por arma de fogo por Silva.	22
Figura 11 – Modelo de quick stop acionado desenvolvido por Chern..	23
Figura 12 – Fotomicrográficas em estrutura secundária e estrutura lamelar.....	23
Figura 13 – Micrografias exemplificando o ângulo de cisalhamento ϕ	24
Figura 14 – Esquema de funcionamento no modelo de quick stop desenvolvido	26
Figura 15 – Esforços no porta ferramentas	27
Figura 16 – Modelamento do dispositivo em 3D.	29
Figura 17 – Vista explodida do dispositivo com lista de materiais.	30
Figura 18 – Centro de Usinagem utilizado na fabricação da base do dispositivo.	31
Figura 19 - Dispositivo armado antes da realização do teste.	33
Figura 20 - Dispositivo depois de acionado.....	33
Figura 21 – Amostras coletadas através da utilização do dispositivo desenvolvido. .	34
Figura 22 – Amostras de 1 a 5 coletadas utilizando o dispositivo quick stop.	34
Figura 23 – Amostras de 7 a 12 coletadas utilizando o dispositivo quick stop.	35
Figura 24 – Micrografia amostra 7, Aço Inoxidável 304, $f= 0,1$ mm, $V_c= 60M/min$. .	35
Figura 25 – Micrografia amostra 8, Aço Inoxidável 304, $f= 0,1$ mm, $V_c= 90M/min$. .	36
Figura 26 – Micrografia amostra 9, Aço Inoxidável 304, $f= 0,1$ mm, $V_c= 120M/min$..	36
Figura 27 - Micrografia amostra 10, Aço Inoxidável 304, $f= 0,2$ mm, $V_c= 60M/min$...	36
Figura 28 - Micrografia amostra 1, Aço ABNT 1020, $f= 0,1$ mm, $V_c= 60M/min$	37
Figura 29 – Dispositivo Quick Stop desenvolvido fixo no Torno.	38
Figura 30 - Dimensional final da base do dispositivo.	43
Figura 31 – Dimensional final do gatilho do dispositivo.....	44
Figura 32 – Dimensional final da tampa do dispositivo.....	45
Figura 33 – Dimensional final da lingueta do dispositivo	46
Figura 34 – Dimensional final suporte da mola	47
Figura 35 - Dimensional final do encosto do dispositivo.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parâmetros de usinagem das amostras	42
--	----

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

f	- Avanço
h'	- Espessura do cavaco
h	- Espessura de corte
Rc	- Grau de recalque
Vc	- Velocidade de corte
F	- Avanço
ϕ	- Ângulo de cisalhamento
γ	- Deformação por cisalhamento 0
γ	- Ângulo de saída da ferramenta
Fc	- Força de corte
K	- Força de corte específica
CNC	- Comando numérico computadorizado.
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAD	- Desenho assistido por computador
K_1	- Pressão específica do corte
TM	- Tensão média de cisalhamento
RPM	- Rotações por minuto

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 QUESTÃO CENTRAL DA PESQUISA	11
1.2 JUSTIFICATIVA.....	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo geral	12
1.3.2 Objetivo específico	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	13
2.1 PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CAVACO	13
2.1.1 Interface cavaco-ferramenta.....	14
2.1.2. Os três regimes de atrito sólido.....	15
2.1.3 Zona de Aderência	15
2.1.4 Zona de Escorregamento	16
2.2 CORTE ORTOGONAL	17
2.3 GRAU DE RECALQUE	17
2.4 ÂNGULO DE CISALHAMENTO	18
2.5 DISPOSITIVOS <i>QUICK STOP</i>	18
2.5.1 Pino de impacto manual	19
2.5.2 Pino de impacto acionado com por mola.....	21
2.5.3 Pino de impacto com explosão.....	21
2.5.4 Dispositivo com acionamento por deslizamento mecânico	22
2.6 AMOSTRAS DE CAVACOS EM FORMAÇÃO.....	23
3 DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO <i>QUICK STOP</i>	25
3.1 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO QUICK-STOP	25
3.2 FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO	30
4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	32
4.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS	32
4.2 ANALISE METALOGRAFICA DAS AMOSTRAS OBTIDAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO DESENVOLVIDO.	35
4.3 ESTRUTURA DO DISPOSITIVO.	37
CONCLUSÃO.....	39

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	40
REFERÊNCIAS	41
6 APÊNDICE	43

1 INTRODUÇÃO

A indústria metal mecânica é uma determinada área da indústria que é responsável pela produção e transformação de metais. Essa parte da indústria é compreendida por vários setores, como setor de usinagem, estamparia, forjaria, entre outros. Atualmente, a usinagem é amplamente aplicada nos processos de produção dentro da indústria metal mecânica.

Com o objetivo de otimizar e melhorar os processos de usinagem, muitos estudos visam explicar os fenômenos que envolvem esse processo. Um dos principais pontos estudados nessa área é o torneamento. Essa operação mostra-se de extrema importância, pois com o desenvolvimento do torno mecânico, a humanidade adquiriu as máquinas necessárias ao seu crescimento tecnológico, desde a medicina até a indústria espacial. Desse modo, o torno está na base da ciência metalúrgica e é considerada a máquina ferramenta mais antiga e importante ainda em uso (GODOY, 2011).

A formação do cavaco é um processo que pode ser dividido em diferentes eventos, onde o material se movimenta pela superfície da ferramenta até que se rompa. Segundo Machado et al (2009, p.63), as condições com que esse escorregamento acontece têm influências marcante em todo o processo, particularmente no mecanismo de formação de cavaco, na força de usinagem, no calor gerado durante o corte e, conseqüentemente, na temperatura de corte e nos mecanismos e taxa de desgaste das ferramentas.

1.1 QUESTÃO CENTRAL DA PESQUISA

É possível desenvolver um dispositivo de parada rápida do tipo *quick stop* de fácil utilização e fabricação, com intuito de facilitar o processo de estudo da formação de cavacos e que apresente os mesmos resultados em relação aos dispositivos existentes?

1.2 JUSTIFICATIVA

“A base para um melhor entendimento de todos os processos de usinagem está no estudo científico da formação de cavacos” (MACHADO et al,2009). O intuito do trabalho é desenvolver um dispositivo que vem de encontro com essa afirmação de maneira a colaborar com o desenvolvimento de pesquisas sobre o processo de formação de cavaco já que este trabalho trata do projeto, fabricação e validação uma nova concepção de dispositivo de parada rápida do tipo *quick stop*.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Desenvolver um novo dispositivo de parada rápida da usinagem do tipo *quick stop* apto a ser usado em estudos sobre formação de cavacos.

1.3.2 Objetivo específico

- Projetar um dispositivo de parada rápida da usinagem do tipo *quick stop*, de fácil utilização, com base em dispositivos já existentes, considerando os melhores aspectos de cada modelo;
- Fabricar o dispositivo *quick stop* com a precisão e acabamento superficial necessários para seu funcionamento;
- Executar testes para obtenção de amostras e realizar ensaios metalógrafos para averiguar se é possível a visualização da formação do cavaco;
- Validar a utilização do dispositivo *quick stop* com base nos ensaios metalógrafos obtidos e sua comparação com os resultados apresentados pela literatura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CAVACO

O processo de usinagem e formação do cavaco tem sido muito estudado e envolve fenômenos físicos muito complexos. As altas deformações, altas velocidades e temperaturas elevadas tornam o processo de difícil observação e entendimento. Diversos fatores devem ser avaliados como os esforços e tensões de usinagem, o atrito, e os planos onde ocorrem a formação do cavaco.

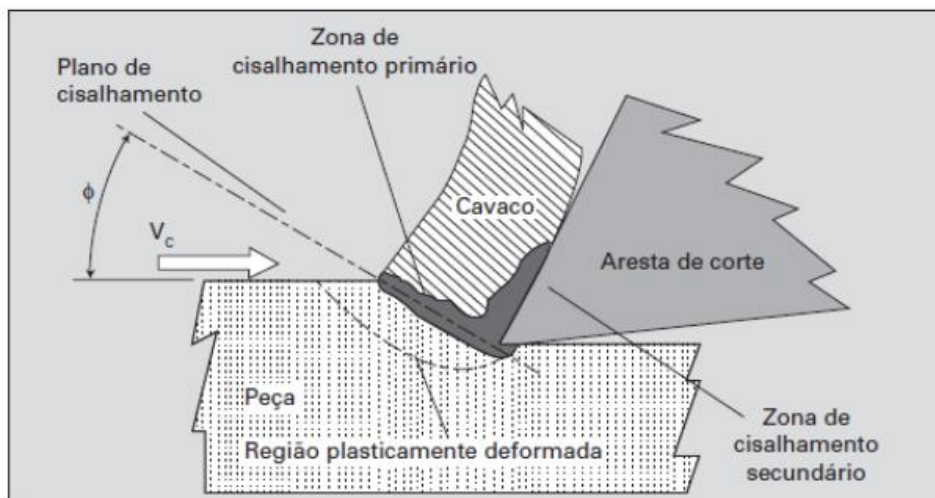
Uma forma de simplificar o processo e facilitar o seu estudo é a utilização do corte ortogonal, que permite a análise dos fenômenos relacionados ao contato cavaco-ferramenta de maneira mais simples.

De maneira sucinta, a formação do cavaco consiste em quatro etapas (SANTOS e SALES, 2007; MACHADO et al., 2009):

1. Deformação elástica ou recalque, devido a penetração da cunha de corte no material da peça;
2. Deformação Plástica;
3. Ruptura deslizamento por lamelas;
4. Movimento do cavaco sobre a superfície de saída da ferramenta.

A figura 1 representa um esquema da formação do cavaco, onde podemos identificar algumas características que compõe esse processo, como o ângulo de cisalhamento ϕ , formado pelo plano de cisalhamento e a direção de corte, e a zona de cisalhamentos secundária, na região onde está localizada a interface cavaco ferramenta

Figura 1 - Mecanismo de formação do cavaco

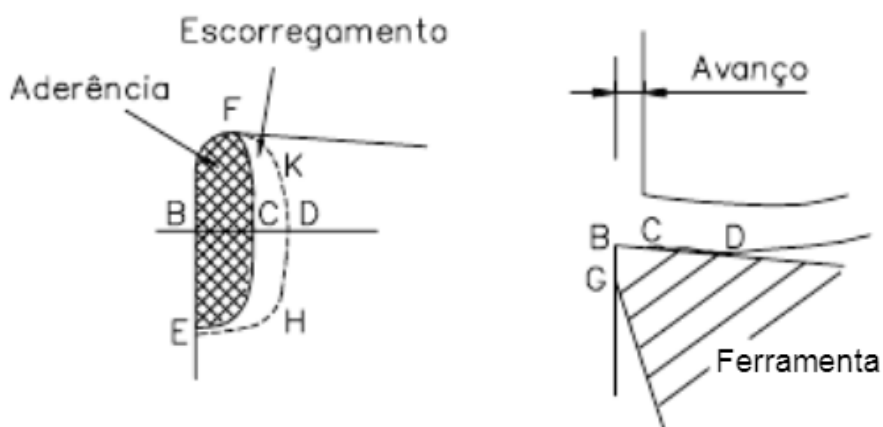


Fonte: MACHADO et al,(2009).

2.1.1 Interface cavaco-ferramenta

O melhor entendimento da interface entre o cavaco e a ferramenta se justifica pelo fato de que os fenômenos que ocorrem, influenciam em vários aspectos muito importantes da usinagem, como as forças envolvidas no processo, além da temperatura e da vida útil da ferramenta. Essa interface foi dividida em duas, a zona de aderência e a zona de escorregamento, em uma teoria desenvolvida por Trent (1963), como mostra a figura 2.

