



MÁRCIO VINÍCIUS SOARES REZENDE

MATHEUS HENRIQUE COELHO

PEDRO HENRIQUE SOUZA

**PROJETO DE UM FERRAMENTAL DE CUNHAGEM DE
PISTÕES DE AMORTECIMENTO**

LAVRAS – MG

2023

MÁRCIO VINÍCIUS SOARES REZENDE
MATHEUS HENRIQUE COELHO
PEDRO HENRIQUE SOUZA

**PROJETO DE UM FERRAMENTAL DE CUNHAGEM DE PISTÕES DE
AMORTECIMENTO**

Concepção básica apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como
parte das exigências do Curso de
Engenharia Mecânica, para obtenção do
título de Bacharel.

Prof. Dr. Fábio Lúcio Santos
Orientador

LAVRAS – MG

2023

RESUMO

Os equipamentos de produção tendem a ser cada vez mais eficientes, característica indispensável para as empresas, considerando a alta competitividade do mercado, sendo recorrente a substituição de ferramentais ineficientes por novas máquinas mais produtivas. Este trabalho é sobre o projeto de um ferramental de cunhagem de pistões de amortecimento. O objetivo do trabalho é utilizar desta experiência como forma de validar e praticar conceitos de projeto adquiridos ao longo da graduação em engenharia mecânica. Primeiramente, foi analisada uma máquina similar que realiza a mesma função, bem como suas principais características e defeitos, sendo eles o alto índice de paradas por quebra do equipamento, travamento do sistema alimentador, baixa qualidade do produto e baixa produtividade. Em seguida, foram levantadas as principais soluções para os problemas da máquina, e então foi desenhado, projetado e fabricado um novo ferramental que pudesse produzir as mesmas peças de forma mais eficiente. Por fim, foram obtidos satisfatórios resultados, em que foi possível a implementação de diversos conceitos teóricos em um trabalho prático, tais como FMEA, seleção de material, tratamento térmico e superficial, instrumentação, metodologia de projeto e design de itens conforme métodos de produção de peças. Além disso, o ferramental produzido se demonstrou eficiente, reduzindo o tempo de produção por peça em até 34% com relação à máquina similar analisada.

ABSTRACT

Production machines tend to be increasingly efficient, indispensable feature to the companies, considering the high competitiveness of the market, being recurrent the replacement of inefficient machines by new more productive machines. This document is about the design of a damping piston coining machine. The objective is to use this experience as a way to validate and practice project concepts acquired during the graduation in mechanical engineering. First, a similar machine that performs the same function was analyzed, as well as its main characteristics and defects, namely the high rate of downtime due to equipment breakage, feeder system crash, low product quality and low productivity. Then, the main solutions for the machine's problems were raised, and then a new tooling was idealized, designed and manufactured, that could produce the same parts more efficiently. Finally, satisfactory results were obtained, in which was possible to implement several theoretical concepts in a practical work, such as FMEA, material selection, thermal and surface treatment, instrumentation, project methodology and design of items according to methods of parts production. In addition, the produced tooling showed itself as efficient, lowering 34% of production time in relation to the similar analyzed machine.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	2
2.1	Produção enxuta.....	2
2.2	Planejamento de produção	3
2.3	Metodologia de projeto	4
2.4	Análise de falhas	7
2.5	Seleção de material	8
2.6	Cilindros pneumáticos	11
2.7	Sensores de posicionamento	13
3	MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1	Análise inicial de máquina similar.....	15
3.2	Desenvolvimento do projeto (CAD).....	18
3.3	Seleção de Materiais	26
3.4	Seleção dos sensores e atuadores	27
3.5	Detalhamento 2D	30
3.6	Análise dos modos de falha	31
3.7	Orçamento	32
3.8	Fabricação.....	33
3.9	Aplicação e Análise	34
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	FMEA	36
4.2	Orçamento	36
4.3	Projeto	40
4.4	Análise de qualidade	43
4.5	Conceitos revisados	43
5	CONCLUSÕES.....	45
	REFERÊNCIAS.....	46
	APÊNDICE A – CRONOGRAMA	49
	APÊNDICE B – MONTAGEM	50

APÊNDICE C – LISTA DE MATERIAIS	51
APÊNDICE D – DETALHAMENTO 2D	52
APÊNDICE E – FMEA	79

1 INTRODUÇÃO

A competitividade entre as empresas tem aumentado a busca pela melhoria e pelo aumento contínuo da produtividade. Neste contexto, ferramentais de produção ineficientes tendem a ser trocados ou aperfeiçoados. Como exemplo de ferramentais ineficientes, tem-se um equipamento de produção que não produz tantas peças por unidade de tempo quanto deveria, que gera muitos produtos com defeito ou que necessita de muitas paradas por quebra.

Dentre os métodos produtivos existentes, a cunhagem consiste em um processo em que uma peça de trabalho é submetida a um alto nível de tensão. Por meio de uma prensa, o metal é deformado em seu regime plástico, reduzindo o tamanho do grão da superfície e moldando a peça em um novo formato.

O processo de cunhagem em pistões de amortecimento faz-se necessário devido ao fato de que o perfil criado na peça atua diretamente na transferência de óleo de amortecimento entra as câmaras internas de um amortecedor, modificando assim seu fluxo viscoso que conseqüentemente altera a carga de amortecimento.

Este trabalho apresenta uma análise de um ferramental de cunhagem de pistões de amortecimento com uma grande quantidade de problemas, dentre eles o alto índice de paradas por quebra do equipamento e travamento do sistema alimentador. Tais problemas geram um grande prejuízo financeiro, além de travar toda a linha de produção cada vez que ocorre um problema.

Em seguida, é discutida e analisada a melhor forma de projetar um equipamento novo que realize a mesma função, corrigindo seus problemas. É mostrado o novo equipamento projetado e descrita toda a metodologia de projeto e o cronograma seguido para a realização deste trabalho, além da discussão sobre a seleção de materiais utilizados, análise dos modos de falhas e a forma de fabricação.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é o projeto de um novo ferramental de cunhagem de pistões de amortecimento mencionado, visando diminuir as falhas e, conseqüentemente, melhorando a produtividade e a eficiência do processo. Além de discutir, revisar e aplicar na prática conceitos aprendidos durante o curso de Engenharia Mecânica.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção será apresentado um conteúdo teórico necessário para embasar o projeto realizado. Serão expostos os seguintes temas: produção enxuta, planejamento de produção, metodologia de projeto, análise de falhas, seleção de materiais, cilindros pneumáticos e sensores de posicionamento.

2.1 Produção Enxuta

A competitividade entre as organizações pelo mercado tem crescido cada vez mais, o que as tem forçado a buscarem novos métodos e ferramentas para continuar crescendo. A produção enxuta é um conjunto de ferramentas e métodos utilizados para aumentar a produtividade, reduzir desperdícios e melhorar os lucros, e muitas empresas têm utilizado tais ferramentas e métodos para se destacarem entre as concorrentes (OLIVEIRA; SOUSA; CAMPOS, 2018).

O conceito de produção enxuta surgiu no Japão após a Segunda Guerra Mundial, quando os empresários encontraram dificuldades em reerguer suas empresas devastadas pela guerra. A Toyota começou a procurar formas de produzir seus automóveis com um menor inventário, investimento, esforço humano e defeitos, além de aumentar a variedade de seus produtos (BHAMU; SANGWAN, 2014).

O termo “produção enxuta” surgiu em uma pesquisa de estudantes do *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), cujo objetivo era diminuir a grande diferença na performance de produção entre as empresas ocidentais e as japonesas. Porém, o termo se popularizou apenas no começo dos anos 90, quando Womack, Jones e Roos (1990) publicaram seu livro *The Machine that Changed the World*, apresentando a produção enxuta como uma alternativa contra intuitiva ao modelo de produção de Henry Ford utilizado no ocidente desde o início do século XX.

O trabalho de Bhamu e Sangwan (2014) realiza uma revisão de literatura sobre produção enxuta, trazendo mais de 33 definições diferentes para o termo, mas todas destacam que é um sistema de melhoria de produção, com o objetivo de reduzir desperdícios (de tempo e materiais) e melhorar a produtividade.

Um modelo típico de produção enxuta contém as seguintes características: eliminação de atividades que não agregam valor; realocação dos produtos necessários para o seu local de

uso; todos os processos balanceados para produzirem na mesma taxa. Tal taxa é chamada de taxa Takt, e a linha de produção deve ser balanceada de forma que todos os processos produzam aproximadamente no mesmo ritmo, pois não adianta um processo ser mais rápido e ter que ficar esperando outro ser concluído (PATTANAIK; SHARMA, 2008).

De acordo com Oliveira, Sousa e Campos (2018), as principais ferramentas para implementação da produção enxuta dependem do objetivo a ser atingido:

- Disponibilidade máxima de recursos:
 - TPM (Manutenção Produtiva Total) e OEE (Eficiência Geral do Equipamento);
- Máxima qualidade (zero defeito):
 - TQM (Gestão de Qualidade Total);
- Fluxo mínimo produtivo (máximo velocidade):
 - CMS (Sistema de Produção em Células), SMED (Troca Rápida de Ferramenta) e Poka-Yoke (Sistemas a Prova de Erros);
- Inventário mínimo:
 - JIT e sistemas Kanban.

Além disso, os autores ainda afirmam que as principais ferramentas para auxiliar em tomadas de decisão e administração são:

- VSM (Mapeamento de Fluxo de Valor), criada para avaliar a empresa e gerar um mapa de todas as informações do fluxo de processos para verificar a verdadeira situação da produção;
- Kaizen, um sistema de melhoria contínua a ser implementada na empresa;
- 5S, uma ferramenta dedicada à organização e limpeza do local de trabalho;
- Controle Visual, que consiste em deixar visível todas as atividades da empresa para o acesso rápido de todos os envolvidos no trabalho.

Além destas, existem muitas outras ferramentas envolvidas na produção enxuta que auxiliam no controle e desenvolvimento da produção, como por exemplo a ferramenta Jidoka, Heijunka, Andon, entre outros.

2.2 Planejamento de Produção

Ao planejar um processo produtivo, há uma série de considerações a se fazer como a infraestrutura, os equipamentos, regras de operação e planejamento dos aspectos dos processos.

Segundo os autores Esmaelian, Behdad e Wang (2016), os aspectos de planejamento de um processo produtivo se dividem em 3 categorias principais:

- Planejamento de produção, inventário e recursos;
- Agendamento e trabalho de chão de fábrica;
- Controle de qualidade, inspeção e estatística.

A primeira categoria, segundo os autores, é uma questão de encontrar um plano de trabalho eficiente com o propósito de maximizar lucros, lida com a determinação de o quanto e quando produzir. A segunda categoria remete a quando e onde realizar uma série de tarefas, é definida sobre o que fazer com os recursos e equipamentos disponíveis, definir como alocar cada trabalho a cada máquina e determinar a sequência de operações. Já a última categoria lida com a inspeção da produção e a análise da qualidade dos produtos que saem da linha de produção.

2.3 Metodologia de Projeto

Segundo o *Project Management Institute* no guia PMBOK (2021), identifica-se a necessidade da definição de um bom planejamento de projeto. A quantidade de tempo gasto no planejamento, tanto no início como ao longo do projeto, deve ser determinada pelas circunstâncias do projeto.

Dentro dessa metodologia de planejamento, o estabelecimento de um cronograma é vital para a criação de um modelo para a execução das atividades do projeto, incluindo durações, dependências e outras informações de planejamento.

Segundo o PMBOK, dentro das abordagens do cronograma deve-se:

- Decompor o escopo do projeto em atividades específicas;
- Sequenciar as atividades relacionadas;
- Estimar o esforço, a duração e os recursos físicos necessários para as atividades;
- Alocar pessoas e recursos para cada atividade;
- Ajustar a sequência com estimativas e prazos até que o cronograma seja acordado.

No PMBOK também é apresentado o método *tailoring* da organização de projetos, onde é possível reconfigurar os elementos de abordagem para melhor adequar-se ao projeto. Por esse processo é possível reorganizar as possíveis metodologias de projeto e escolher a mais adequada para cada situação, onde essas metodologias dependem de fatores como a equipe disponível, a

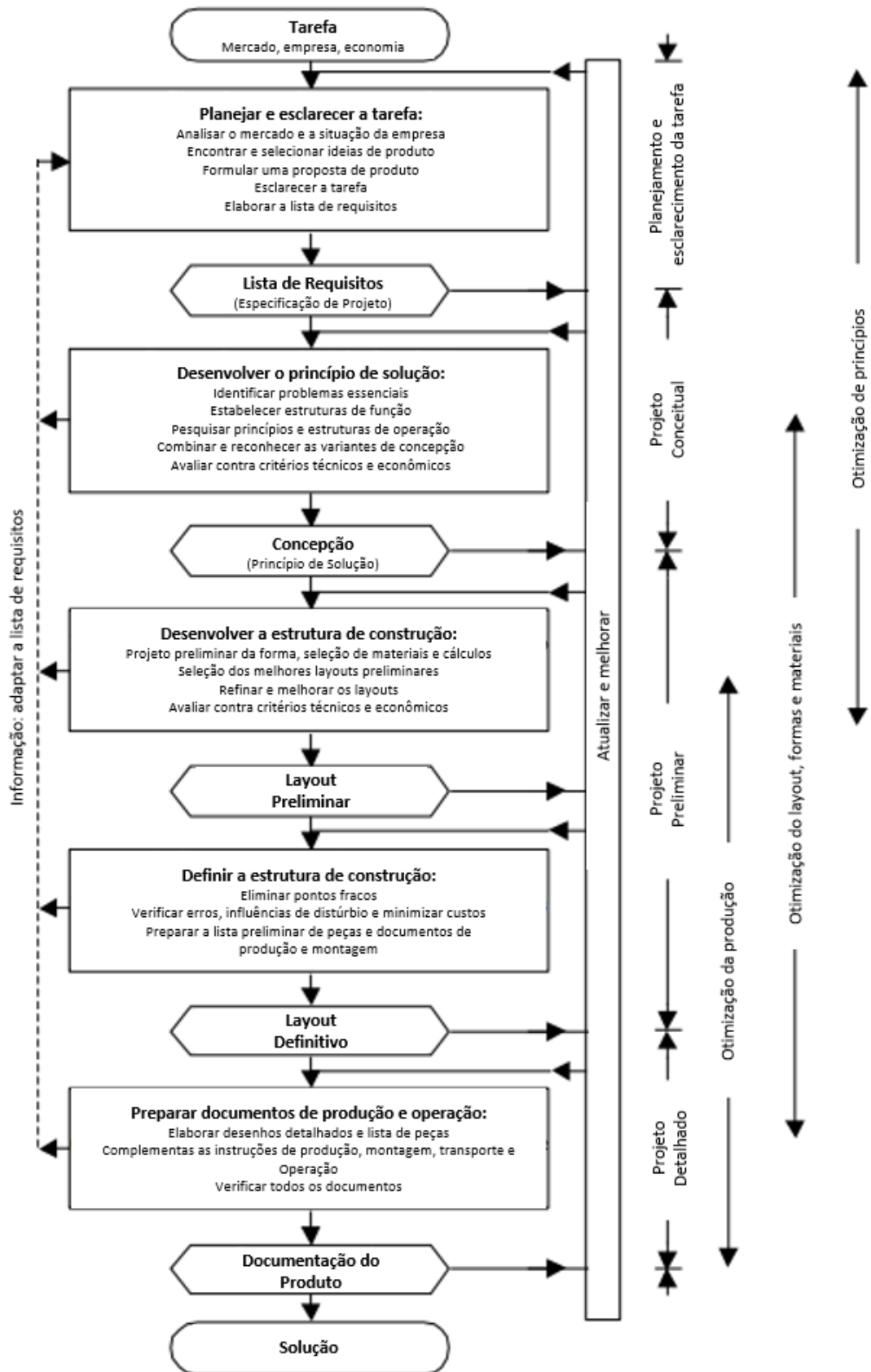
criticidade do projeto, o tipo de produto ou entrega, o mercado ou setor a ser desenvolvido, o prazo, a segurança.