Figura 2 - Representação das zonas de aderência e escorregamento

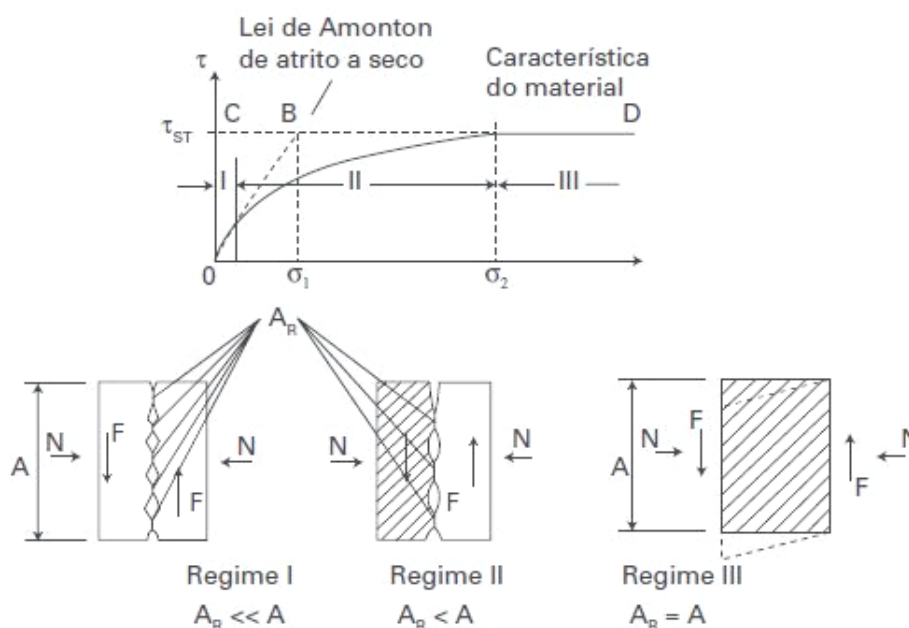


Fonte: Trent (1991) apud MACHADO et al,2009.

2.1.2. Os três regimes de atrito sólido

Shaw et al. (1960) apresentaram os três regimes de atrito entre sólidos apresentados na figura 3, os quais nos ajudam a entender as zonas contidas na interface cavaco ferramenta.

Figura 3 - Três regimes de atrito sólido



Fonte: SHAW et al., (1960) apud MACHADO et al,(2009)

O regime I acontece de acordo com a lei de Coulomb / Amontou, neste caso a área de atrito entre os corpos é muito menor do que a área aparente ($A_R \ll A$), pois ocorre apenas nas irregularidades das superfícies, já o regime III descreve o contato real é igual ao contato efetivo entre as superfícies e o regime II é a transição entre o regime I e III.

2.1.3 Zona de Aderência

A identificação da zona de aderência é evidenciada por análise de micrografias da raiz do cavaco obtida pela interrupção brusca do corte através da utilização de um dispositivo quick stop. Na zona de aderência é identificado o regime III de atrito onde uma camada do material não se desloca pela superfície da ferramenta e fica estacionado. Esse fenômeno se deve às altas tensões de

compressão junto com altas taxa de deformação as quais originam temperaturas elevadas, que por sua vez, aliado ao nível de pureza do material, geram ligações atômicas ocasionando a aderência (SANTOS e SALES, 2007). A figura 4 mostra a distribuição de tensões durante a usinagem.

Figura 4 - Modelo de distribuição de tensões em usinagem



Fonte: TRENT (1991) Apud SANTOS, SALES (2005)

É possível observar que as maiores tensões normais de compressão e de cisalhamento ocorrem na zona de adesão. Na região de escorregamento as tensões são menores e se reduzem gradualmente.

2.1.4 Zona de Escorregamento

A zona de escorregamento fica localizada na periferia logo após a zona de aderência, conforme Figura 4. Nessa zona é identificado o regime de atrito do tipo I, isso se deve as baixas tensões de compressão atuando nessa região, além da possibilidade da presença de oxigênio formando óxidos que dificultam as ligações metálicas fortes entre o cavaco e a ferramenta.

2.2 CORTE ORTOGONAL

Segundo Cardoso (2005), o corte ortogonal é caracterizado por ocorrer em apenas um plano, ou seja, o plano de trabalho. Neste plano as direções de corte, avanço e saída de cavado estão todas contidas. O corte ortogonal tem a vantagem de trazer simplificações que permitem um tratamento matemático, e facilita a visualização dos fenômenos que ocorrem durante o corte.

Algumas características do corte ortogonal são citadas tanto por Machado et al (2009) quanto por Cardoso (2005) devem ser atendidas para que ele ocorra:

- A formação do cavaco deve ser contínua sem a formação de aresta postiça.
- A espessura de corte, que é igual ao avanço, deve ser menor que a largura de corte.
- A largura do corte e a largura do cavaco devem ser iguais.
- A aresta de corte deve ser reta e perpendicular à direção do corte.

2.3 GRAU DE RECALQUE

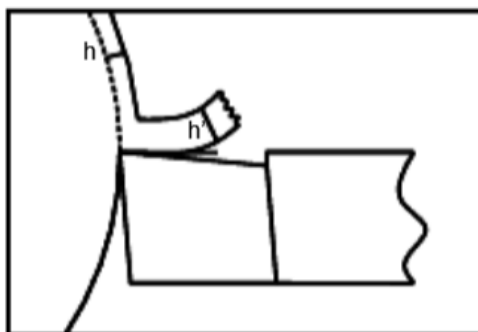
Por meio das simplificações que o corte ortogonal proporciona é possível calcular o grau de recalque, que é obtido pela divisão da espessura de corte (h) pela espessura final do cavaco (h'), ou seja:

$$Rc = \frac{h'}{h} \quad (1)$$

O grau de recalque é um importante parâmetro para obter o ângulo de cisalhamento do corte ortogonal.

A Figura 5 mostra um exemplo de usinagem em corte ortogonal. É possível verificar a espessura de corte h e a espessura final do cavaco h' .

Figura 5 - Vista do plano de trabalho durante o corte ortogonal



Fonte: SANTOS, SALES , p44 . (2005)

2.4 ÂNGULO DE CISALHAMENTO

Além de vários aspectos, o ângulo de cisalhamento, Φ , é um fator de grande influência na formação e no tipo de cavaco formado decorrente da usinagem. Esse ângulo pode ser obtido utilizando o grau de recalque e o ângulo de saída da ferramenta, γ , de acordo com a equação 2.

$$\tan\varphi = \frac{\cos\gamma_n}{Rc - \text{sen}\gamma_n} \quad (2)$$

2.5 DISPOSITIVOS QUICK STOP

Segundo Chern (2005) os dispositivos de parada rápida são instrumentos que foram desenvolvidos com o intuito de coletar amostras da raiz do cavaco para permitir a realização de estudos do processo de formação do cavaco. O dispositivo retira a ferramenta de corte do contato com a peça de maneira repentina, deixando um cavaco parcialmente formado ainda conectado à peça. Com a amostra do cavaco parcialmente formado é possível embutir a amostra e realizar estudos metalográficos.

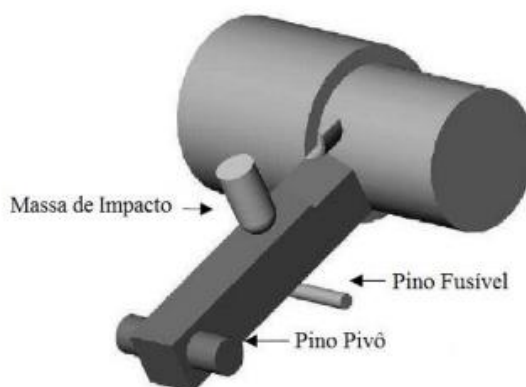
Diversos tipos de dispositivos *quick stop* já foram desenvolvidos para diferentes aplicações. O que geralmente diverge no projeto dos dispositivos é a forma de acionamento deles, que em geral é composto por um pino que ao ser cisalhado libera o movimento. Esse cisalhamento pode ser causado por algum impacto gerado por um golpe ou algum tipo de explosão. Outro modelo de *quick stop* existente é acionado por sistema de deslizamento mecânico, sem a presença de

pino de impacto. Na sequência são apresentados alguns exemplos de dispositivos existentes.

2.5.1 Pino de impacto manual

A ferramenta de corte possui em uma de suas extremidades um pino fusível que mantém a ferramenta em sua posição de trabalho, enquanto na outra extremidade há um pino pivô que terá a função de realizar suporte e afastar a ferramenta da zona de corte conforme demonstra a figura 6, após o rompimento do pino fusível por impacto, advindo de um golpe, choque ou explosão, direta ou indiretamente sobre a ferramenta conforme esquema apresentado na figura 6 (LUCAS, 2003).

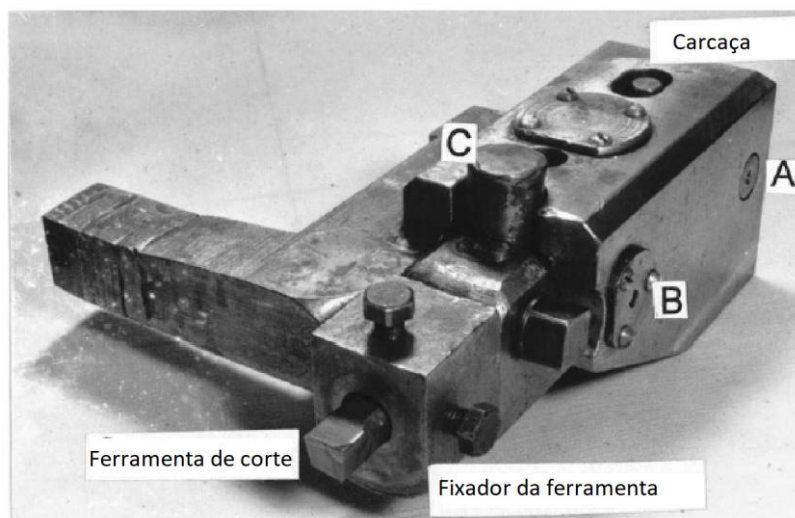
Figura 6 - Esquema de funcionamento de um dispositivo Quick-Stop acionado por impacto.



Fonte: LUCAS (2003)

Um exemplo de dispositivo com funcionamento por pino de impacto manual é apresentado por Joshi et al (2001), de acordo com a figura 7.

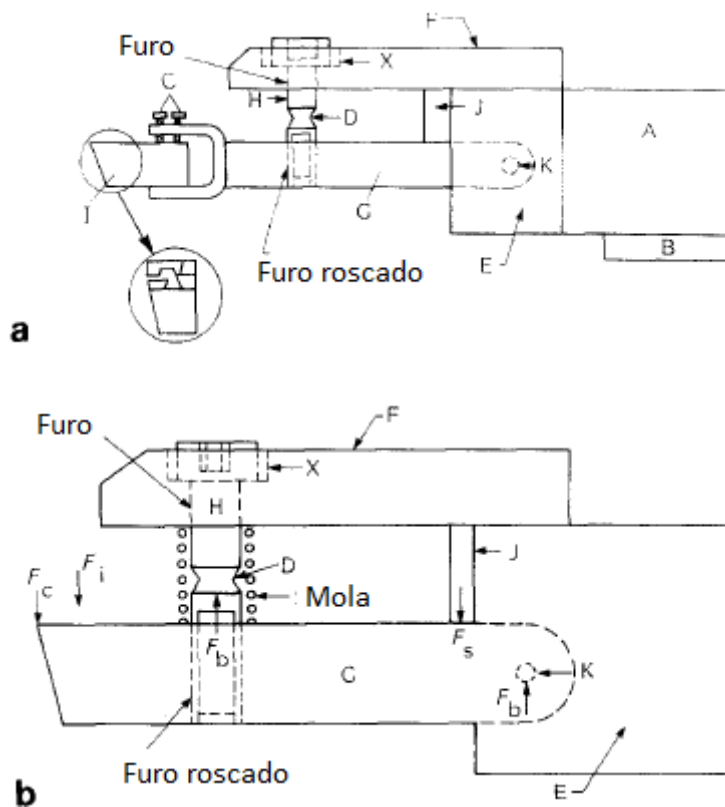
Figura 7 - Conceito de dispositivo *Quick stop* elaborado por Joshi et al.