Metodologia de Projeto é definido pelo passo a passo tomado por um projetista ao solucionar um problema. Segundo Norton (2013), uma abordagem de metodologia de projeto pode ser realizada em 10 passos:

- Identificação da necessidade: exposição vaga do problema;
- Pesquisa de suporte: pesquisa necessária para definir o objetivo;
- Definição do objetivo: exposição concreta do objetivo;
- Especificação das tarefas: aplica as condições de contorno do projeto, limitando seu alcance;
- Síntese: definição de diversos métodos para solucionar o problema, sem levantar questões como valor ou qualidade;
- Análise: as soluções definidas na etapa anterior são analisadas para serem aprovadas, rejeitadas ou modificadas;
- Seleção: escolha do método mais adequado de solução;
- Projeto detalhado: nesta etapa todo o projeto é realizado, os desenhos são feitos, os fornecedores são identificados, e as especificações de fabricação são definidas;
- Protótipo: é produzida uma unidade do produto para se realizar os testes;
- Produção: é iniciada a produção em massa do produto.

Outra abordagem muito conhecida e aplicada a mais de 20 anos é a proposta por Pahl e Beitz (1996), demonstrada no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 – Metodologia de Projeto segundo Pahl e Beitz



Fonte: PAHL e BEITZ (1996) (adaptado)

Apesar de antiga, a abordagem apontada por Pahl e Beitz (1996) destaca bem as principais etapas do projeto e a forma de apresentação do fluxograma deixa claro a comunicação constante entre as etapas, ao contrário da abordagem de Norton (2013) que gera uma sensação de linearidade.

Segundo Norton (2013), é necessária uma comunicação constante entre as etapas, sempre retornando em etapas anteriores quando necessário. Teoricamente, isso pode ser feito para sempre, criando continuamente pequenas melhorias, porém isso inevitavelmente leva a um momento em que os ganhos de função ou redução de custo não valerá mais a pena o esforço obtido em tentar melhorar o projeto, então em algum momento é necessário declarar o projeto “bom o suficiente”.

Na etapa do projeto detalhado, é preciso uma boa previsão e análise do comportamento que a máquina terá antes de sua construção. Seu sucesso depende da experiência, do conhecimento e da habilidade do projetista (NORTON, 2013).

Atualmente, os projetos de engenharia são feitos em *softwares* conhecidos como CAD (*computer aided design*, ou desenho assistido por computador). Estes *softwares* são capazes de gerar modelos sólidos 3D, e de calcular diversas propriedades de cada peça, como a massa, o centro de massa e o momento de inércia (NORTON, 2013).

Tais *softwares* geralmente são capazes também de realizar simulações de forças e cargas no sistema, para uma melhor análise das máquinas antes de serem produzidas. Estas simulações são regidas pelo método dos elementos finitos, onde máquinas grandes e complexas são simplificadas em modelos com elementos reduzidos, para melhorar a eficiência computacional das simulações (LIU; ALTINTAS, 2022).

2.4 Análise de falhas

A análise de falhas é o método utilizado para avaliar possíveis riscos e erros em algum processo. O principal objetivo ao realizar uma análise de falhas é tentar prever possíveis situações adversas que podem ocorrer e então minimizar a ocorrência ou a severidade destes problemas. A principal ferramenta utilizada na engenharia para análise de falhas é conhecida por FMEA (*failure mode and effect analysis*) (REDA; DVIVEDI, 2022).

Segundo Reda e Dvivedi (2022), o FMEA é uma abordagem estruturada com a qual é possível determinar e priorizar os modos de falha, de acordo com a frequência de ocorrência, severidade e dificuldade de detecção. Os modos de falha a serem priorizados são escolhidos de

acordo com o RPN (*risk priority number*), um valor que determina o risco de um determinado modo de falha. Segundo os autores, este valor é encontrado pela multiplicação de 3 fatores:

- O (Ocorrência) – Determina qual a chance de ocorrência do modo de falha. Quanto maior o valor, mais provável de acontecer o problema.
- S (Severidade) – Determina qual a magnitude do dano que a ocorrência do modo de falha irá causar. Quanto maior o valor, maior o dano do problema.
- D (Detecção) – Determina qual a dificuldade de detecção prévia do modo de falha. Quanto maior o valor, mais difícil é de detectar a possível ocorrência do problema.

Estes 3 fatores são avaliados em uma escala de 0 a 5 ou de 0 a 10, por exemplo, e então eles são multiplicados para obter o valor de RPN. Os modos de falhas com maiores valores de RPN são os mais problemáticos e que merecem maior atenção, seja em forma de ações para corrigir o projeto ou em ações de manutenção (REDA; DVIVEDI, 2022).

2.5 Seleção de Material

Em máquinas-ferramenta, a estrutura é um componente funcional essencial que tem por função manter a configuração geométrica dos elementos da máquina mesmo sobre carregamentos estáticos, dinâmicos e térmicos, além de ser responsável pela absorção e direcionamento de forças e torques. O comportamento da máquina sobre tais esforços mecânicos e térmicos depende diretamente do material escolhido para a estrutura da máquina, como o módulo de Young, módulo de cisalhamento, resistência a tração e a dobramento, amortecimento, densidade, condutividade térmica e coeficiente de expansão térmica (MÖHRING et al., 2015).

Sendo assim, a seleção do material a ser utilizado na estrutura é uma parte essencial do projeto. Os principais materiais utilizados em estruturas de máquina-ferramentas são o aço e o ferro fundido, e recentemente o granito e o concreto polimérico estão sendo cada vez mais aplicados.

O ferro fundido é o material mais utilizado na estrutura de máquinas ferramentas. Ele pode ser diretamente fundido em formas complexas, e caso necessário pode ser facilmente usinado para chegar ao formato final. O ferro fundido possui boas propriedades de amortecimento e anti-fricção, mas apresenta baixa capacidade de suportar grandes esforços, além de ser suscetível à corrosão (CHAN; OO; HLAING, 2019).

O aço é muito aplicado em máquinas-ferramenta principalmente desde a década de 50. Ele permite redução de massa e material devido ao maior módulo de Young, maior rigidez e resistência a tração. Por outro lado, o aço apresenta baixa capacidade de amortecimento e anti-fricção, e também é suscetível à corrosão (MÖHRING et al., 2015).

Estruturas de pedra natural como o granito possuem algumas vantagens, como não serem magnéticas e condutivas, serem inoxidáveis e não possuírem rebarbas, além de uma baixa expansão térmica e proverem alto amortecimento, além de ser muito disponível e barato. Entretanto, realizar a manufatura de uma estrutura de granito é muito difícil devido à sua grande dureza, gastando muito mais tempo e recursos no processo (MÖHRING et al., 2015).

As propriedades mecânicas do concreto polimérico dependem de sua composição, pois há vários fatores que influenciam nas propriedades de resistência e de amortecimento, e é preciso um estudo cuidadoso para obter um material com as propriedades desejadas. Geralmente, o concreto polimérico apresenta uma maior capacidade de amortecimento de vibração e um menor módulo de elasticidade do que o ferro fundido (VIVEK; HOLLA; KRUPASHANKARA, 2016).

No quadro 1 são apresentados os valores médios de algumas propriedades mecânicas de alguns dos materiais citados (ferro fundido, aço e concreto polimérico), destacando as propriedades citadas que são consideradas vantagens de cada material

Quadro 1 – Propriedades mecânicas de alguns materiais estruturais (valores médios)

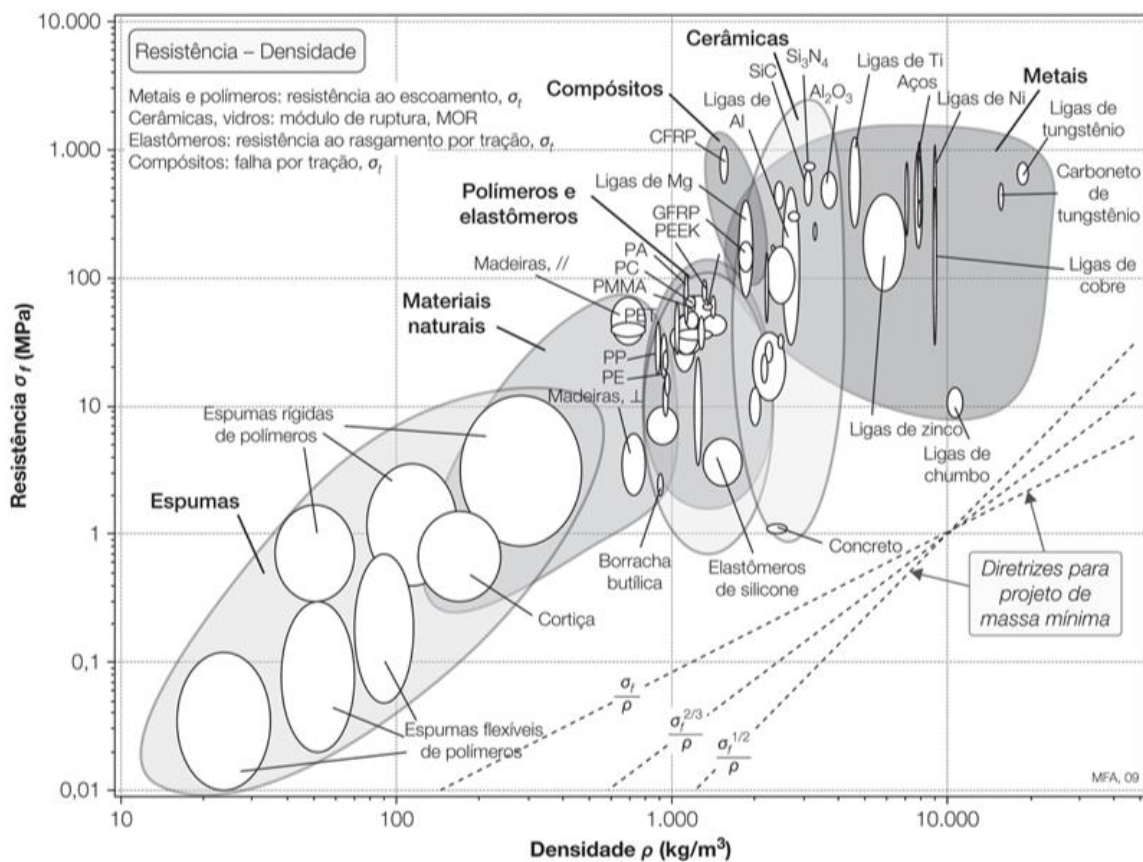
Propriedades	Ferro Fundido	Aço	Concreto Polimérico
Ordem do Coeficiente de Amortecimento	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}
Módulo de elasticidade (N/mm²)	80 a 120	180 a 210	25 a 30
Densidade (g/cm³)	7,2 a 7,8	7 a 7,8	2,2 a 2,8
Resistência a compressão (N/mm²)	600	-	70 a 130
Resistência a flexão (N/mm²)	150	-	25 a 40
Coeficiente de expansão térmica (°C⁻¹)	12×10^{-6}	12×10^{-6}	17×10^{-6}
Calor específico (kJ/kg.K)	0,46	0,46	0,92
Condutividade térmica (W/m.K)	53,5	53,5	1,9

Fonte: VIVEK; HOLLA; KRUPASHANKARA (2016)

Portanto, muitos materiais diferentes possuem vantagens diferentes na estrutura das máquinas-ferramenta, e a combinação de tais materiais pode trazer benefícios ainda maiores. Por exemplo, estruturas de granito ou cerâmica na base da máquina, mas estruturas metálicas no topo, ou preenchendo revestimentos de metais com concreto, criam estruturas híbridas que ao ser comparadas com estruturas puras de cada um dos tipos de materiais, apresenta propriedades vantajosas, e muitas pesquisas têm sido desenvolvidas a respeito de tais combinações de estrutura (MÖHRING et al., 2015).

Dentro da vasta gama de materiais disponíveis para a utilização, cada um deles possui uma enorme quantidade de propriedades mecânicas. Neste contexto, a comparação entre estas propriedades é apresentada de maneira compacta e de fácil acesso pela utilização do diagrama de Ashby, em que ao realizar uma escolha sensata da propriedade de cada eixo mostra a faixa abrangida por cada família e classe de material (ASHBY, 2018). Na Figura 2 é mostrado um diagrama de Ashby comparando as propriedades módulo de Young e densidade.

Figura 2 – Diagrama de Ashby (Modulo de Young x Densidade)



Fonte: ASHBY (2018)

Dentre as faixas criadas é possível observar pequenas outras faixas específicas, que correspondem às diversas famílias de materiais. Por exemplo, na região dos metais tem-se balões específicos como as ligas de chumbo, de cobre e os aços, e nota-se que a faixa dos metais não é o conjunto união dos balões menores, mas sim o espectro de variações das propriedades dos materiais de uma mesma classe, no caso os materiais metálicos (ASHBY, 2018).

Dentre as opções estruturais citadas, uma ótima alternativa para máquinas ferramentas é a utilização dos aços, e entre eles o aço cromo níquel molibdênio (SAE 8640 ou VB40) se destaca por apresentar uma composição química e propriedades mecânicas ideais para esta aplicação. Ele possui alta resistência e tenacidade, e geralmente é usado em braços e eixos. Segundo Ghosh, Bhaduri e Ray (1994), o aço SAE 8640 tipicamente possui a seguinte composição química:

- 0,40% de Carbono
- 0,90% de Manganês
- 0,011% de Enxofre
- 0,033% de Fósforo
- 0,28% de Silício
- 0,55% de Cromo
- 0,015% de Alumínio
- 0,20% de Molibdênio
- 0,52% de Níquel
- O restante de Ferro

Este aço possui uma tensão de escoamento de 560MPa e uma resistência a tração de 750 MPa (PEIXOTO; SEIF; VIEIRA, 2017). Nas condições de temperado e revenido, este aço possui uma dureza de 52 HRC (ALVES; OLIVEIRA, 2006).

2.6 Cilindros pneumáticos

Os cilindros pneumáticos são dispositivos mecanicamente projetados para produzir força (em movimento linear) a partir de gás comprimido, e são conhecidos também como cilindros de ar. Os cilindros pneumáticos podem possuir várias aparências e tamanhos e destinam-se a desempenhar diferentes funções dependendo das necessidades do mercado. Existem milhares de aplicações industriais que exigem um movimento linear durante a

sequência de operação. Uma das maneiras mais simples e econômicas para conseguir isso é com um cilindro pneumático (JIMÉNEZ; KURMYSHEV; CASTAÑEDA, 2020).

Segundo o site da Festo, uma multinacional alemã referência em produtos para controle e automação industrial pneumáticos e eletrônicos, os atuadores pneumáticos são uma solução particularmente rentável para várias aplicações, mesmo nas condições ambientais mais adversas, e possuem um arranque simplificado. Suas aplicações mais comuns incluem: aperto, elevação, descida, impulso, arraste, guiamento, rotação, agarre, fixação e sustentação, união, retenção, vedação, gravação, entre outras.

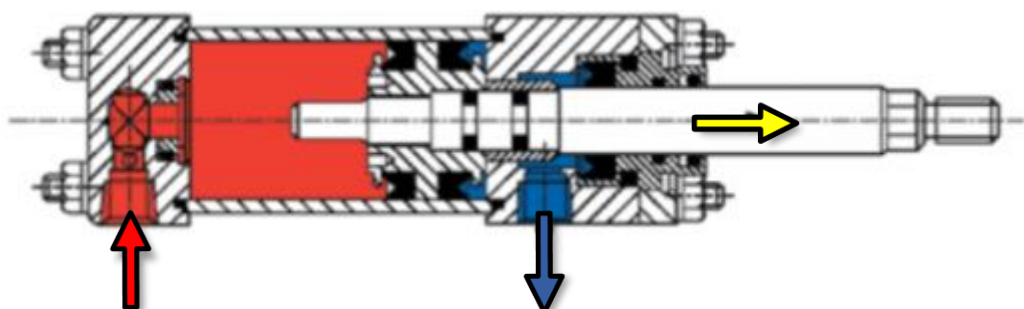
O cilindro pneumático consiste em um pistão e uma haste que se movem dentro de uma câmara fechada, ou melhor dizendo dentro do cilindro. Mesmo assim, existe uma grande variedade de técnicas e materiais de construção para atender a uma ampla gama de aplicativos, aplicações e preferências do usuário (LI et al., 2013).

Os materiais do corpo podem ser alumínio, aço, aço inoxidável e até mesmo certos polímeros. A construção pode ser não reparável ou reparável. Este estilo de atuador pode ser subdividido em certos tipos com base no princípio de operação: ação simples e dupla ação e de Haste passante, etc (JIMÉNEZ; KURMYSHEV; CASTAÑEDA, 2020).

Segundo o site da Festo, um atuador pneumático de ação simples é aquele em que só existe uma conexão de ar comprimido, portanto o fluxo de ar move o pistão em somente uma direção, e a força do atuador é somente nesta mesma direção. Para que o pistão volte à posição original, é preciso liberar o ar do atuador e uma mola mecânica empurra o pistão de volta.

Já o cilindro do tipo dupla ação, representado na Figura 3, tem como característica uma entrada de ar em cada extremidade e move o pistão para frente e para trás de acordo com a extremidade que recebe o ar de alta pressão (indicado em azul e vermelho na Figura 3) (LI et al., 2013).

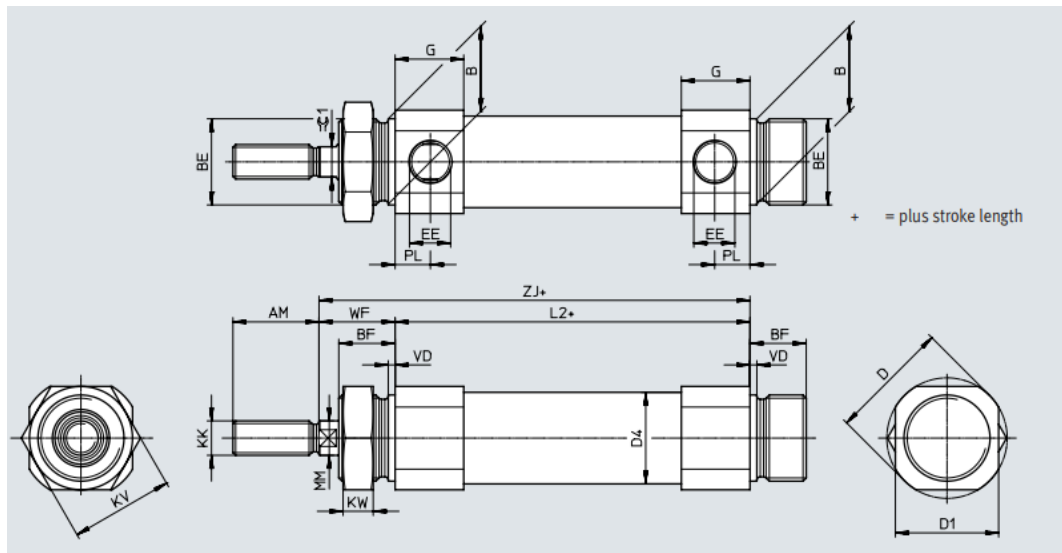
Figura 3 – Cilindro de dupla ação



Fonte: PERDOMO (2019)

Na Figura 4 é apresentado um esquema dos catálogos da Festo dos cilindros da linha DSNU-S. Esta linha é composta por cilindros redondos de dupla ação, de diâmetro pequeno (até 25mm) e curso de até 200mm.

Figura 4 – Esquema dos atuadores da linha DSNU-S da Festo.



Fonte: Festo (2023)

2.7 Sensores de posicionamento

A utilização de sensores na indústria tem crescido cada vez mais nos últimos anos, devido ao processo de automatização que tem ocorrido na produção industrial. Sensores de posicionamento e distância são aqueles que são capazes de detectar a posição ou a distância de um objeto. Nesta seção serão mostrados 2 tipos deles: magnetoresistivos e indutivos.

Os sensores magnetoresistivos são aqueles capazes de detectar mudanças ou distúrbios no campo magnético. Eles são baseados em um conceito conhecido a mais de 100 anos, mas seu uso só se tornou promissor desde a década de 70 quando percebeu-se que tais sensores são capazes de obter bons resultados (MAPPS, 1997).

Estes sensores apresentam claras vantagens como uma saída alta e uma baixa sensibilidade a ruído, boa estabilidade térmica, baixo custo e tamanho reduzido (SILVA et al., 2021). Eles são compostos por uma fina camada de metal magnetizada, que possui uma certa resistência elétrica. Ao ocorrer um distúrbio em seu campo magnético através da aproximação

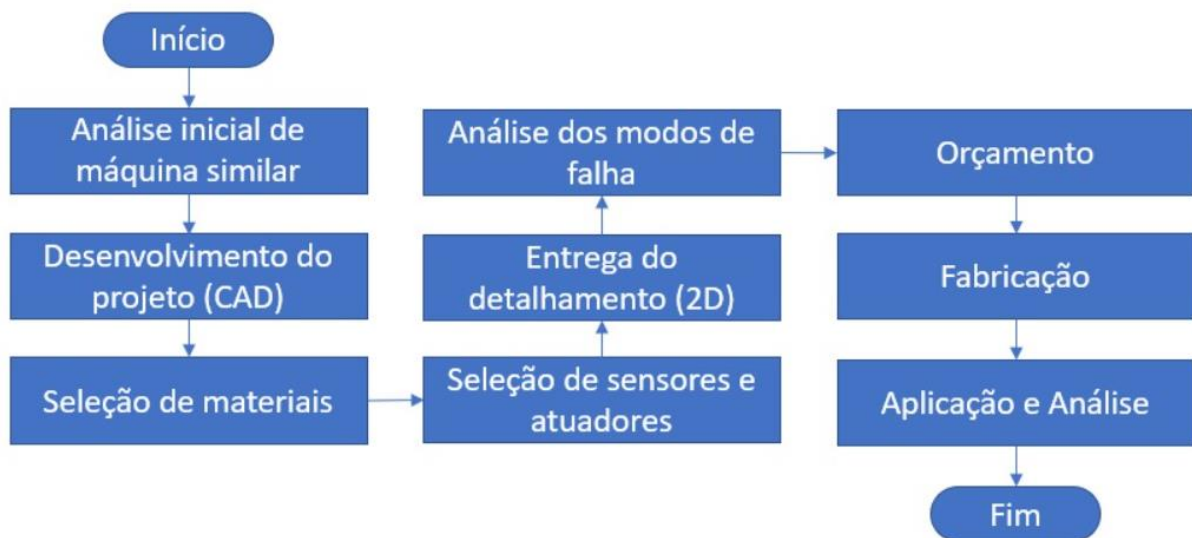
de algum material metálico, ocorre uma mudança em sua resistência elétrica, que é identificada pelo circuito elétrico acoplado ao sensor (MAPPS, 1997).

Os sensores indutivos são parecidos, mas o conceito envolvido é um pouco diferente. Eles também são capazes de prover medidas de distância sem contato, com alta sensibilidade, alta rapidez de resposta e baixo ruído, e eles são muito aplicados na detecção de distância de objetos metálicos no setor automotivo e da aviação. Eles possuem uma bobina que geram um campo magnético quando uma corrente elétrica passa por ela. A presença de materiais metálicos ou condutores neste campo magnético causa uma mudança na reatância indutiva do sensor, que pode ser detectada pelo circuito acoplado (HUANG, 2022).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para realização do projeto, foi estipulado um cronograma com base nas tarefas a serem desenvolvidas, conforme mostrado no Apêndice A e também de forma resumida no fluxograma na Figura 5.

Figura 5 – Fluxo de atividades realizadas no projeto



Fonte: Do autor.

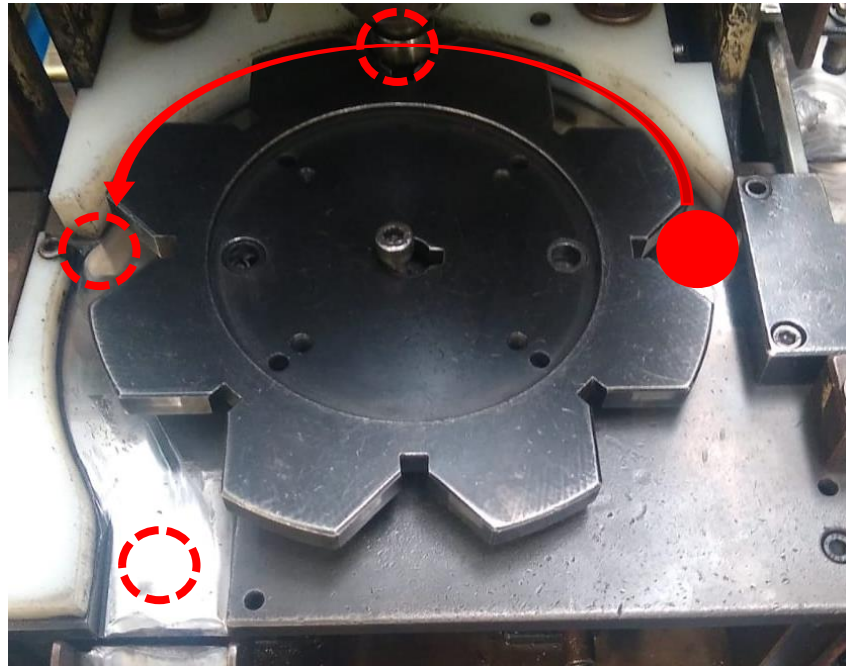
3.1 Análise inicial de máquina similar

Como primeira etapa para desenvolvimento do projeto, realizou-se uma análise de uma máquina que realiza a função desejada, observando os pontos negativos já existentes no equipamento.

Os principais problemas analisados foram o alto índice de paradas por quebra do equipamento e travamento do sistema alimentador, além de problemas quanto a qualidade do produto, que conta com um anel de teflon que não deve ser danificado.

Foi constatado que os pontos problemáticos levantados se derivam do sistema de deslocamento e alimentação de peças, que ocorria de uma forma angular, por uma mesa rotativa. A máquina analisada é mostrada na Figura 6, com o deslocamento da peça conforme indicado.

Figura 6 – Sistema por mesa rotativa



Fonte: Do Autor

O problema era oriundo do ângulo formado entre as pás da mesa rotativa e o atrito com as paredes, que faziam que o produto travasse entre as partes móveis e fixas da máquina causando um travamento do equipamento, ou uma quebra dos servo-atuadores e eixos, ou até mesmo um dano ao produto que poderia influenciar na qualidade final dos amortecedores montados.

O problema consistia fisicamente então em uma geometria irregular do ferramental, que acabava prensando a peça a ser cunhada, ou então devido a um alto coeficiente de atrito entre a peça e o equipamento, que também poderia danificar a peça, porém este modo de falha ainda realizava o processo e a peça que de certa forma foi danificada passava e resultava em *recalls* e multas.

Dentro da avaliação de como o problema poderia ser solucionado, foi verificado que todas as superfícies de contato entre peça e ferramental já possuíam bom acabamento superficial (retificado) ou eram compostas de material de baixo coeficiente de atrito (Nylon). Dessa forma, foi descartado a possibilidade de uma melhoria nas condições superficiais do equipamento.

As geometrias formadas entre máquina/peça também foram avaliadas, possibilitando justificar os travamentos e problemas de qualidade quanto aos ângulos e quinas formados entre as pás rotativas e o pistão. Contudo, ao realizar uma análise mais aprofundada, foi constatado

que não seria possível garantir uma boa alimentação da peça ao equipamento sem um possível erro geométrico entre as pás da mesa e a peça cilíndrica, principalmente pelo fato de que a alimentação inicial da máquina era feita por uma mesa vibratória, que por meio de uma calha depositava as peças no alcance das pás rotativas.