Fonte: Adaptado de JOSHI et al.(2001)

Outro modelo de *quick stop* do mesmo tipo foi desenvolvido por Satheesha et al (1990), conforme Figura 8. Neste caso, o pino de cisalhamento fica na vertical e não na horizontal conforme desenvolvido por Joshi.

Figura 8 - Conceito de dispositivo *Quick stop* elaborado por SATHEESHA et al.

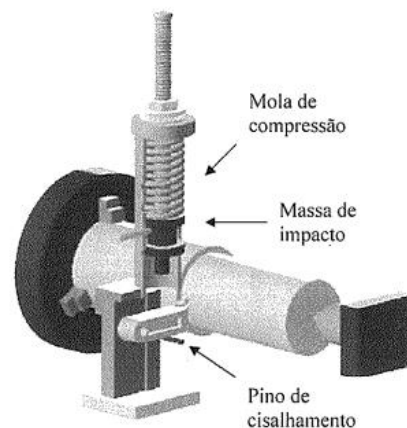


Fonte: Adaptado de SATHEESHA et al. (1990)

2.5.2 Pino de impacto acionado por mola

A figura 9 mostra um exemplo de dispositivo *quick stop* com pino de cisalhamento no qual a força de impacto é gerada por uma massa e acionada por uma mola.

Figura 9 - Esquema geral de montagem de dispositivo de parada rápida acionado por mola.

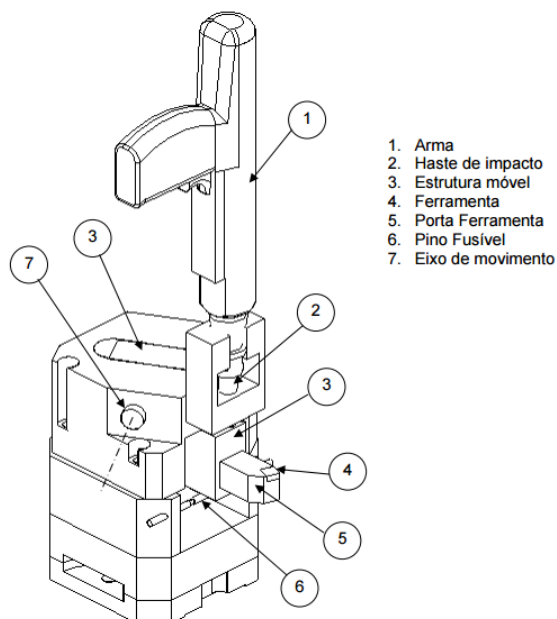


Fonte: LUCAS (2010)

2.5.3 Pino de impacto com explosão

Segundo Silva (2013), nesse modelo de dispositivo o pino fusível quebra por cisalhamento devido à ação explosiva de uma espoleta disposta em uma arma de fogo acoplada ao dispositivo como apresentado na figura 10. Essa proposta de *quick stop* foi apresentada na literatura algumas vezes por Hastings, (1957); Ellis et al., (1969); Philip, (1971); Brown, (1976) e também descrito por Silva (2011).

Figura 10 - Modelo de *quick stop* com acionamento de impacto com arma de fogo descrito por Silva.



Fonte: SILVA (2011).

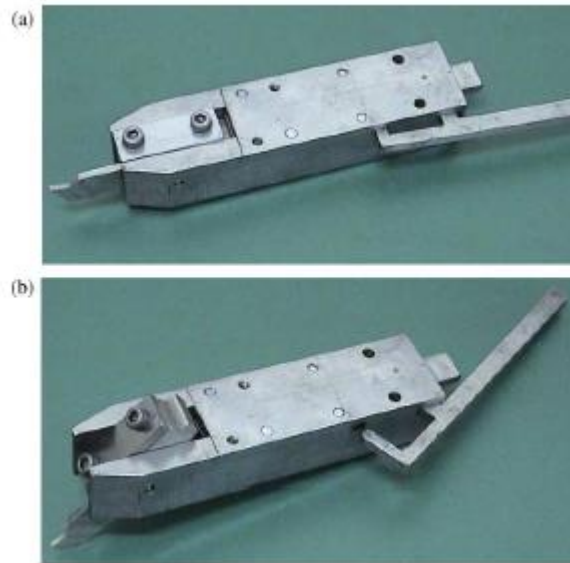
2.5.4 Dispositivo com acionamento por deslizamento mecânico

A fabricação dos pinos necessários para o funcionamento dos modelos de quick-top descritos anteriormente é trabalhosa pois necessita de usinagem, e em alguns casos até de tratamento térmico. A aplicação dos impactos também requer muitos cuidados, devido ao risco do processo.

Outro modelo de dispositivo com acionamento somente mecânico foi proposto por Chern (2005), esse dispositivo não carece de reposição de componentes e seu acionamento manual é mais simples. O sistema, ao invés de utilizar pino de cisalhamento, utiliza um mecanismo de deslizamento que libera a ferramenta sem ocorrer impacto.

A Figura 11 mostra o dispositivo elaborado por Chern (2005) em dois momentos, no primeiro o dispositivo está armado e no segundo o dispositivo se encontra acionado.

Figura 11 – Modelo de *quick stop* acionado mecanicamente desenvolvido por Chern. a) dispositivo armado. b) dispositivo acionado.

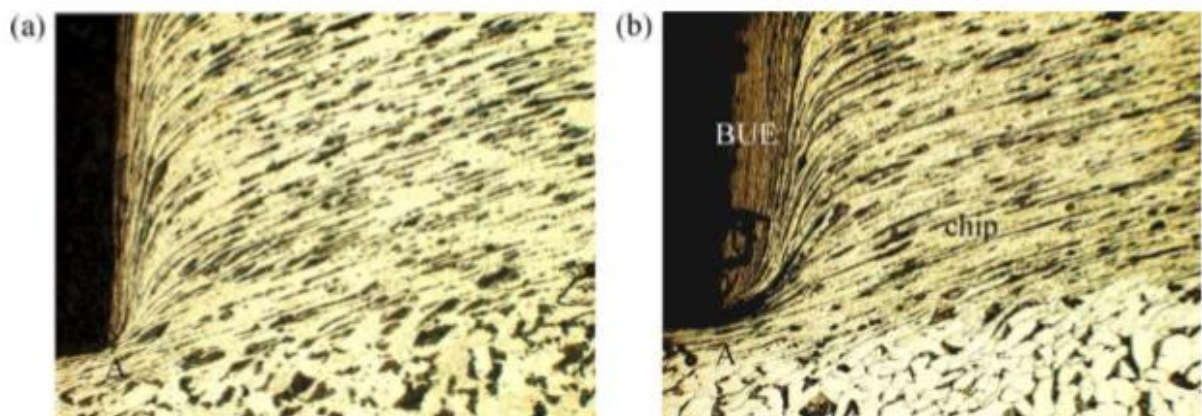


Fonte: CHERN (2005)

2.6 AMOSTRAS DE CAVACOS EM FORMAÇÃO

Diversas amostras de cavacos em formação obtidas através da utilização de dispositivos *quick stop* estão disponíveis na literatura. O intuito de realizar testes e coletar amostras é aplicar o processo de metalografia, e conforme mostra a figura 12 e figura 13. Assim, é possível realizar medições de dureza em diferentes regiões do cavaco, verificar a formação de aresta postiça (BUE), na figura 12 (b)

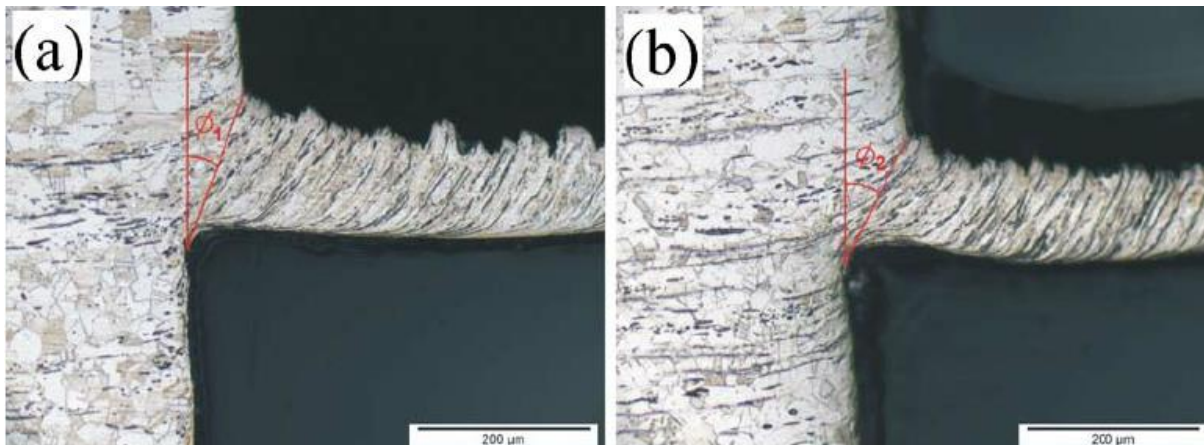
Figura 12 – Fotomicrográficas em estrutura secundária e estrutura lamelar. Ampliação 200X: (a) (580 rpm, $f=0,191$ mm / rev,); (b) (580 rpm, $f=0,165$ mm / rev.)



Fonte: CHERN (2005)

Também é possível verificar diversas características da zona de formação do cavaco como, por exemplo, ângulo de cisalhamento como mostra figura 13, zona de aderência, zona de fluxo.

Figura 13 – Micrografias do teste de parada rápida exemplificando o ângulo de cisalhamento ϕ .



Fonte: ZANATTA (2015)

3 DESENVOLVIMENTO E FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO *QUICK STOP*

O desenvolvimento deste produto foi feito em etapas. A primeira delas consistiu em projetar o dispositivo e detalhar seus componentes; a segunda foi a fabricação do dispositivo. Após a fabricação, foram realizados testes para verificar a funcionalidade do dispositivo, nesses testes foi avaliado se é possível visualizar a zona de fluxo na raiz do cavaco.

3.1 DESENVOLVIMENTO DO DISPOSITIVO *QUICK-STOP*

Um levantamento dos dispositivos *quick stop* já existentes foi realizado. O dispositivo que serviu como base utilizou o princípio de funcionamento apresentado por Chern (2005).

Esse dispositivo foi escolhido para ser utilizado como base por possuir alguns aspectos vantajosos e também pontos a serem melhorados. Dentre esses pontos está o fato deste dispositivo utilizar um sistema de deslizamento mecânico como acionamento. Esse sistema tem algumas vantagens como não aplicar um grande impacto sobre a máquina utilizada diferente dos dispositivos de acionamento por explosão e por impacto a pino cisalhante. Os impactos podem causar riscos aos operadores, além de danificar as guias da máquina e também criar folgas e desalinhamentos que não são desejáveis em uma máquina de precisão.

Outro ponto considerado na utilização do princípio de funcionamento apresentado por Chern (2005) é a viabilidade de sua fabricação, que é relativamente simples comparada a fabricação de um dispositivo que tem como método de acionamento a explosão a qual é gerada por uma arma de fogo, assim como descreve Silva (2011). Também foi levado em consideração o fato do dispositivo não necessitar de peças novas a cada teste, como no caso dos pinos de cisalhamento dos dispositivos de acionamento por impacto, como o modelo de Joshi et al.(2001).

Algumas desvantagens encontradas no modelo do Chern (2005) foram a falta de rigidez e a dificuldade de fixação do dispositivo no torno. A pressão que os parafusos de fixação no castelo do torno podem causar uma deformação das partes moveis do dispositivo e prejudicar seu funcionamento.