Sendo assim, foi tomada a decisão de que o projeto deveria realizar um movimento linear com atuadores pneumáticos, ao invés de realizar uma movimentação angular como na máquina analisada.

Além disso, foi possível observar um certo desgaste nas calhas por onde as peças passavam no ferramental analisado. Estes notórios desgastes são visualizados na Figura 7. Este ferramental foi fabricado em aço comum com 0,2% de carbono (ABNT 1020), então foi decidido que o projeto seria feito em um material mais resistente para evitar estes desgastes que pode danificar as peças.

Figura 7 – Desgaste nas calhas do ferramental analisado



Fonte: Do Autor

Entre os pontos levantados, foi criado um ideal a ser atingido e criado. Tais pontos são nomeados a seguir:

- Ferramental deve ser de fácil regulagem e manutenção
- Deve possuir um sistema de *setup* rápido.
- Deve possuir baixo coeficiente de atrito entre peça/ferramenta.
- Ferramental deve remover ou reduzir problemas de qualidade na peça.

- Ferramental não pode possuir problema de travamento de peças.
- Ferramental não pode ter muitas paradas por quebra de equipamento.

3.2 Desenvolvimento do projeto (CAD)

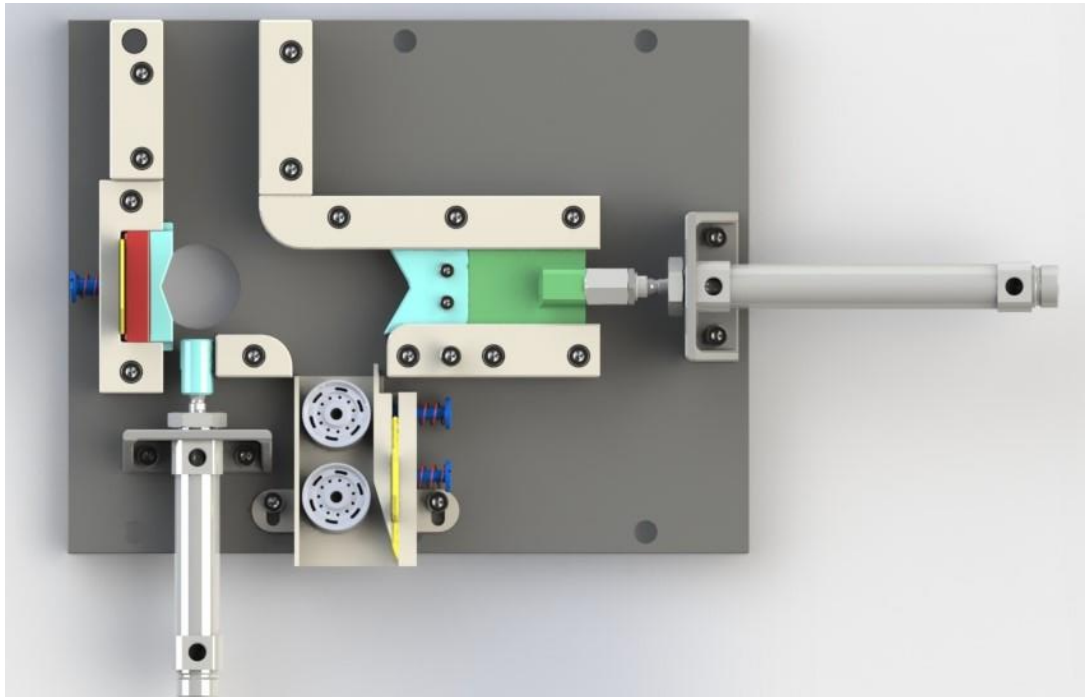
Seguindo as metodologias de projeto propostas por Norton (2013), a identificação da necessidade, a pesquisa de suporte e a definição de objetivo já desenvolvidas, devem ser seguidas pela especificação das tarefas. Foi realizada uma síntese dos possíveis métodos de projeto para solução dos problemas levantados, onde foram analisadas possíveis formas de funcionamento diferentes para o novo projeto.

Dentre as possíveis abordagens para o projeto, foi avaliada a possibilidade de manter o sistema angular adicionando apenas pequenas modificações para tentar tornar a máquina efetiva em produção, porém foi concluído que o conceito de movimentação angular ainda seria um problema que resultaria em paradas de correção e manutenção por travamento indevido da mesa rotativa. Devido ao sistema estudado possuir pontos falhos como consequência de seu sistema de movimentação angular, o conceito selecionado foi da transição para um sistema linear.

Em um croqui 2D desenhado a mão, identificou-se previamente os pontos de entrada, cunhagem e saída de peças, juntamente aos parâmetros geométricos básicos da máquina, como área disponível para disposição de componentes e a referência dimensional do local de cunhagem, estratificando a análise e especificação das tarefas necessárias a serem desenvolvidas pelo equipamento.

Dentre as possíveis formas de solução do problema, foi selecionado o desenvolvimento do reprojeto mecânico do ferramental com auxílio do *software* de CAD (*Computer Aided Design*) *SolidWorks*®, com base nos pontos que foram levantados. Na Figura 8 é apresentado o sistema proposto.

Figura 8 – Sistema linear para ferramenta de cunhar pistão

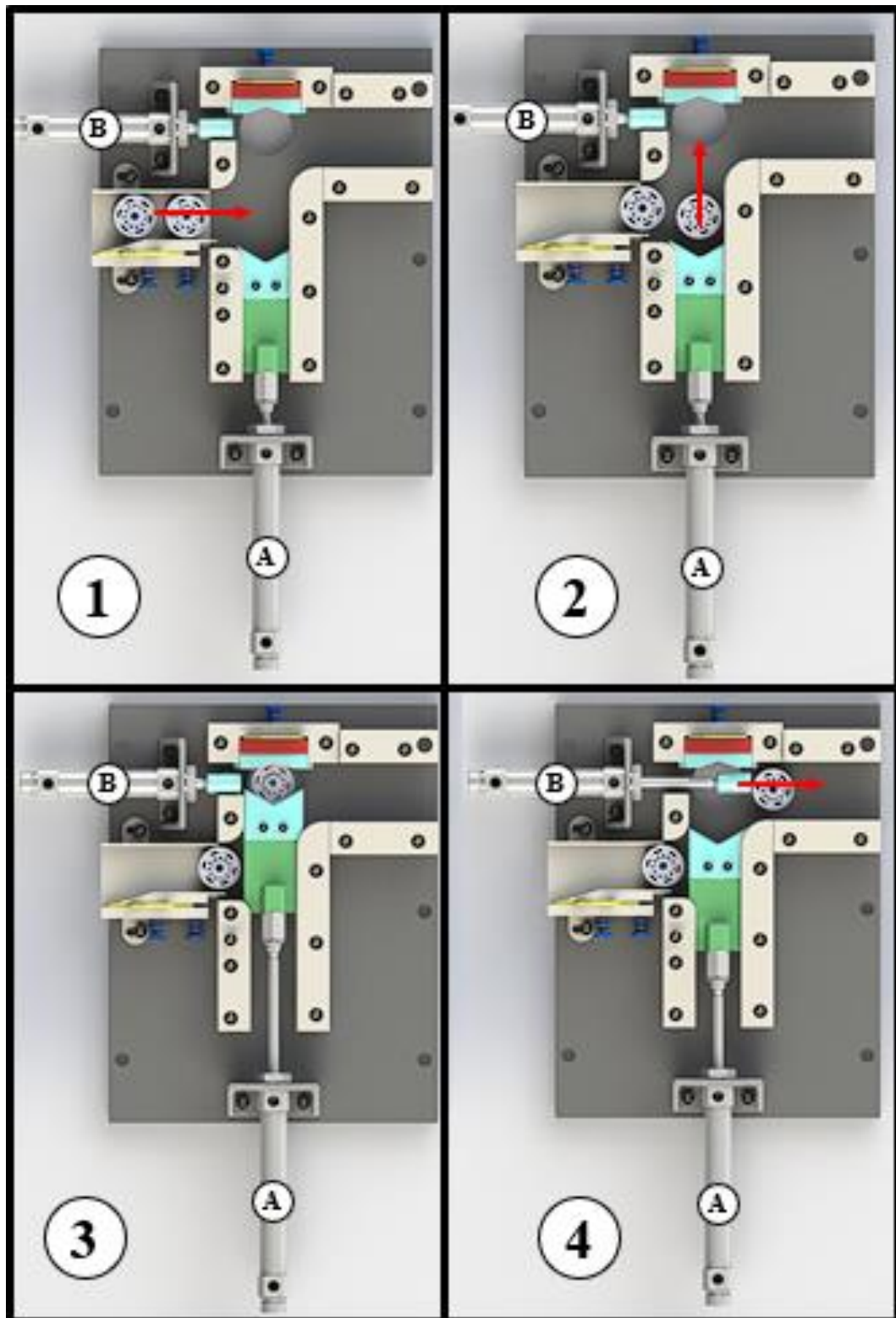


Fonte: Do Autor

O sistema deve realizar toda a movimentação das peças utilizando apenas 2 cilindros pneumáticos. Visando os tópicos das melhorias, o sistema linear por cilindros pneumáticos é de rápida atuação, e podem ser regulados em termos de pressão para reduzirem os problemas de força excessiva sobre a peça, reduzindo dessa forma os problemas de danos ao selo de teflon.

Na Figura 9 é demonstrada a sequência de funcionamento da máquina projetada, e cada uma das etapas é explicada detalhadamente a seguir.

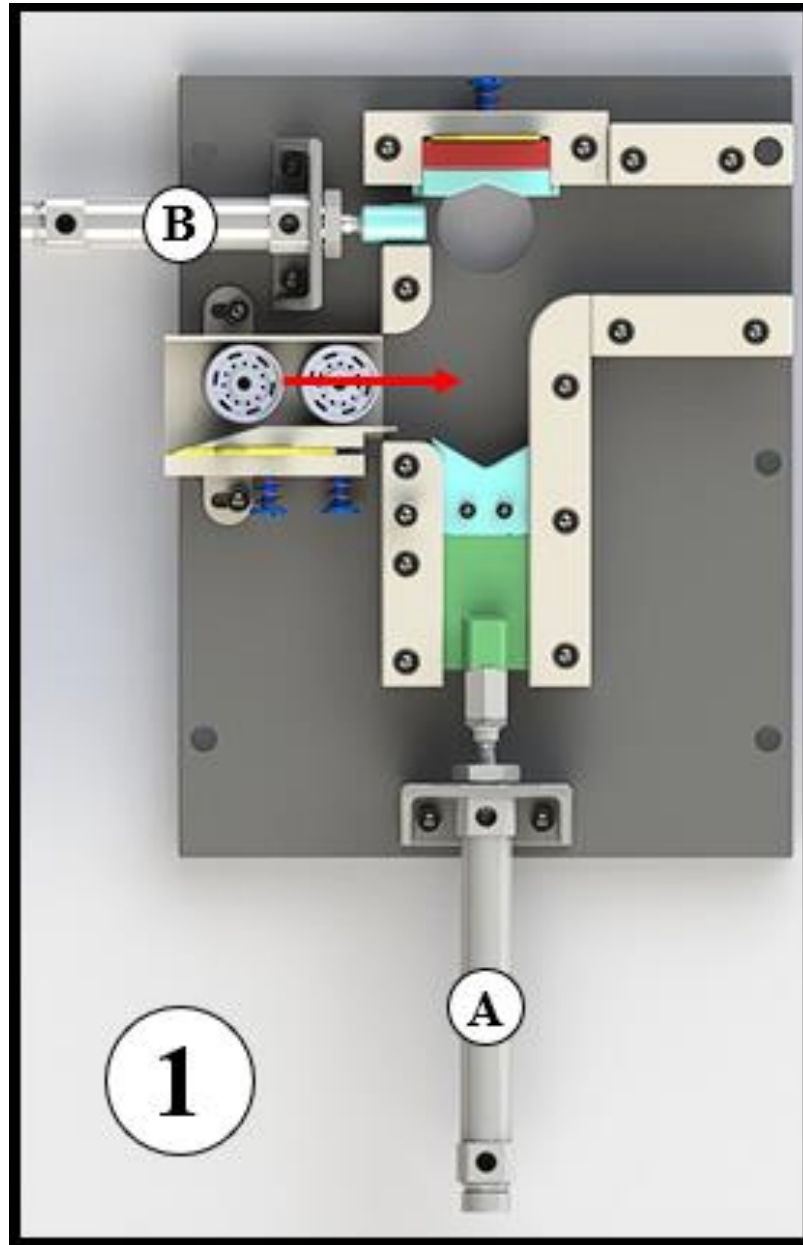
Figura 9 – Esquemático de funcionamento do sistema



Fonte: Do Autor

1 – Os pistões a serem cunhados chegam por uma rampa vibratória e neste momento o cilindro pneumático “A” está recuado. Dessa forma, é possível que a peça a ser conformada desça pela rampa. A primeira etapa é demonstrada na Figura 10.

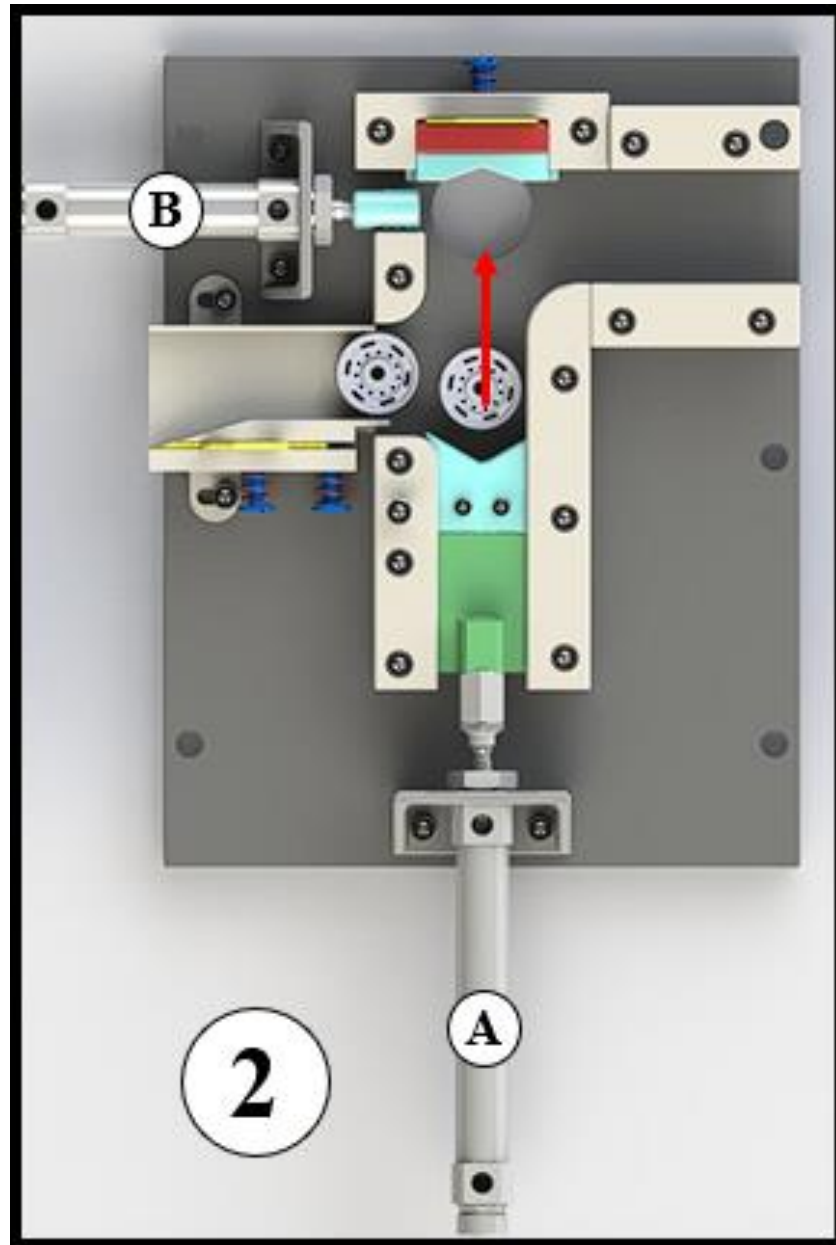
Figura 10 – Primeira etapa de funcionamento da máquina



Fonte: Do Autor

2 – A peça a ser cunhada fica posicionada na calha central, onde o cilindro “A” realiza a movimentação para cima, empurrando a peça para a posição de cunhagem. Vale ressaltar que na ponta do cilindro “A” existe uma cunha em “V” fabricada em Nylon e os vértices de saída da rampa são raiados para reduzir as chances de um travamento ou de danos ao pistão. A segunda etapa é demonstrada na Figura 11.

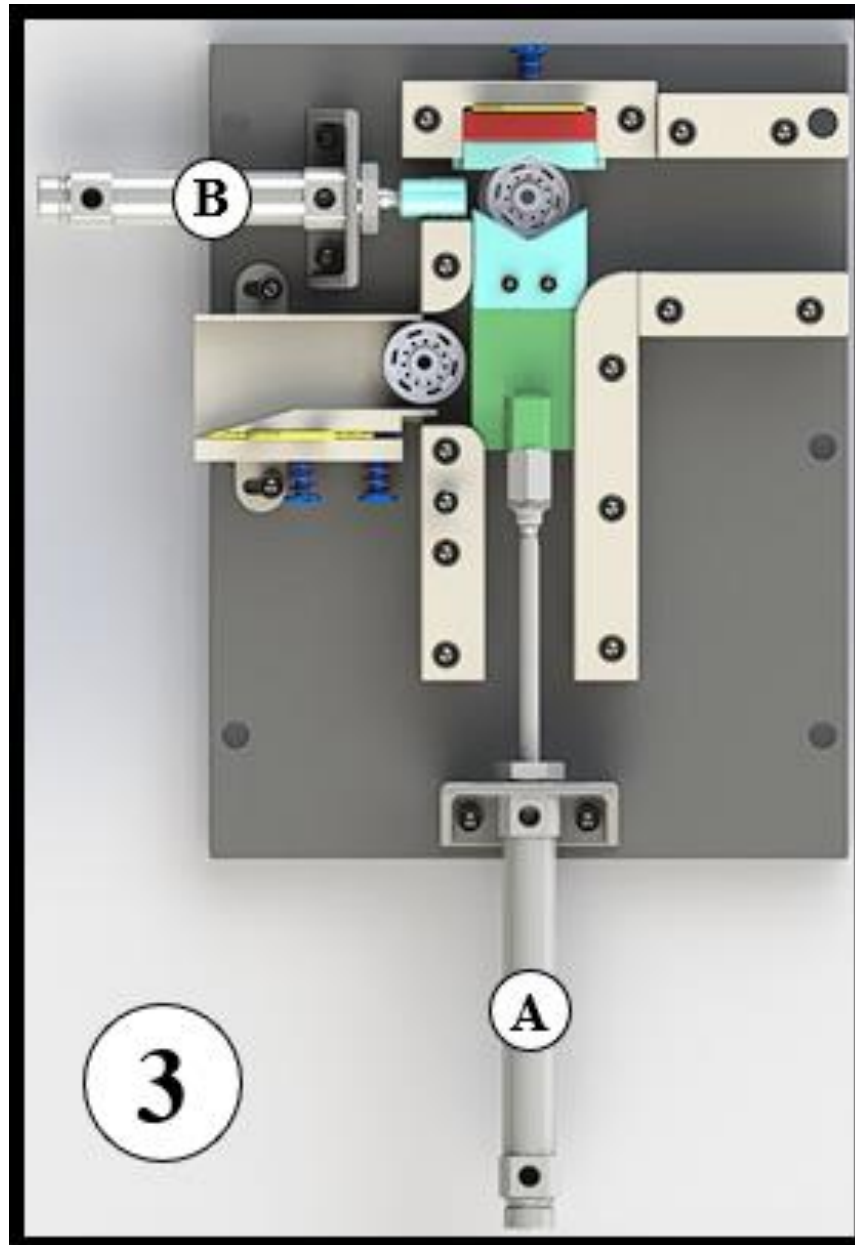
Figura 11 – Segunda etapa de funcionamento da máquina



Fonte: Do Autor

3 – A peça é cunhada, com seu centro sendo garantido pela cunha em V do cilindro “A” e pela cunha em V do lado oposto. A terceira etapa é demonstrada na Figura 12.

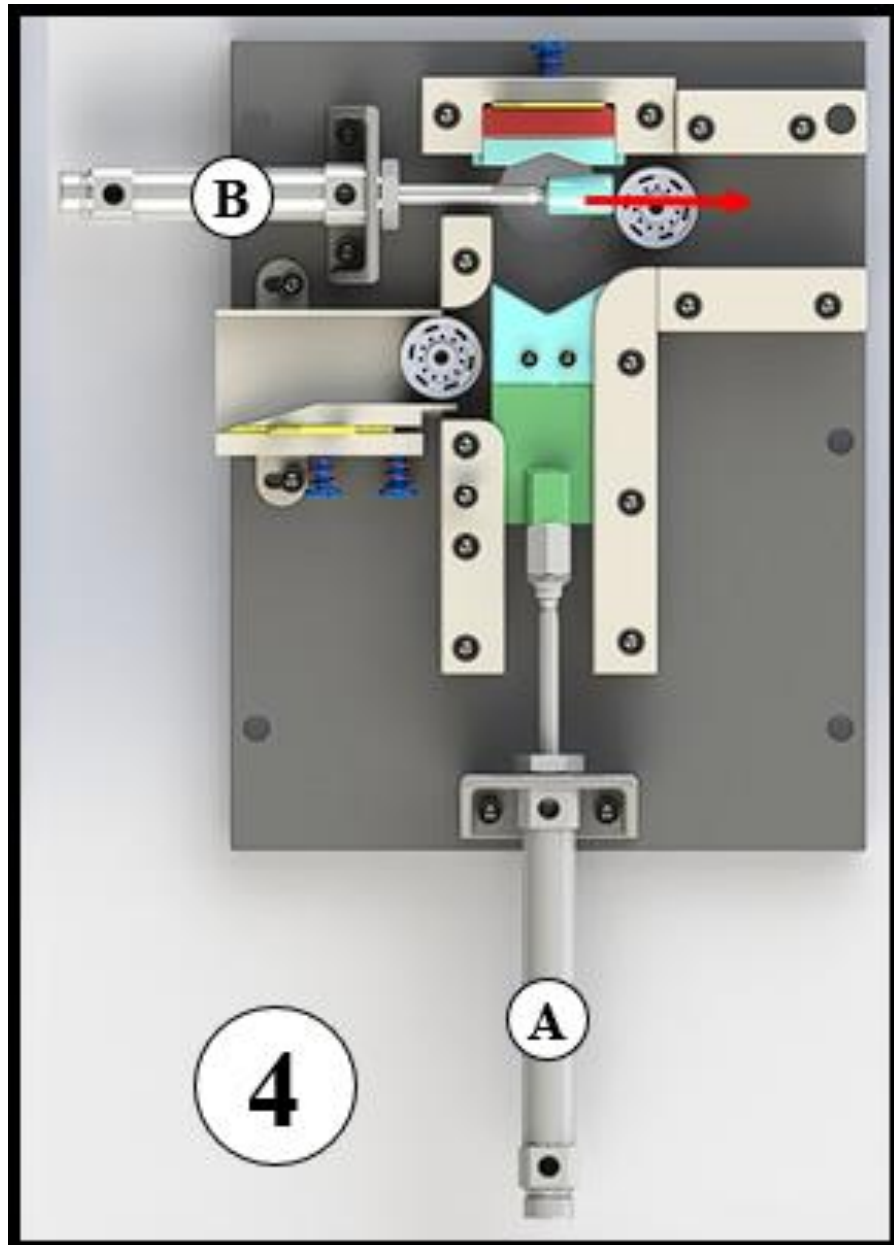
Figura 12 – Terceira etapa de funcionamento da máquina



Fonte: Do Autor

4 – Após a cunhagem, o cilindro “A” recua, deixando a peça livre, de modo que na sequência ela possa ser ejetada do ferramental pelo cilindro “B”, que executa um “chute” rápido. As peças cunhadas caem em uma caixa para serem propriamente identificadas e enviadas para o próximo processo produtivo. A quarta e última etapa do processo de funcionamento da máquina é demonstrada na Figura 13.

Figura 13 – Quarta etapa de funcionamento da máquina

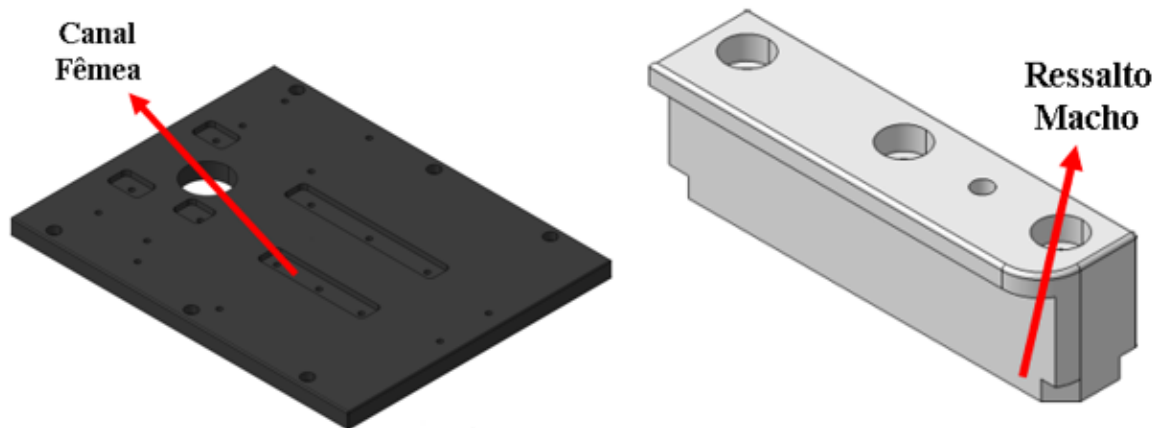


Fonte: Do Autor

Toda a movimentação do equipamento é feita de forma automatizada por sistemas de sensores presentes em pontos específicos para tal função, sendo eles magnetoresistivos e indutivos.

Quanto ao ponto levantado de conter uma fácil regulagem, todo o projeto mecânico foi realizado utilizando o conceito de guias travadas por geometria na base por encaixe macho-fêmea, assim como ilustrado na Figura 14, de forma que as únicas regulagens necessárias no equipamento seriam oriundas da movimentação dos cilindros (pressão e curso) e dos sensores (posicionamento do laser para melhor performance do mesmo). Os dimensionais dos canais e ressalto (Fêmea e Macho) foram garantidos pela amarração de tolerâncias no projeto.

Figura 14 – Canais e Ressaltos guias

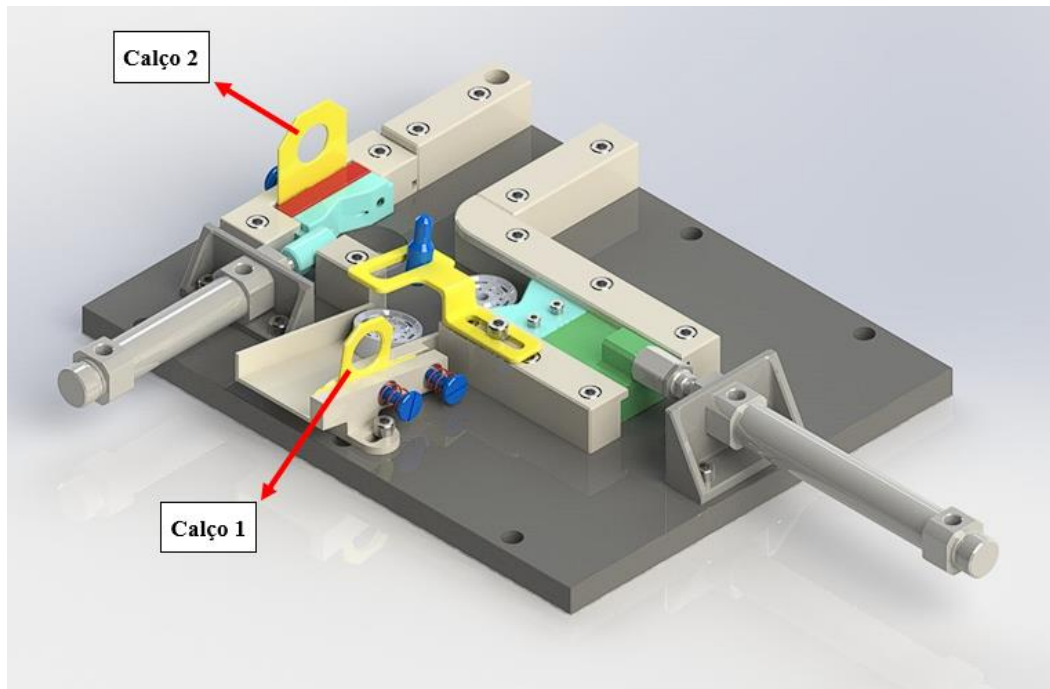


Fonte: Do Autor

Quanto ao sistema de *setup* rápido, o ferramental deverá realizar o trabalho com diversos *partnumbers*, em que as únicas condições variáveis entre eles é o perfil cunhado, e o diâmetro da peça. O perfil cunhado é dado diretamente pela matriz de cunhagem, que não foi trabalhada para este projeto, visto que não entra no escopo do projeto. Contudo, a variação de diâmetro das peças deve ser considerada.