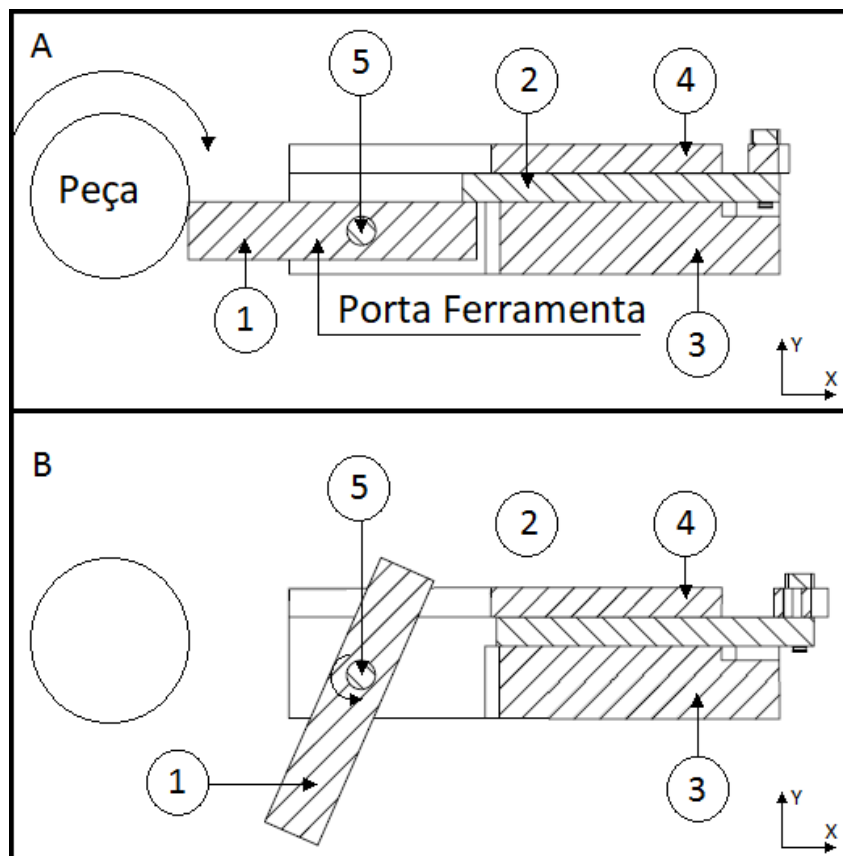
O modelo apresentado por Chern (2005) utiliza um sistema lingueta deslizante para liberar a ferramenta, outros dispositivos levados em consideração tiveram suas

características avaliadas, então o dispositivo foi desenhado levando em conta as características que melhor se adequam ao projeto, o desenvolvimento do dispositivo foi em um software CAD de modelamento 3D.

Um torno horizontal mecânico do fabricante Nardini®, modelo Mascote foi utilizado para a aplicação do *quick stop* em estudo. Assim, o castelo foi removido e o dispositivo foi fixado diretamente no carro transversal do torno para resolver os problemas de rigidez e dificuldade de fixação. Dessa forma, o modelamento em 3D foi realizado, tendo como referência as medidas do porta ferramentas.

A Figura 14 apresenta o princípio básico de funcionamento do dispositivo. No estágio inicial (A) ele está armado pronto para ser utilizado, o porta ferramentas 1 é sustentado pelo pino 5 e travado pela lingueta 2, possibilitando assim a usinagem. No segundo momento (B) o dispositivo está liberado, a lingueta 2 se desloca em X entre as partes do suporte 3 e 4, liberando assim o porta ferramentas 1 para girar por meio do pino 5, deixando a zona de corte de maneira rápida. Esse movimento é acelerado pela força de corte.

Figura 14 – Esquema de funcionamento no modelo de *quick stop* desenvolvido

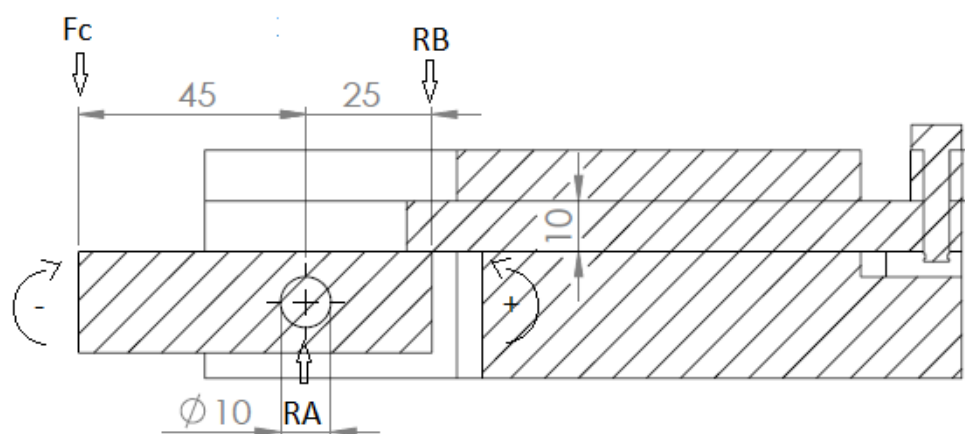


A partir da definição do princípio de funcionamento e realização do esboço do dispositivo foi feito o seu dimensionamento mecânico.

A figura 15 mostra uma representação do modelo de *quick stop* com a aplicação das forças de corte e as reações na ponta da ferramenta.

A força de corte (F_c) foi calculada para a usinagem de diferentes materiais. Essa força de usinagem foi utilizada para calcular as reações de apoio e a força cisalhante atuante no pino que possibilita o movimento do *quick stop*.

Figura 15 – Esforços no porta ferramentas



Fonte: Autor (2018)

O cálculo da força de corte (F_c) teórica realizada na usinagem foi calculada pelo Método SandVick (Machado et. Al 2009). Foi previsto que o dispositivo deve suportar os esforços da usinagem de aços com alta resistência. Dessa forma, foi selecionado para efeito de dimensionamento a usinagem de um aço ABNT 4140.

A força de corte foi calculada considerando uma profundidade de corte $a_p=2\text{mm}$ e um avanço $f=0,2\text{mm/rev}$, aplicados em um aço ABNT 4140. O valor da força de corte específica $K(0,4)$ foi obtido em Machado et al (2009). As equações 3 e 4 permitiram o cálculo da pressão específica do corte (K_1) e a força de corte (F_c) respectivamente.

$$K_1 = K_{(0,4)} \times (0,4/h)^{0,29} \quad (3)$$

$$K_1 = 3900 \text{ N} \times (0,4 \text{ mm} / 0,2 \text{ mm})^{0,29}$$

$$K_1 = 4768,29 \text{ N/mm}^2$$

$$F_c = A \cdot K_1 \quad (4)$$

$$F_c = 2\text{mm} \times 0,2\text{mm} \times 4768,29$$

$$F_c = 1907\text{N}$$

O cálculo da reação de apoio (R_A), que apresenta a força de cisalhamento atuando no pino, bem como a reação R_B , que é a força atuante na lingueta, são demonstrados a seguir, utilizando o valor de força de corte calculada.

Calculo de reação de Apoio.

$$\sum F_y = 0 \quad (5)$$

$$\sum F_y = +1907 + R_A - R_B$$

$$R_A = 1907\text{N} - R_B$$

$$R_B = 1907\text{N} + R_A$$

$$\sum M_{RB} = 0 \quad (6)$$

$$\sum M_{RB} = 1907\text{N} \cdot 70\text{mm} + R_A \cdot 25\text{mm}$$

$$R_A = -5339\text{N}$$

$$R_B = 3432\text{N}$$

No cálculo da força cisalhante foi levado em consideração um pino com $\varnothing 10$ mm. Essa dimensão foi definida como mínima do pino levando em consideração a usinagem do mesmo.

A força de cisalhamento (v) atuante no pino, é a metade da força resultante de R_A , devido ao pino estar bi apoiado, assim:

$$V = F/2 \quad (7)$$

A tensão de cisalhamento no pino é dada pela equação 8:

$$T_M = V/A \quad (8)$$

$$T_M = 2670\text{N} / (\pi \times 5^2\text{mm})$$

$$T_M = 34 \text{ Mpa}$$

O objetivo dos cálculos realizados foi verificar se o pino com $\varnothing 10\text{mm}$ não iria cisalhar durante a utilização do *quick stop*. Levando em conta a tensão de escoamento do aço ABNT 1040, empregado na fabricação do dispositivo, é de 370 Mpa, o pino suportaria mais de 10 vezes a carga que será aplicada sobre ele.

A partir do dimensionamento dos componentes e de fatores importantes a serem considerados, como o alinhamento da altura da ferramenta com a linha de centro do torno após o dispositivo montado, foi possível elaborar o dimensionamento do dispositivo 3D, conforme figura 16, e uma vista explodida com a lista de materiais, apresentados na figura 17.

É possível verificar na figura 16 (a) o dispositivo armado, pronto para a usinagem, e na figura 16 (b) o dispositivo liberado, retraído para a obtenção da raiz do cavaco.

Figura 16 – Modelamento do dispositivo em 3D. a) dispositivo armado. b) dispositivo após acionado.

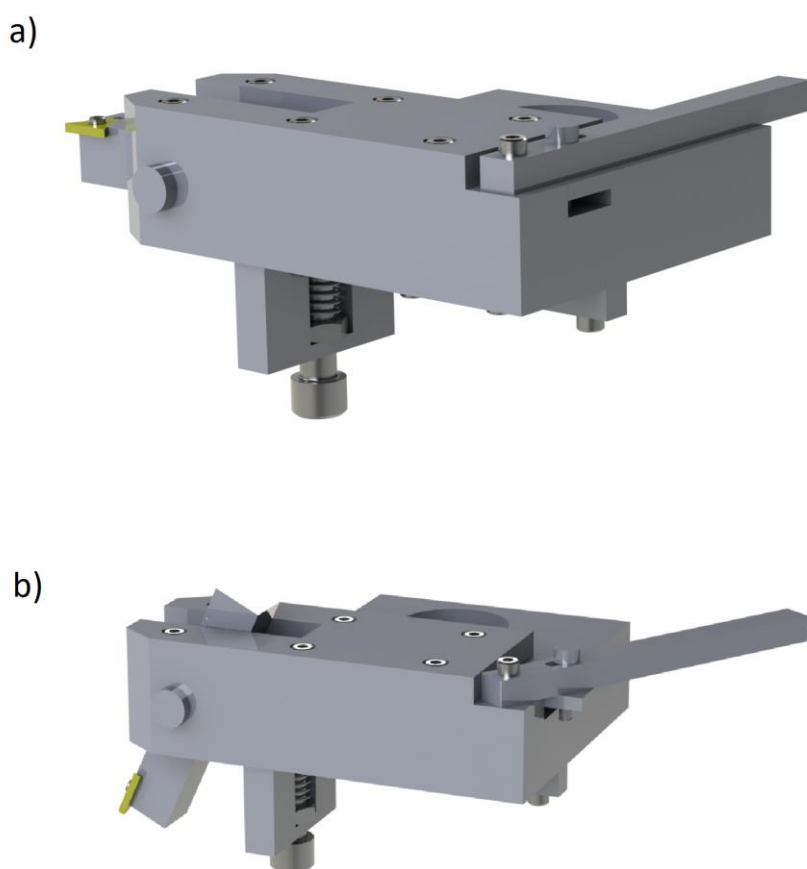
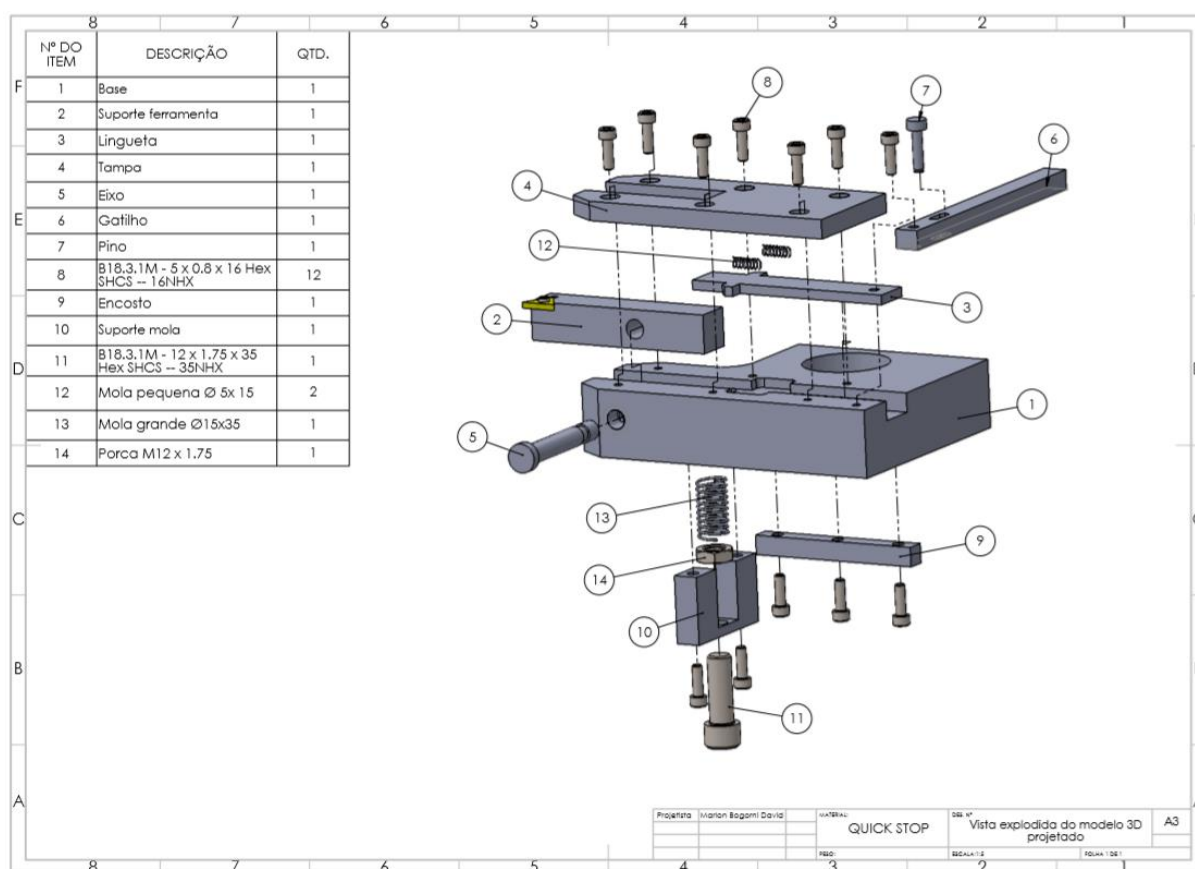


Figura 17 – Vista explodida do dispositivo com lista de materiais.



Fonte: Autor (2018)

Os desenhos detalhados dos componentes que formam o dispositivo estão apresentados no apêndice do presente trabalho.

3.2 FABRICAÇÃO DO DISPOSITIVO

O dispositivo foi fabricado utilizando chapas de aço ABNT 1045, eixo de aço, parafusos de fixação, molas helicoidais e um suporte de fixação de ferramenta de metal duro.

A base do dispositivo foi fabricada a partir de uma chapa de aço ABNT 1045 cortada nas medidas 38,1mm x 130mm x 180mm. A tampa e a lingueta deslizante foram fabricadas a partir de uma chapa de 12,5 mm de espessura.

Foi empregado o uso de máquinas ferramentas CNC como o centro de usinagem ROMI D600, para a fabricação da base do dispositivo conforme pode ser visto na figura 18. A geometria complexa da base do dispositivo necessita de uma

boa precisão e um acabamento superficial excelente para reduzir o atrito, com isso, diminuindo a força necessária para o acionamento do dispositivo quando montado. Essa peça necessita desses aspectos pelo fato de ficar em contato e acomodar peças deslizantes.

Figura 18 – Centro de Usinagem utilizado na fabricação da base do dispositivo.



Fonte: Autor (2018)

Para os demais componentes do *quick stop* foram utilizadas máquinas convencionais como no caso da lingueta e da tampa do dispositivo que passaram pelo processo de fresamento e posteriormente pelo processo de retificação buscando melhorar seu acabamento superficial, assim reduzindo seu atrito em funcionamento assim como na base do dispositivo.

Os componentes restantes, os quais são estáticos no dispositivo ou não sofrem atrito, como o gatilho e o dispositivo da mola, foram fabricados utilizando torno convencional e fresadora ferramenta sem posterior processo. A fabricação de todos os componentes foi realizada no laboratório de máquinas operatrizes disponível no IFSC Campus RAU.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS

Após fabricação e montagem do dispositivo, foram realizados testes com o intuito de verificar o funcionamento esperado, tornando possível a interrupção da usinagem de maneira rápida, fazendo com que o cavaco não se desvincule da peça.

Os materiais utilizados no teste de usinagem com o quick stop foram tubo de aço ABNT 1020, com 40 mm de diâmetro e 2mm de espessura. Também foram utilizados tubos de aço inoxidável ABNT 304 com 50 mm de diâmetro e 2mm de espessura.

O dispositivo foi empregado em testes com três velocidades de corte e dois valores diferentes de *ap*, tomando como base o que foi definido pelo fabricante do inserto que foi utilizado.

O modelo de ferramenta de metal duro utilizada nos testes foi o TPUN 16 03 04. Essa ferramenta foi escolhida pela sua geometria menos complexa, que possibilita o corte ortogonal, o qual é recomendável na aplicação de testes com *quick stop*. Os parâmetros de usinagem formando as combinações de cada amostra estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros de usinagem utilizados na obtenção das amostras

Aço ABNT 1020	Velocidade de corte [m/min]		
Avanço f [mm/rev]	60m/min	90m/min	120m/min
0,1	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
0,2	Amostra 4	Amostra 5	Amostra 6
Aço ABNT inox 304	Velocidade de corte [m/min]		
Avanço f [mm/rev]	60m/min	90m/min	120m/min
0,1	Amostra 7	Amostra 8	Amostra 9
0,2	Amostra 10	Amostra 11	Amostra 12

Fonte: Autor (2018)

A figura 19 mostra o dispositivo armado antes da execução do teste

Figura 19 - Dispositivo armado antes da realização do teste.



Fonte: Autor (2018)

Em um segundo momento podemos ver na figura 20, o dispositivo após ser acionado gerando a amostra com o cavaco ainda fixo a peça.

Figura 20 - Dispositivo depois de acionado gerando a amostra com cavaco ainda vinculado a peça.



Fonte: Autor (2018)

Após a aplicação do dispositivo, um pequeno pedaço da região onde o cavaco ficou fixo é retirado para posterior embutimento e metalografia, assim como mostra a figura 21.

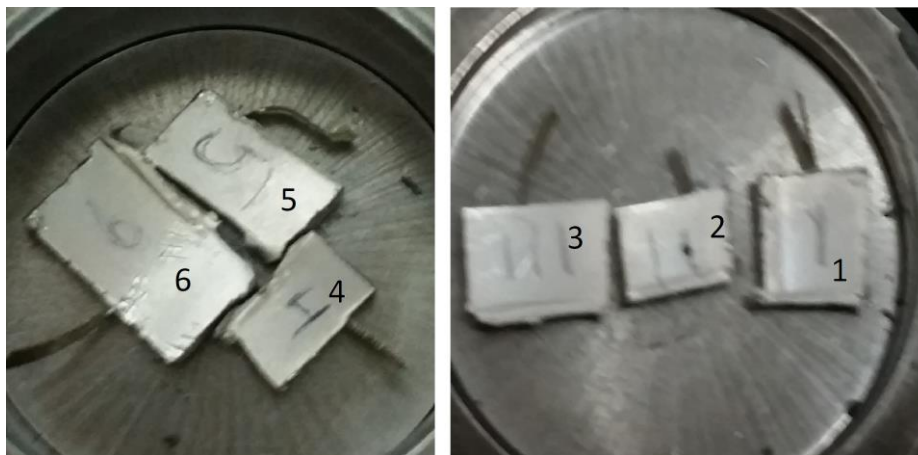
Figura 21 – Amostras coletadas através da utilização do dispositivo quick stop desenvolvido.



Fonte: Autor (2018)

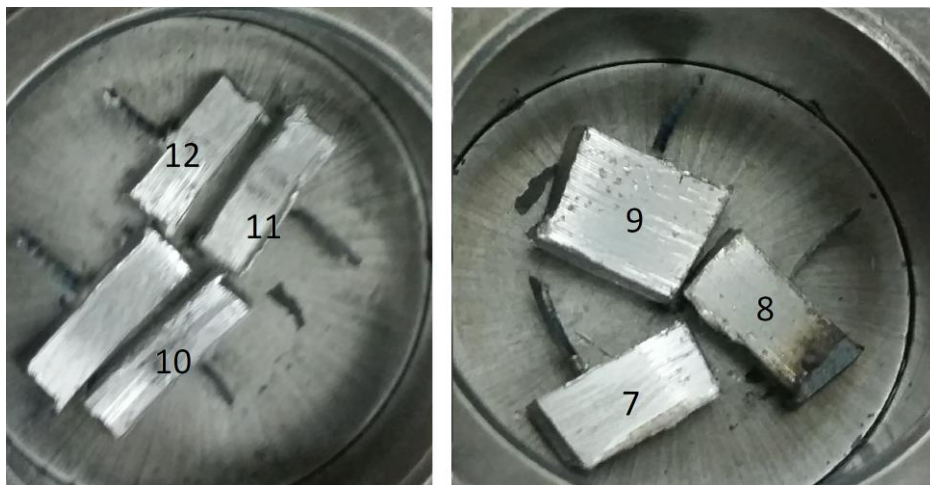
Pode-se verificar que o dispositivo se mostrou eficaz em todas as faixas de utilização testadas, mantendo o cavaco fixo à peça, e sendo capaz de gerar as 12 amostras propostas como mostra as figuras 22 e 23.

Figura 22 – Amostras de 1 a 5 coletadas utilizando o dispositivo quick stop.



Fonte: Autor (2018)

Figura 23 – Amostras de 7 a 12 coletadas utilizando o dispositivo quick stop.

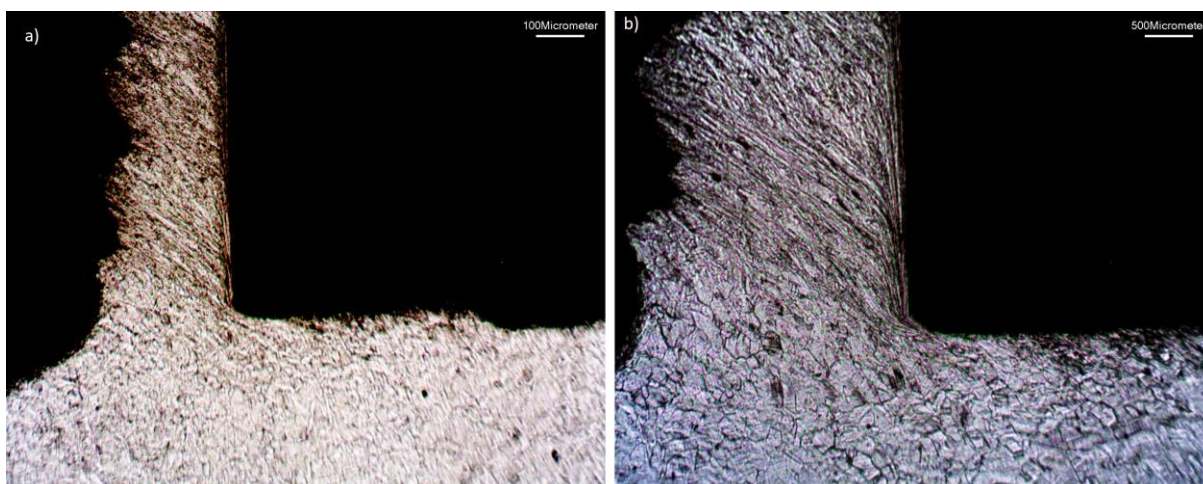


Fonte: Autor (2018)