Foi desenvolvido então um sistema de calços gabaritados, assim como ilustrado na Figura 15, onde todo *setup* necessário para variar o diâmetro do pistão e adequar o ferramental a outro produto é feito simplesmente pela troca destes calços.

Figura 15 – Sistema de *Setup* Rápido



Fonte: Do Autor

O “Calço 1” dita a abertura da calha de alimentação para garantir a correta alimentação de uma peça por vez, conforme diâmetro dela, enquanto o “Calço 2” dita a concentricidade da peça e a prensa de cunhagem conforme diâmetro.

Ambos os calços foram desenvolvidos em um sistema de mola para serem posicionados e removidos sem necessidade de componentes de fixação secundários como parafusos e travas, de forma a reduzir ainda mais o tempo de *setup*.

A máquina foi desenvolvida de forma que ao ser utilizada sem nenhum calço, ela fica ajustada para produzir peças de 36 mm, que é o tamanho máximo possível. Foram desenhados calços para *setups* de tamanhos 32, 30 e 27 mm, mas é possível produzir e utilizar outros tamanhos se necessário.

3.3 Seleção de Materiais

Foi realizada uma análise referente ao tipo de material e têmpera para utilização na fabricação do ferramental, para que ele possua uma resistência superficial maior em relação ao ferramental analisado anteriormente, visando reduzir o desgaste produzido pela movimentação das peças.

Dentre a ampla variedade de aços e ligas passíveis de serem utilizadas no projeto, o VB 40 foi escolhido por se tratar de um aço de baixo custo, boa resistência e capacidade razoável de receber tratamentos térmicos como têmpera. Ele é equivalente ao ABNT 8640.

A tempera selecionada para o projeto foi de 35 a 40 HRC nas peças móveis de aço devido a não ser necessário de grande resistência mecânica no projeto com questões de forças excessivas no ferramental, era desejado apenas garantir uma certa dureza superficial para conter o problema de desgaste pela movimentação das peças.

As cunhas em “V” que realizam contato direto com a peça foram projetadas em Nylon devido sua boa elasticidade e seu baixo coeficiente de atrito, atuando como “buchas” que reduzem a chance de a peça sofrer danos por arestas da ferramenta e pressão excessiva nos cilindros pneumáticos.

3.4 Seleção dos sensores e atuadores

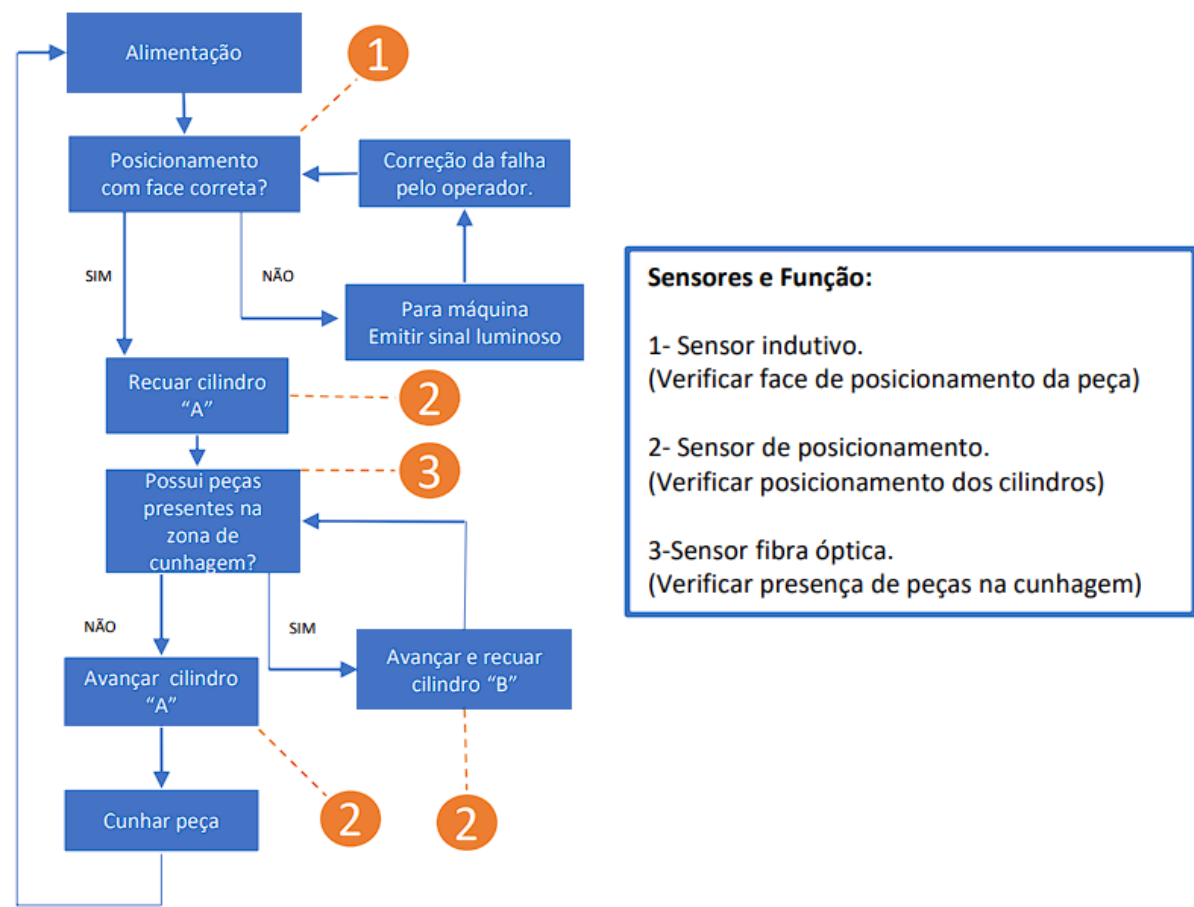
Ao realizar o desenvolvimento do projeto, notou-se a necessidade da aplicação de sensores para o correto funcionamento e sincronismo da máquina. Foi utilizado um sensor indutivo na rampa de entrada, com a função de detectar a chegada de uma nova peça a ser cunhada na máquina e verificar seu posicionamento devido a peça possuir lado correto para cunhagem. Após detectar a chegada da peça, a máquina ativa o primeiro pistão que empurra a peça para a posição correta de cunhagem.

Também foram selecionados 2 sensores indutivos que foram colocados em cada um dos pistões, que identifica se o pistão foi retraído. Este tipo de sensor foi escolhido para esta situação por sua robustez, confiabilidade e baixo preço.

Por fim, foi selecionado um sensor de fibra óptica que se localiza no prisma onde a cunhagem é realizada. Sua função é identificar que a peça chegou ao ponto correto de cunhagem, e então o punção é acionado. Embora este tipo de sensor seja mais caro do que o indutivo, ele foi selecionado devido à necessidade de uma maior precisão neste ponto do projeto.

A partir do fluxograma mostrado na Figura 16 pode-se estratificar melhor o controle do sistema por meio dos sensores selecionados. O posicionamento e a identificação de cada cilindro são mostrados na Figura 9.

Figura 16 – Fluxograma de funcionamento.



Fonte: Do Autor

Foram selecionados também dois atuadores para realizar o deslocamento das peças, tanto de posicionamento para a cunhagem quanto para ejetá-las para fora do maquinário. Como diversos locais de fabricação já dispõem de um sistema de ar comprimido para a realização de outros processos, foram selecionados cilindros pneumáticos que são confiáveis, baratos e eficientes.

Foram selecionados cilindros com 20mm de diâmetro, que possuem a capacidade de realizar o deslocamento descrito e não produzem pressão excessiva ou suficiente para danificar as peças, já que com a pressão disponível na linha que é de 6 bar, a força máxima exercida por estes cilindros enquanto avançam é de 188,5 N segundo o catálogo do cilindro. O comprimento de curso do cilindro selecionado para o posicionamento da peça na posição de cunhagem é de 100mm e o de ejeção da peça pronta é de 50mm, tamanho suficiente para realizar o deslocamento necessário.

As conexões pneumáticas entre os cilindros e a rede é feita e regulada por válvulas reguladoras de fluxo unidirecional, onde é possível realizar o controle de fluxo de ar e assim a velocidade de avanço utilizado, esta regulagem é feita de forma simples, já que no topo de cada válvula tem um parafuso que pode ser apertado para diminuir o fluxo ou solto para livrar a passagem e aumentar o fluxo. A válvula citada é representada na Figura 17 a seguir.

Figura 17 – Válvula reguladora de fluxo unidirecional

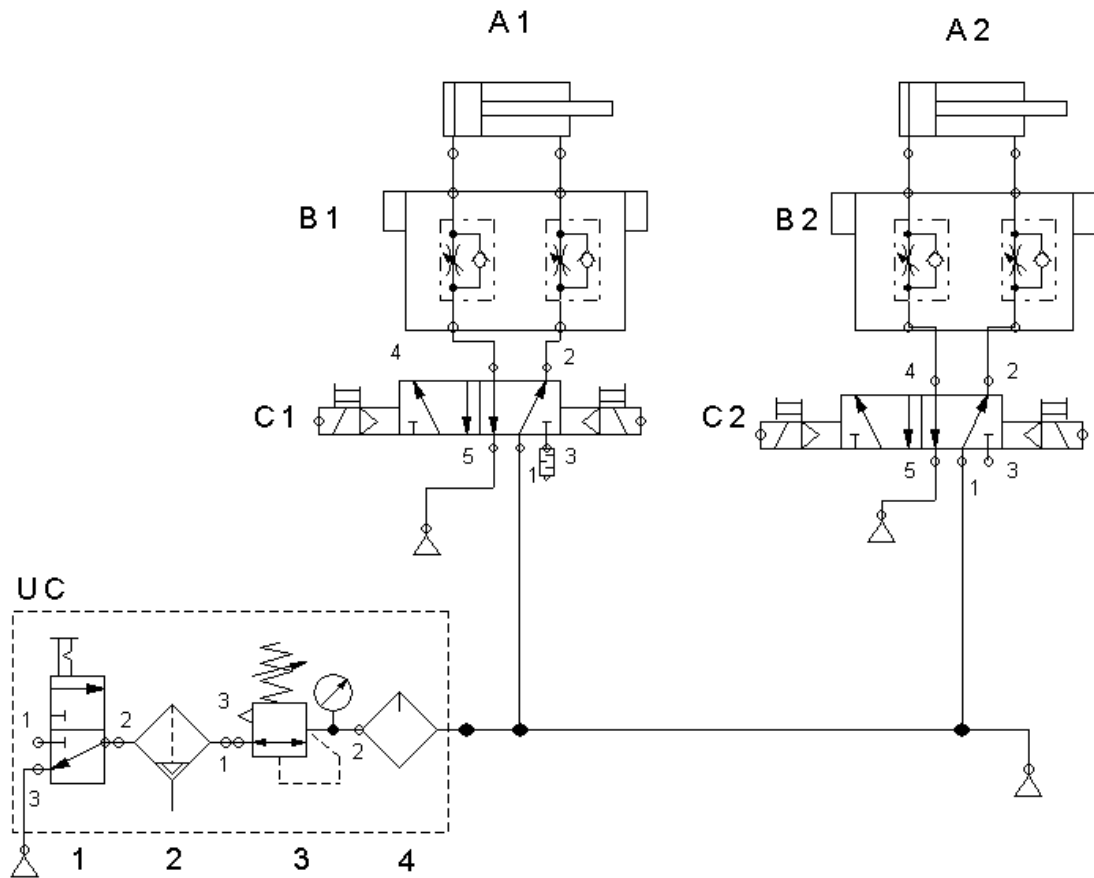


Fonte: Festo (2023)

O ferramental antigo já possuía um sistema pneumático, então na linha já se encontrava alguns componentes como uma unidade de conservação e válvulas direcionais, que são representados por UC, C1 e C2 no diagrama pneumático da Figura 18. A unidade de conservação já existente é composta por uma válvula direcional de 3/2 (1), um filtro com separador de água automático (2), um regulador com manômetro (3) e um lubrificador (4).

Complementando o sistema já existente, foram inseridas mais quatro válvulas reguladoras de fluxo unidirecional, representadas em B1 e B2 no diagrama pneumático da Figura 18, cujo objetivo é regular o fluxo de ar direcionado para os cilindros. Também foram adicionados os 2 cilindros já descritos que são representados por A1 e A2 no diagrama.

Figura 18 – Diagrama pneumático



Fonte: Do autor

3.5 Detalhamento 2D

Iniciou-se então o processo de detalhamento 2D do projeto em CAD. Nesta fase do projeto é possível estabelecer as amarrações geométricas necessárias, que influenciam diretamente na precisão e valor final do equipamento. Todo o detalhamento foi realizado visando clareza na fabricação, por menor custo, sem impactar na qualidade final do ferramental. Os desenhos referentes à montagem da máquina, à lista de materiais e ao detalhamento 2D estão dispostos nos Apêndices B, C e D, respectivamente. Algumas informações na lista de materiais e nas legendas foram ocultadas com intuito de preservar a integridade do projeto.

O processo de detalhamento 2D apesar de aparentar ser de baixa complexidade, exige um amplo nível de conhecimento do projetista pois os ajustes dimensionais e amarrações geométricas devem estar de forma equilibrada com o intuito da peça, sua precisão requerida, o custo final a ser gasto com a fabricação daquela peça, e até mesmo a capacidade de se obter tais parâmetros devido às limitações nos processos de fabricação. Um bom exemplo seria de que a

ferramentaria onde as peças foram fabricadas contava com uma boa máquina de retifica para produzir peças esquadrejadas, porém deixava a desejar em peças cilíndricas que requeriam retifica. Dessa forma, maior precisão era possível de ser obtida nas peças esquadrejadas, enquanto em peças cilíndricas era necessária uma maior folga dimensional para garantir a montagem.

No detalhamento 2D é de suma importância relacionar a ordem dos processos de fabricação das peças, de modo a indicar por exemplo que peças temperadas devem ser limpas e retificadas após a têmpera, pois o próprio processo utilizado gera acúmulo de carbono superficial, que acaba influenciando de forma negativa no dimensional final da peça e seu acabamento superficial.