4.2 ANALISE METALOGRAFICA DAS AMOSTRAS OBTIDAS ATRAVÉS DA UTILIZAÇÃO DO DISPOSITIVO DESENVOLVIDO.

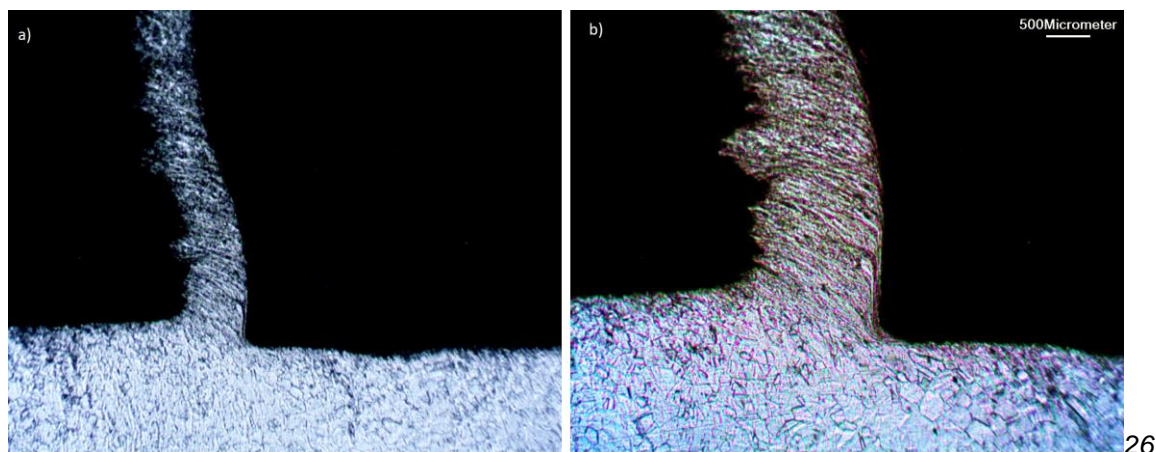
Após os testes de usinagem foram realizados ensaios metalográficos com algumas amostras identificadas nas figuras 24, 25, 26 e 27. Esses ensaios tiveram a finalidade de avaliar se as amostras coletadas nos testes possibilitam a visualização de aspectos do cavaco como a zona de fluxo na raiz, a formação de aresta postiça, a razão de compressão e demais pontos os quais se deseja avaliar quando aplicados a utilização de um dispositivo *quick stop*.

Figura 24 – Micrografia amostra 7, Aço Inoxidável 304, $f= 0,1$ mm, $V_c= 60$ M/min. a) Ampliação de 100x, b) Ampliação de 200x



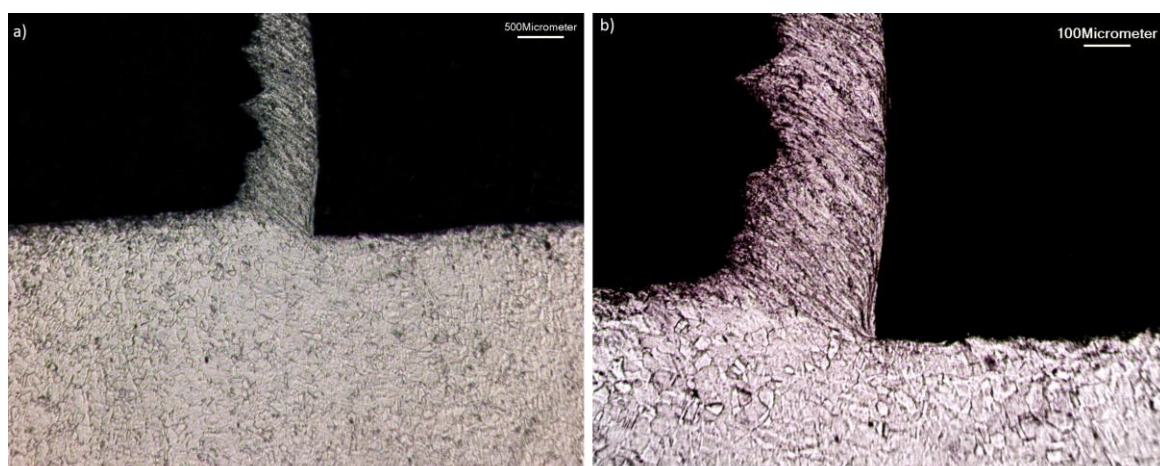
Fonte: Autor (2018)

Figura 25 – Micrografia amostra 8, Aço Inoxidável 304, $f= 0,1$ mm, $V_c= 90M/min$. a) Ampliação de 100x, b) Ampliação de 200x.



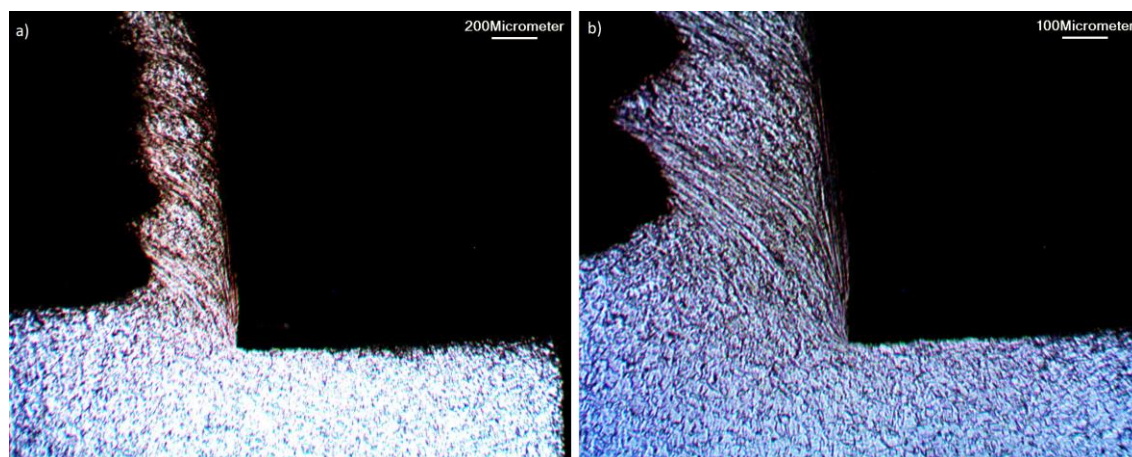
Fonte: Autor (2018)

Figura 26 – Micrografia amostra 9, Aço Inoxidável 304, $f= 0,1$ mm, $V_c= 120M/min$. a) Ampliação de 100x, b) Ampliação de 200x.



Fonte: Autor (2018)

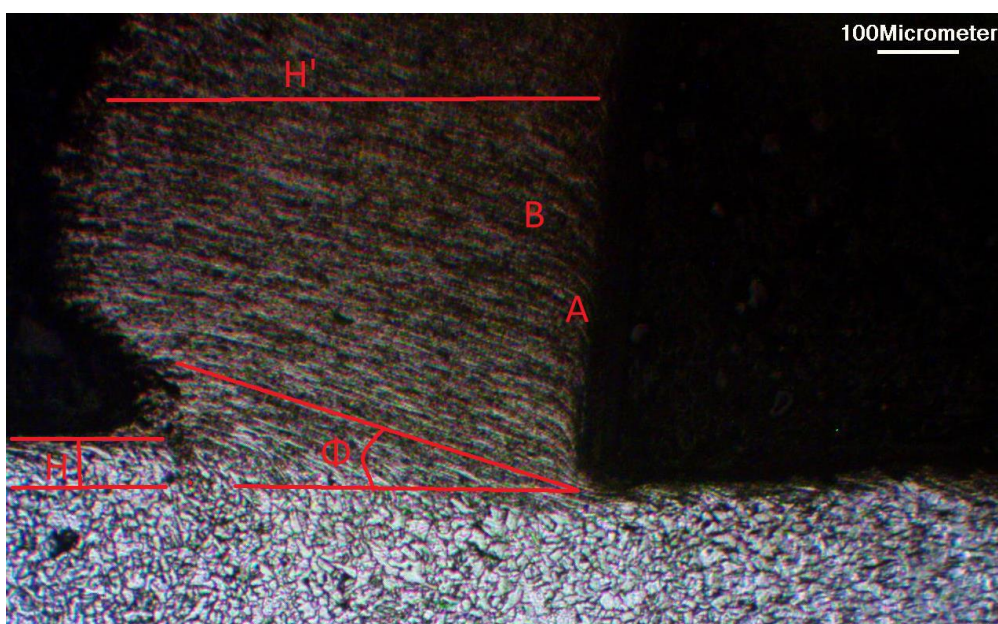
Figura 27 - Micrografia amostra 10, Aço Inoxidável 304, $f= 0,2$ mm, $V_c= 60M/min$. a) Ampliação de 100x, b) Ampliação de 200x.



Fonte: Autor (2018)

Através das amostras obtidas com a utilização do *quick stop* foi possível a verificação de pontos que se busca observar quando se estuda o processo de formação de cavacos como por exemplo: a zona de aderência, a zona de escorregamento, e o ângulo cisalhamento além de ser possível a verificação da espessura inicial e final do cavaco possibilitando assim o cálculo do grau de recalque como demonstra a figura 28.

Figura 28 - Micrografia amostra 1, Aço ABNT 1020, $f = 0,1$ mm, $V_c = 60$ M/min. a) Ampliação de 200x, onde A = zona de aderência; B = zona de escorregamento; H = espessura inicial; H' = espessura final; Φ = Ângulo de cisalhamento.



Fonte: Autor (2018)

4.3 ESTRUTURA DO DISPOSITIVO

O dispositivo desenvolvido apresentou diversas melhorias em relação ao dispositivo utilizado como base. A rigidez na fixação do dispositivo na máquina foi melhorada de maneira significativa se comparada com a fixação do dispositivo base, com isso o dispositivo não apresentou problemas relacionados a vibração durante sua utilização, ainda assim sem tornar o processo de fixação complexo, utilizando o sistema de fixação do próprio castelo do torno como pode ser na figura 29.

Figura 29 – Dispositivo Quick Stop desenvolvido fixo no Torno.



Fonte: Autor (2018)

O sistema de acionamento do dispositivo ficou simples e seguro, exigindo um pequeno esforço do operador na hora da realização dos testes, comparado com outros disponíveis na literatura.

A fabricação do dispositivo não contém um alto grau de complexidade, foram utilizadas máquinas que atualmente estão disponíveis em laboratórios de usinagem, além um porta ferramentas padrão de mercado, com dimensões 20mm x 20mm, possibilitando assim, a aplicação de testes com outras ferramentas apenas fazendo uma adaptação.

5 CONCLUSÃO

Nesse trabalho um dispositivo *quick stop* foi desenvolvido buscando facilitar o processo de estudo da formação de cavacos. Através da avaliação de dispositivos já existentes, um dispositivo foi escolhido como base, considerando aspectos como segurança e facilidade de funcionamento.

Foram verificadas amostras da raiz do cavaco presentes na literatura obtidas através da utilização de outros modelos de dispositivo *quick stop*, desta forma foi possível a verificação do real funcionamento do dispositivo desenvolvido.

Diante disto, com os testes realizados pode-se confirmar que o dispositivo é capaz de gerar amostras passíveis de estudo e semelhantes as amostras da raiz do cavaco presentes na literatura. Nas amostras obtidas foi possível visualizar vários aspectos da zona de formação do cavaco, o qual é o objetivo de um dispositivo do tipo *quick stop*.

O dispositivo atendeu uma gama de utilização bem ampla contemplando sua aplicação em materiais usuais na indústria metal mecânica e com a tensão de escoamento diferentes. Permitiu também aplicar uma ampla gama de parâmetros de usinagem, atendendo as recomendações dos fabricantes de ferramenta no processo de torneamento

O dispositivo se mostrou de fácil utilização, podendo ser fixado ao torno sem a utilização de parafusos e ainda assim garantir um bom alinhamento. O porta ferramentas utilizado pode ser substituído por modelos comerciais, sem a necessidade da fabricação de um suporte específico requisitando apenas uma adaptação. O *quick stop* mostrou-se eficiente exigindo poucas tentativas para a obtenção de uma amostra onde o cavaco não se desvincule da peça.

Os resultados desse trabalho mostram que o modelo de dispositivo do tipo *quick stop* desenvolvido é uma boa alternativa dentre os vários modelos já existentes para a utilização no estudo do processo de formação de cavacos.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dentre as oportunidades de estudos futuros, com o dispositivo quick stop disponível ao Campus, estão a aplicação em diversos materiais em função dos variados parâmetros de usinagem com objetivos como:

- Estudar a formação do cavaco,
- Identificar e avaliar a formação de arestas postiças no processo de torneamento,
- Otimizar de vida útil de ferramentas de usinagem,

REFERÊNCIAS

DINIZ, A. E., Marcondes, F. C., Coppini, N. L., “**Tecnologia da Usinagem dos Materiais**”, Art Liber Editora, Brasil, 2000.

FERRARESI, Dino. **Fundamento da usinagem dos metais**. São Paulo. Edgar Blücher. 1977.

SANTOS, Sandro Cardoso; SALES, Wisley Falco. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. Artliber, 2005. 270 p.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 6ª ed., São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1996.

MACHADO, Alisson Rocha et al. **Teoria da Usinagem dos Materiais**. 1ª ed, Blucher, 2009. 408 p.

CHERN, Gwo-lianq. **Development of a new and simple quick-stop device for the study on chip formation**. International Journal Of Machine Tools And Manufacture, [s.l.], v. 45, n. 7-8, p.789-794, jun. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.11.013>.

GRIFFITHS, B.j.. **The development of a quick-stop device for use in metal cutting hole manufacturing processes**. International Journal Of Machine Tool Design And Research, [s.l.], v. 26, n. 2, p.191-203, jan. 1986. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0020-7357\(86\)90219-2](http://dx.doi.org/10.1016/0020-7357(86)90219-2).

SATHEESHA, M.; JAIN, V.k.; KUMAR, P.. **Design and development of a quick-stop device (QSD)**. Precision Engineering, [s.l.], v. 12, n. 4, p.205-212, out. 1990. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0141-6359\(90\)90062-4](http://dx.doi.org/10.1016/0141-6359(90)90062-4).

LUCAS, E. O., “**Desenvolvimento de um dispositivo Quick-Stop e sua aplicação no estudo da formação do cavaco na usinagem do ferro fundido nodular ferrítico**”, Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. 2003

MATSUMOTO, H. et al. **Estudo da microestrutura e microdureza do material e cavaco do aço vp100 na usinagem por aplainamento, utilizando um dispositivo QUICK-STOP.** Nov 2014.

NOVAES, Fellipe Biazi de; SOUZA, Rafael Agrizzi de. **Análise da formação do cavaco no torneamento do alumínio utilizando câmera de alta velocidade.** 2012. 85 f. - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

SILVA, Rodrigo Henriques Lopes da; OTSUKA, Marcelo Shinji; SOUZA, Janaina Fracaro de. **Desenvolvimento de novo mecanismo quick-stop genérico para estudo da formação de cavacos no torneamento.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO , 2013. p. 0 - 0.

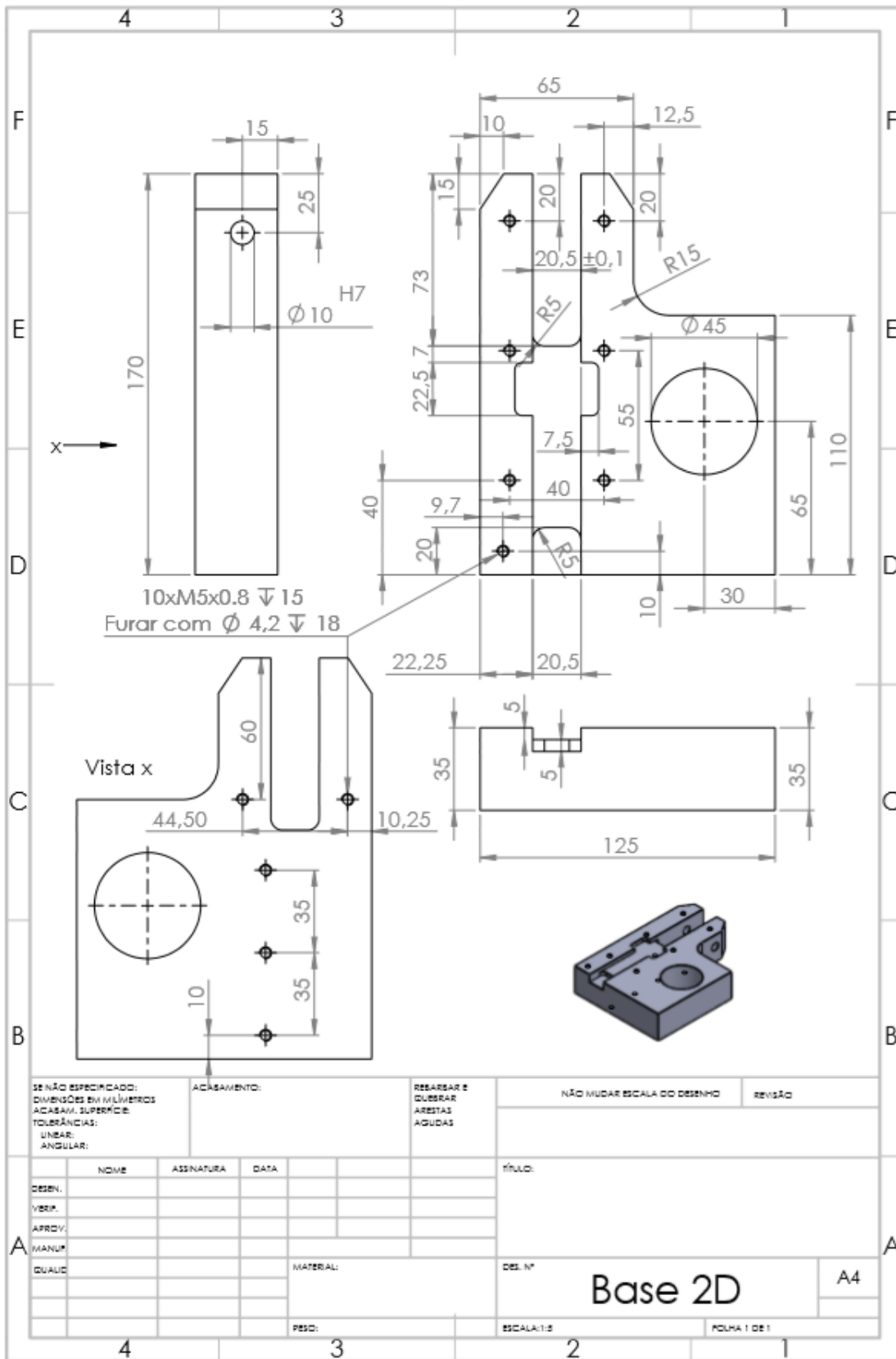
ZANATTA, André & O Gomes, J & Barbosa, Celso & Sokolowski, Alexandre. (2010). **INFLUENCE OF CALCIUM TREATMENT ON CHIP FORMATION OF AUSTENITIC STAINLESS STEEL SAE303.** INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO COM CÁLCIO NA FORMAÇÃO DE CAVACO DO AÇO INOXIDÁVEL AUSTENÍTICO SAE303.

JOSHI, S. S., Ramakrishnan, N., Ramakrishnan, P., 2001. **Micro-structural analysis of chip formation during orthogonal machining of Al/SiCp composites.** ASME Transactions Journal of Engineering Materials and Technology 123, 315–321.

GODOY, Antônio Fernando. **Introdução ao processo de torneamento.** 2011. 17 f.) - Universidade Metodista de Piraciaba, Piracicaba, 2011.

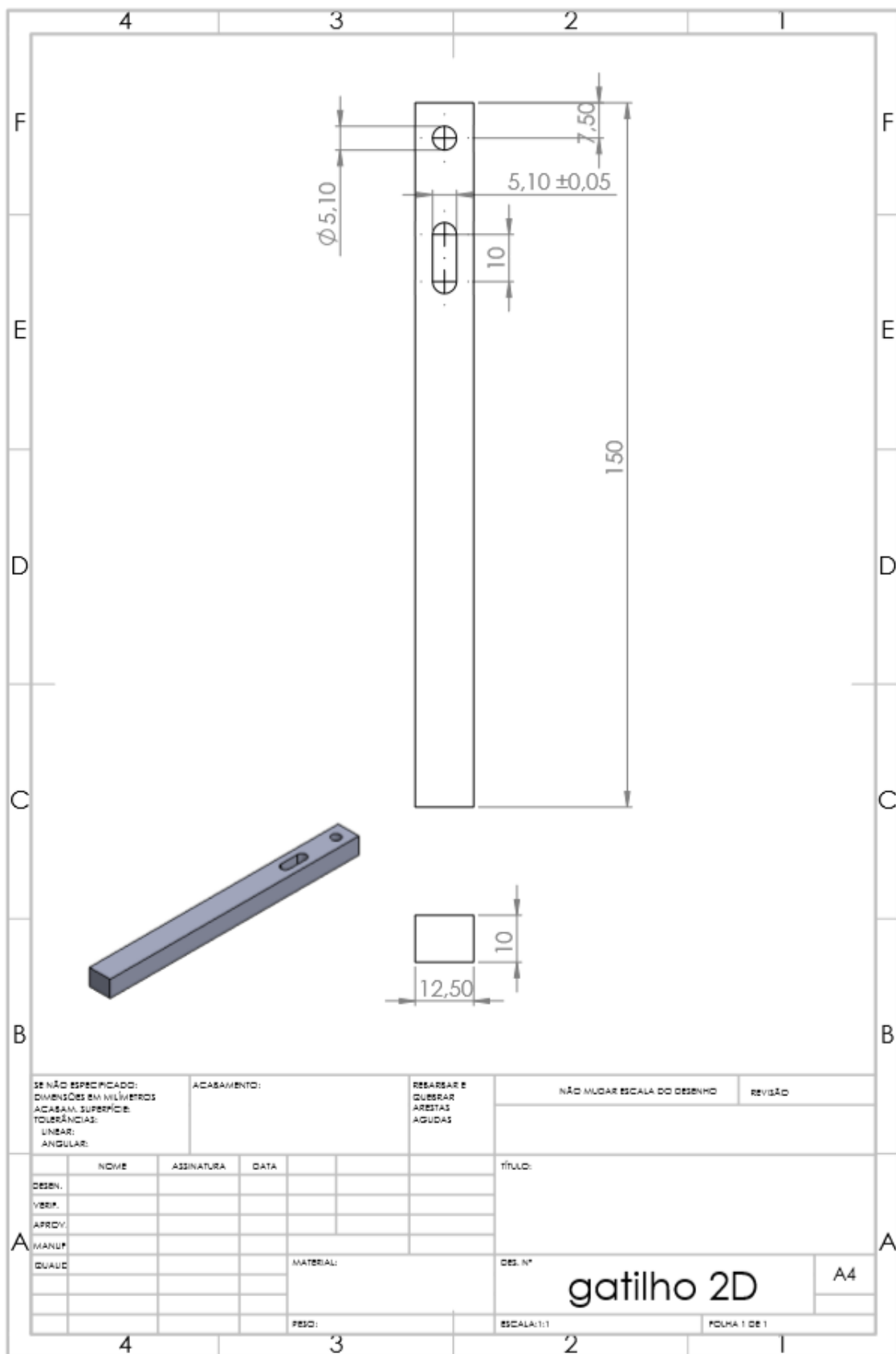
6 APÊNDICE

Figura 30 - Dimensional final da base do dispositivo.