Além disso, é no momento do detalhamento 2D em que é possível adicionar notas e observações quanto à condição final da peça, seja esta uma condição crucial para montagem e funcionamento, ou até mesmo uma notação para remoção de cantos vivos da peça, com intuito de prevenir contra acidentes aos operadores e ferramenteiros na montagem e manuseamento das peças.

3.6 Análise dos modos de falha

Em seguida foi aplicada a ferramenta FMEA, em que foi realizada uma análise dos possíveis modos de falha da máquina projetada. Esta análise foi feita e aplicada em cada peça separadamente. A análise realizada pelo FMEA é mostrada no Apêndice E.

Não foi necessário realizar nenhuma ação tomada devido aos modos de falha analisados no FMEA, pois nenhum modo de falha se demonstrou potencialmente perigoso. Todos aqueles que demonstraram um risco médio foram corrigidos através de ações recomendadas ao usuário da máquina, reduzindo o risco para um nível baixo.

Os maiores valores de risco encontrados foram de 140 nos calços utilizados para o *setup* rápido da máquina, que podem ser danificados ou empenados de maneira que a máquina não fique configurada corretamente. Embora a severidade deste problema seja média (pois não causa nenhum risco à saúde do operador, mas causa problemas na configuração da máquina), este é um problema de detecção muito difícil, causando o alto valor de risco. Sendo assim, foi aplicada como correção a recomendação de realizar uma inspeção semanal dos gabaritos em um laboratório de metrologia. Tal ação reduzirá a ocorrência e melhorará a detecção do problema, reduzindo o risco do modo de falha para 40.

3.7 Orçamento

Foi realizado um orçamento do projeto para prever qual o valor total a ser gasto para produzir a ferramenta projetada. Todos os valores do orçamento foram convertidos em dólar que apresentava um valor médio de R\$ 5,42 na época do orçamento, que foi realizado em fevereiro de 2021 conforme indicado no cronograma do projeto presente no Apêndice A.

As peças 1 a 26 têm que ser fabricadas, então o orçamento deve levar em consideração o valor do tarugo a ser comprado e o valor do tempo gasto para realizar a usinagem destas peças.

A partir das dimensões do tarugo a ser utilizado para usinar cada peça, mostradas na lista de materiais (Apêndice C), é possível prever o valor de cada tarugo considerando os valores de cada material cobrado pelos fornecedores da empresa.

- Aço 8640 – R\$ 70,00 / kg – US\$ 12,92 / kg;
- Nylon – R\$ 65,00 / kg – US\$ 11,99 / kg.

Para ter uma ideia do valor de fabricação no orçamento, foi considerado um valor de 140 reais (US\$ 25,83) por hora de trabalho, que é o valor médio cobrado por serviços de usinagem em centros de usinagem de 3 eixos no Brasil, de acordo com pesquisa realizada pelo site Comprar Usinados no ano de 2021 (TINI, 2021). Além disso, o tempo de usinagem de cada peça foi previsto com base na complexidade geométrica de cada peça.

Além das peças usinadas, deve-se considerar por fim os valores das demais peças compradas (pistões, sensores e parafusos). Tais valores cobrados pelos fornecedores da empresa são mostrados no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores cobrados pelos fornecedores pelas peças do projeto

Item	Descrição	Valor unitário (US\$)
DSNU-S-20-100-P-A	Cilindro pneumático	144,51
DSNU-S-20-50-P-A	Cilindro pneumático	141,20
GRLA-1/8-1S-4-D	Válvula Reguladora	27,52
SDBT-MS-20NL-ZN-E-5-LE-EX6	Sensor posição	162,46
BES 516356S4C	Sensor de proximidade	149,53
BF00051	Sensor fibra óptica	298,79
DIN9120630GC120	Parafusos M6 X 30	0,09
DIN9120620GC120	Parafusos M6 X 20	0,07
DIN9120316GC120	Parafusos M3 X 16	0,06

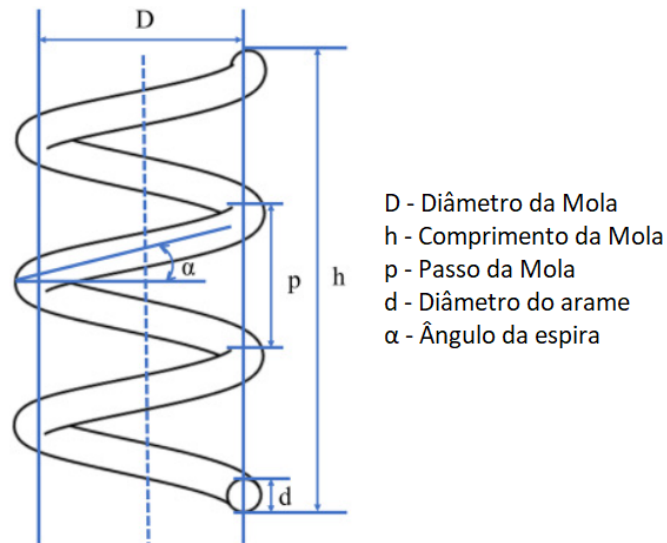
Fonte: Do autor.

3.8 Fabricação

Com o projeto entregue em 2D e 3D, passa-se para o processo de fabricação. É de suma importância para o desenvolvedor de um projeto conhecer as formas e ferramentas de fabricação disponíveis, e assim adequar o projeto para tais condições. Toda ferramenta foi fabricada no prazo de 1 mês.

As peças 07 (Pino do encosto), 17 (chutador) e 23 (pino da rampa) foram produzidas majoritariamente utilizando um torno mecânico convencional devido à sua geometria cilíndrica. A mola presente no ferramental (peça 08) também foi fabricada utilizando um torno mecânico convencional com arame de aço mola, onde é possível realizar a conformação do mesmo para obter um diâmetro (D), comprimento (h) e passe de mola (p) aproximados ao desenho do projeto. Tais especificações de mola são mostrados na Figura 19.

Figura 19 – Especificações de mola



Fonte: Chen et al. (2022) (adaptado).

As peças 01 (base), 03 (prisma do empurrador), 05 (prisma com fibra), 06 (guia do encosto) e 11 (rampa) poderiam ser fabricadas em fresa convencional, porém foi utilizado um centro de usinagem de 3 eixos para garantir uma melhor precisão dimensional, considerando a maior complexidade geométrica das peças. Para realizar tais procedimentos no centro de usinagem, foi necessário fornecer o modelo 3D de cada peça, bem como o detalhamento 2D para verificação dimensional.

A peça 21 (suporte do sensor indutivo) foi fabricada utilizando um processo de conformação mecânica, onde uma chapa de espessura 3mm foi previamente furada em uma fresa e em seguida conformada em uma dobradeira manual até atingir a geometria necessária.

As demais peças não possuem geometria muito complexas, então foram todas fabricadas utilizando fresa convencional e furadeira de bancada.

3.9 Aplicação e Análise

Com o ferramental fabricado, o mesmo foi fornecido ao time de manutenção que realizou a instalação na máquina. Com o equipamento instalado, iniciou-se um período de testes e avaliação, onde o time de qualidade manteve uma análise constante, avaliando a qualidade das peças produzidas, juntamente com o tempo de ciclo e eficiência do equipamento.

Após o período de testes e avaliação conduzido, dados foram obtidos e fornecidos com relação ao tempo de ciclo do equipamento, ao qual tornou-se possível realizar um comparativo entre o ferramental anterior e o novo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 FMEA

A aplicação do FMEA permitiu observar alguns pontos no sistema que tinham um risco maior, com base no valor de NPR. Como nenhum valor de risco encontrado foi considerado alto (maior que 150), não foi considerado tomar nenhuma ação para corrigir os modos de falha. Entretanto, para alguns modos de falha de risco baixo foram recomendadas ações que diminuíaam a ocorrência ou que melhore a detecção, diminuindo ainda mais o risco.

As ações recomendadas consistem em um grupo de ações de manutenção que devem ser realizadas periodicamente:

- Semanalmente:
 - Lubrificar a guia do encosto (06), o empurrador (02) e o encosto do prisma com fibra (04) e verificar condição superficial das zonas de contato entre estas peças;
 - Inspeção de todos os gabaritos e calços em laboratório de metrologia (peças 18, 19, 20, 24, 25 e 26) para que sejam substituídos caso estejam fora do padrão;
 - Inspeção do sistema de cilindros pneumáticos para que sejam substituídos caso não estejam funcionando conforme a necessidade;
 - Inspeção do sistema de sensores para que sejam substituídos caso não estejam funcionando conforme a necessidade;
- A cada 2 semanas:
 - Troca do Nylon do prisma do empurrador (03), do prisma com fibra (05) e do chutador (17);
- A cada 2 meses:
 - Troca da mola (08).

4.2 Orçamento

O orçamento realizado foi dividido em 2 partes: as peças usinadas e os itens comprados. Dentre as peças usinadas, também foi realizado o orçamento dividido em 2 partes: o preço do material e o preço de usinagem.

O orçamento do material de cada peça usinada considerando as dimensões do tarugo necessário e o preço por kg do material em questão pelos fornecedores da empresa é mostrado no Quadro 3. O valor total de todo o material a ser usinado é de US\$354,38 (ou R\$1.920,76).

Quadro 3 – Orçamento do material das peças usinadas

Peça	Material	Dimensões (mm)	Volume (mm ³)	Massa (g)	Valor (US\$)
01	VB40	255 X 325 X 20	1.657.500	13.011,38	168,04
02	VB40	80 X 50 X 40	160.000	1.256	16,22
03	NYLON	50 X 45 X 25	56.250	64,13	0,77
04	VB40	65 X 25 X 20	32.500	255,13	3,29
05	NYLON	65 X 25 X 20	32.500	37,05	0,44
06	VB40	105 X 35 X 30	110.250	865,46	11,18
07	VB40	Ø20 X 40	12.560	98,60	3,82
08	VB40	Ø0,8 X 150	75,36	0,59	0,01
09	VB40	75 X 50 X 30	112.500	883,13	11,41
10	VB40	75 X 40 X 25	75.000	588,75	7,60
11	VB40	110 X 110 X 40	484.000	3.799,4	49,07
12	VB40	105 X 35 X 30	110.250	865,46	11,18
13	VB40	165 X 35 X 30	173.250	1.360,01	17,56
14	VB40	90 X 30 X 30	81.000	635,85	8,21
15	VB40	80 X 30 X 30	72.000	565,2	7,30
16	VB40	45 X 35 X 25	39.375	309,09	3,99
17	NYLON	Ø25 X 35	17.171,87	19,58	0,23
18	VB40	70 X 50 X 10	35.000	274,75	3,55
19	VB40	70 X 50 X 10	35.000	274,75	3,55
20	VB40	70 X 50 X 10	35.000	274,75	3,55
21	Aço 1020	125 X 60 X 3	22.500	176,63	2,28
22	VB40	90 X 20 X 15	27.000	211,95	2,74
23	VB40	Ø20 X 40	12.560	98,60	1,27
24	VB40	75 X 50 X 15	56.250	441,56	5,70
25	VB40	75 X 50 X 15	56.250	441,56	5,70
26	VB40	75 X 50 X 15	56.250	441,56	5,70

Fonte: Do Autor.

O valor da usinagem de cada peça é mostrado no Quadro 4, considerando o tempo previsto de usinagem e o valor considerado de US\$25,83 por hora trabalhada. O valor total do orçamento da usinagem é de US\$1.872,69 (ou R\$10.150,00).

Quadro 4 – Orçamento da usinagem das peças

Peça	Tempo de Usinagem (h)	Valor da Usinagem (US\$)
01	6	154,98
02	4	103,32
03	1,5	38,75
04	5	129,15
05	4	103,32
06	4	103,32
07	4,5	116,24
08	1	25,83
09	1	25,83
10	1	25,83
11	4	103,32
12	2,5	64,58
13	2,5	64,58
14	1,5	38,75
15	1,5	38,75
16	1,5	38,75
17	1,5	38,75
18	2,5	64,58
19	2,5	64,58
20	2,5	64,58
21	3	77,49
22	2	51,66
23	1	25,83
24	4	103,32
25	4	103,32
26	4	103,32

Fonte: Do Autor.

O orçamento das peças compradas foi realizado de acordo com o valor cobrado pelos fornecedores da empresa e com a quantidade de cada peça que deverá ser comprada. O orçamento das peças compradas é mostrado no Quadro 5. O valor total do orçamento das peças compradas é de US\$1.170,96 (ou R\$6.346,59).

Quadro 5 – Orçamento das peças compradas

Item	Descrição	Valor unitário (US\$)	Quantidade	Valor total (US\$)
DSNU-S-20-100-P-A	Cilindro pneumático	144,51	1	144,51
DSNU-S-20-50-P-A	Cilindro pneumático	141,20	1	141,20
GRLA-1/8-1S-4-D	Válvula Reguladora	27,52	4	110,07
SDBT-MS-20NL-ZN-E-5-LE-EX6	Sensor posição	162,46	2	324,92
BES 516356S4C	Sensor de proximidade	149,53	1	149,53
BF00051	Sensor fibra óptica	298,79	1	298,79
DIN9120630GC120	Parafusos M6 X 30	0,09	13	1,20
DIN9120620GC120	Parafusos M6 X 20	0,07	7	0,52
DIN9120316GC120	Parafusos M3 X 16	0,06	4	0,22

Fonte: Do autor.

Sendo assim, o orçamento total do ferramental projetado considerando o valor do material a ser usinado, o valor da usinagem e o valor das peças compradas é de US\$3.398,04 (ou R\$18.417,35).

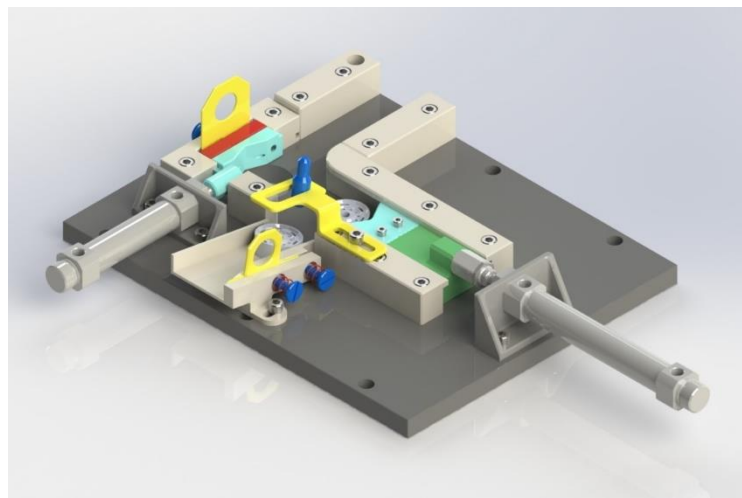
Nos valores de orçamento calculados destaca-se que os valores do material das peças usinadas e os valores das peças compradas são os valores cobrados pelos fornecedores da empresa, sendo possível encontrar valores mais baratos a depender da loja e da qualidade do produto comprado.