Fonte: Autor (2018)

Figura 31 – Dimensional final do gatilho do dispositivo



Fonte: Autor (2018)

Figura 32 – Dimensional final da tampa do dispositivo

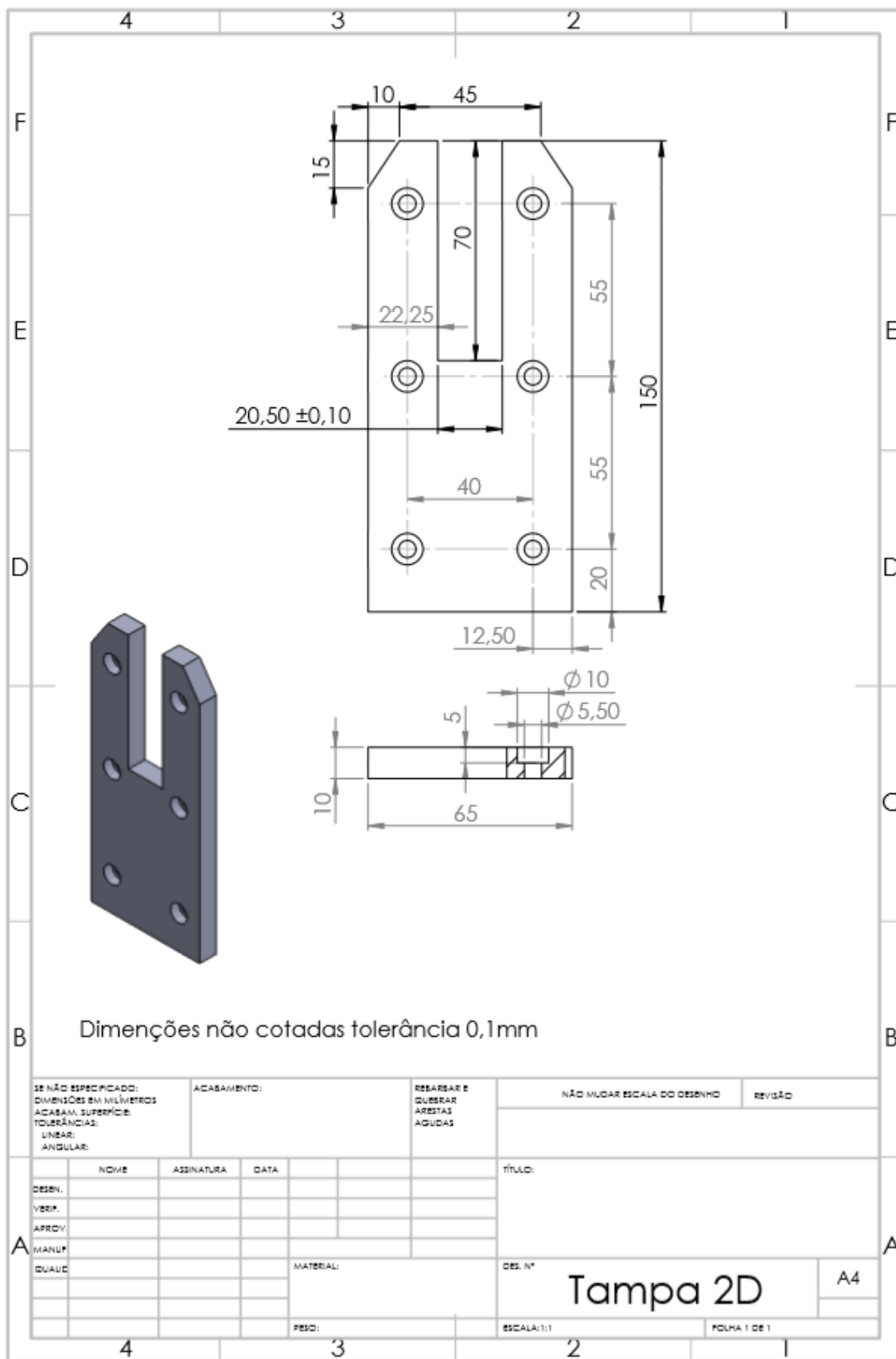


Figura 33 – Dimensional final da lingueta do dispositivo

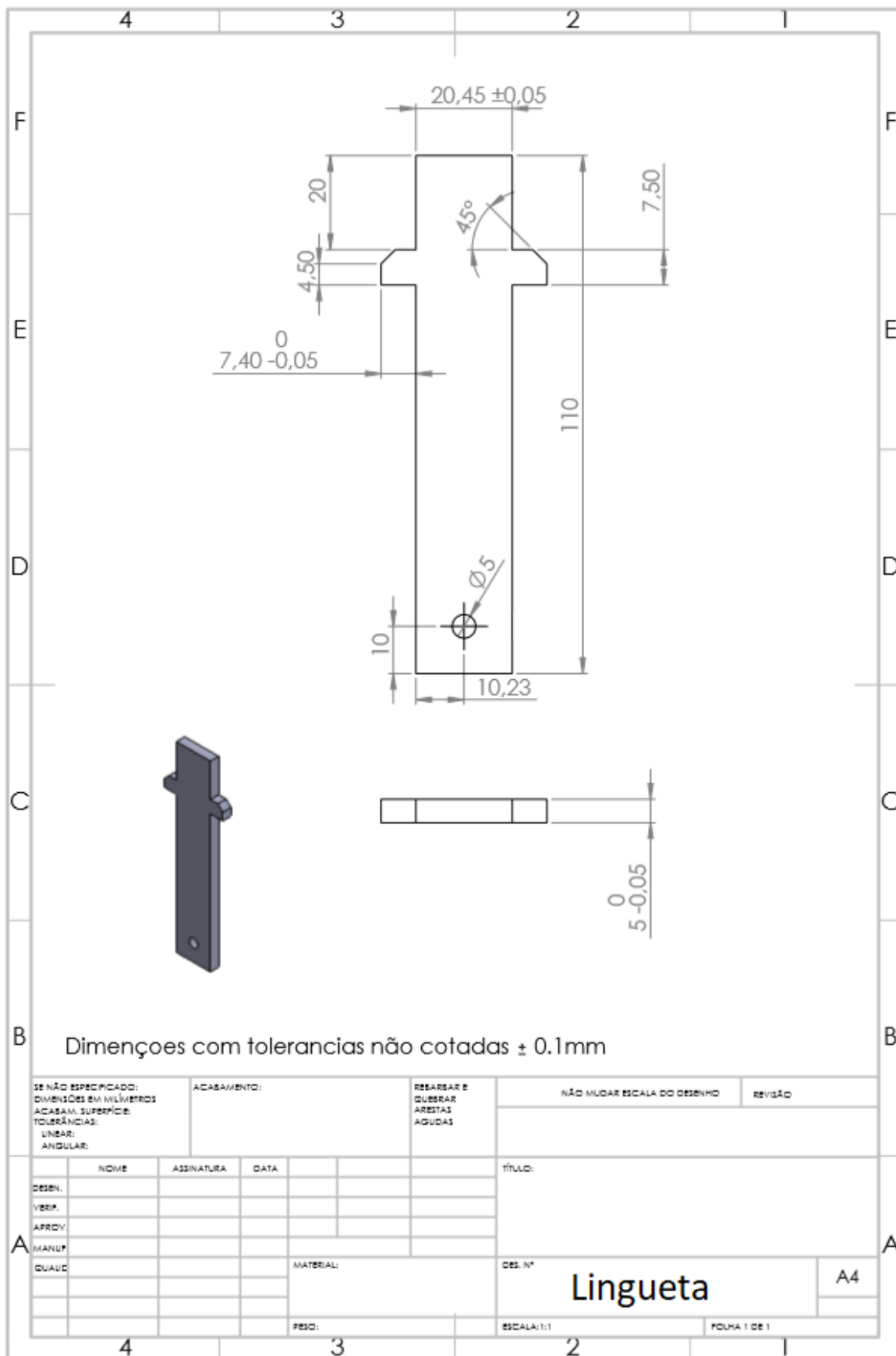


Figura 34 – Dimensional final suporte da mola

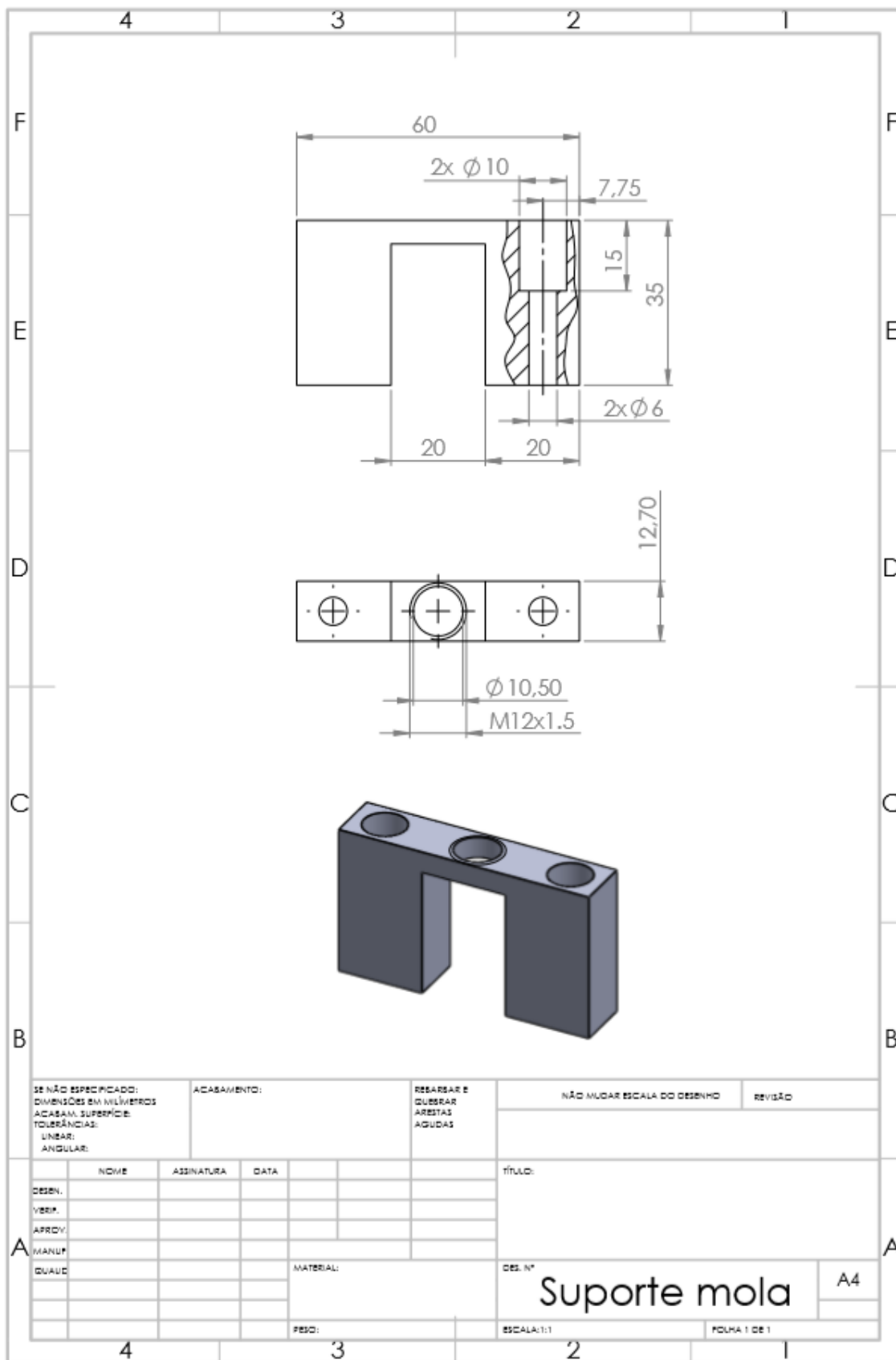


Figura 35 - Dimensional final do encosto do dispositivo.