Também vale a pena destacar que o valor do material a usinar é de apenas 10,4% do valor orçado, e das peças compradas é de 34,5%, sendo o valor da usinagem responsável pela maior parte do gasto no projeto, totalizando 55,1% do orçamento.

4.3 Projeto

A máquina idealizada foi projetada e produzida com sucesso. A análise preliminar detalhada de uma máquina similar e o desenvolvimento cuidadoso do projeto foi crucial para o sucesso na produção. Na Figura 20 é apresentada uma vista isométrica do projeto 3D, onde foram analisadas as movimentações do sistema, juntamente com a disponibilidade dimensional da máquina.

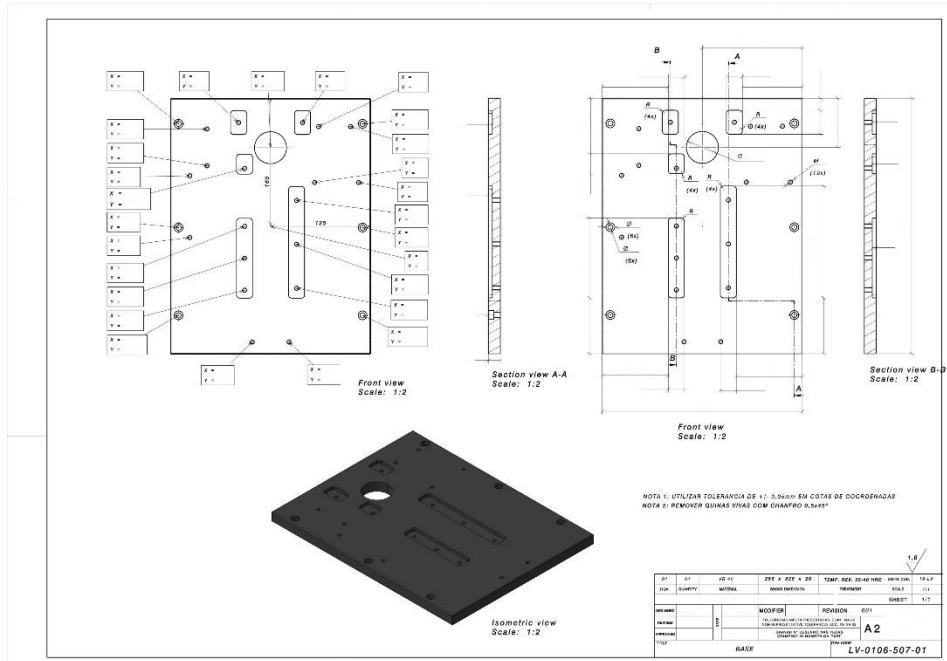
Figura 20 – Isométrica do Projeto



Fonte: Do Autor

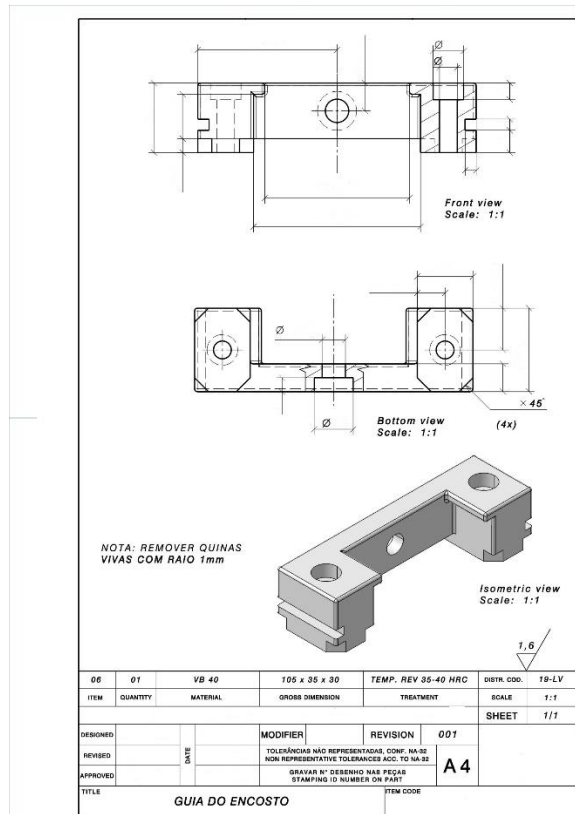
Nas Figuras 21 e 22 são mostrados exemplos do projeto detalhado encaminhado à ferramentaria para fabricação, onde as cotas e informações importantes foram ocultadas para manter sigilo do projeto. Os demais desenhos de projeto encontram-se no Apêndice D.

Figura 21 – Base do Ferramental



Fonte: Do Autor

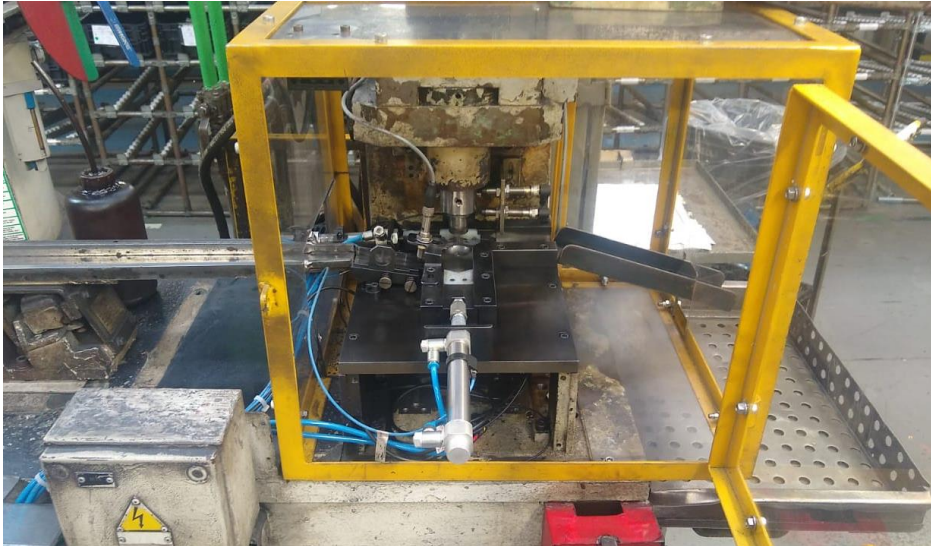
Figura 22 – Guia do Encosto



Fonte: Do Autor

Após a fabricação do ferramental, não foi necessário nenhum tipo de ajuste ou correção dimensional para colocar a máquina em funcionamento. A máquina fabricada é mostrada nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 – Máquina fabricada



Fonte: Do Autor.

Figura 24 – Vista aproximada da máquina fabricada



Fonte: Do Autor.

4.4 Análise de qualidade

A aplicação do ferramental na indústria foi efetiva, gerando os benefícios esperados para o projeto. A máquina projetada não apresenta os defeitos citados sobre a máquina previamente analisada, tais como o alto índice de paradas por quebra ou por desalinhamento, travamento do sistema alimentador e problemas com a qualidade da peça produzida.

Ademais, o tempo de ciclo de cada máquina, que se refere ao que ela gasta para a produção de cada peça, foi reduzido de 5 segundos no ferramental analisado para 3,3 segundos na máquina projetada, ou seja, uma melhoria de 1,7 segundos por peça produzida. Esta redução de 34% do tempo de produção é fundamentalmente importante para situações de aumento repentino na produção.

Segundo a análise realizada pelo time de qualidade, o *saving* esperado para 1 ano de utilização da nova máquina é de US\$3.190,66 (ou R\$17.293,40). Comparando este valor com o orçamento que foi de US\$3.398,04, espera-se um *payback* em pouco mais de 1 ano.

4.5 Conceitos revisados

O principal benefício em realizar o projeto em questão foi a aplicação direta dos conhecimentos adquiridos pelos autores durante a formação em Engenharia Mecânica. Dentre estes conceitos aplicados destacam-se: seleção de material e tratamento térmico de superfície; metodologia de projeto; análise de falha; processos de fabricação; desenho técnico; e instrumentação.

O material a ser utilizado tinha por requisito possuir boa resistência mecânica, boa usinabilidade, baixo preço e temperabilidade aceitável. Sendo assim, foi discutido e analisado qual seria a melhor opção a utilizar dentre os materiais disponíveis, além do tratamento térmico a ser aplicado para obter uma boa resistência ao desgaste superficial.

Foram aplicadas na prática as etapas de metodologia de projeto estudadas durante a formação, incluindo a identificação do problema e o desenvolvimento da solução. Além disso, foi necessário pensar na gestão de tempo, custo e recursos disponíveis na fábrica. Ademais, foi pensado inclusive no plano de produção da máquina.

O FMEA é uma ferramenta de grande importância e utilização em projetos mecânicos. Os conhecimentos teóricos e práticos a respeito do FMEA são um grande diferencial no currículo de um engenheiro. Tais conhecimentos teóricos que foram adquiridos e desenvolvidos

durante a formação foram aplicados na prática neste projeto, permitindo o desenvolvimento da capacidade de análise e predição de falhas.

A aplicação deste trabalho permitiu observar na prática a importância de realizar uma análise cuidadosa do projeto com relação aos métodos de fabricação viáveis e disponíveis, de forma a baratear custos e simplificar a fabricação. Assim, também foram pensados e desenvolvidos conhecimentos de diversos processos de fabricação tais como cunhagem, torneamento, fresagem e furação.

Também ficaram claras as diferenças existentes entre processos de fabricação em massa, tal como o realizado pela máquina projetada, e processos de fabricação onde poucas unidades serão produzidas, tal como a produção da própria máquina.

Como exemplo, em um processo de fabricação em massa, o tempo de *setup* da máquina de produção deve ser o mínimo possível, e produzir diversas peças até ser necessário alguma ação novamente, enquanto um processo pontual possui um tempo de *setup* maior para a produção de poucas unidades.

Outro exemplo é o trabalho realizado pelo operador, que geralmente é restrito ao *setup* e à supervisão da máquina em sistemas de produção em massa, enquanto em processos de baixa produção geralmente o operador trabalha diretamente na peça em si. Estes são os motivos de a máquina projetada possuir um sistema de *setup* rápido.

Foram praticados os conhecimentos e as habilidades aprendidas a respeito de desenho 3D e desenho técnico. Tais conhecimentos foram aplicados na realização do desenho no *SolidWorks®* e no detalhamento 2D feito, onde foram revistos conceitos importantes como vistas, cotas, ajustes, tolerância e tratamento superficial. Tais conhecimentos em desenho também são essenciais para o trabalho de um engenheiro.

Por fim, foram analisados quais os sensores e os atuadores a serem utilizados. Para seleção de ambos, foi revisto conceitos de instrumentação aprendidos durante a formação. Os atuadores selecionados permitiram rever conceitos de atuação, pressão e cilindros pneumáticos. Os sensores selecionados permitiram rever conceitos de princípio de medição, condicionamento, características de cada tipo de sensor e principalmente análise e seleção.

5 CONCLUSÕES

Os problemas encontrados na máquina analisada foram tomados como base para o projeto e a produção do novo ferramental, e isso trouxe benefícios. A nova máquina, se operada em condições adequadas, não apresenta paradas por quebra e produz cada peça em 3,3 segundo, apresentando assim uma melhora de 1,7 segundos, ou 34% em relação ao tempo do equipamento anterior de 5 segundos por peça.

Além disso, foi de grande importância a aplicação de uma análise cuidadosa de falhas através da ferramenta FMEA, que gerou como benefício a geração de um plano detalhado de manutenção da máquina que deve ser seguido para que ela opere corretamente. Tais resultados indicam o sucesso do projeto feito, e a importância da pesquisa realizada e das ideias desenvolvidas até chegar ao desenho final.

REFERÊNCIAS

- ALVES, S. M.; OLIVEIRA, J. F. G. Development of new cutting fluid for grinding process adjusting mechanical performance and environmental impact. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 179, p. 185-189, 20 out. 2006. doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.03.090
- ASHBY, M. F. **Seleção de Materiais no Projeto Mecânico**. 5. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2018. ISBN 978-85-352-9032-5.
- BHAMU, J.; SANGWAN, K. S. Lean manufacturing: Literature review and research issues. **International Journal of Operations and Production Management**, v. 34, p. 876-940, 1 jul. 2014. doi.org/10.1108/IJOPM-08-2012-0315
- CHAN, N.; OO, T. Z.; HLAING, A. M. S. Design and Structural Analysis of 3 Axis CNC Milling Machine Table. **International Journal of Trend in Scientific Research and Development**, v. 3, p. 943-948, out. 2019. doi.org/10.5281/zenodo.3589156
- CHEN, L. et al. Understanding multiple parameters affecting static and dynamic performances of composite helical springs. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 20, p. 532-550, 2 ago. 2022. doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.07.120
- ESMAEILIAN, B.; BEHDAD, S.; WANG, B. The evolution and future of manufacturing: A review. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 39, p. 79-100, 16 abr. 2016. doi.org/10.1016/j.jmsy.2016.03.001
- FESTO. Pneumatic & electric automation technology | Festo USA. Página inicial. Disponível em: < www.festo.com/us/en>. Acesso em: 4 mar. 2023.
- GHOSH, A.; BHADURI, A.; RAY, K. K. Characterization of tempered martensite embrittlement using hardness measurement. **Materials Characterization**, v. 33, p. 321-327, dez. 1994. doi.org/10.1016/1044-5803(94)90136-8
- HUANG, R. et al. Inductive proximity sensors within a ceramic package manufactured by material extrusion of binder-coated zirconia. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 338, 8 mar. 2022. doi.org/10.1016/j.sna.2022.113497

JIMÉNEZ, M.; KURMYSHEV, E.; CASTAÑEDA, C. E. Experimental Study of Double-Acting Pneumatic Cylinder. **Experimental Techniques**, v. 44, p. 355-367, 7 fev. 2020. doi.org/10.1007/s40799-020-00359-8

LI, J. et al. Control design of a pneumatic cylinder with distributed model of pipelines. **Precision Engineering**, v. 37, p. 880-887, out. 2013. doi.org/10.1016/j.precisioneng.2013.05.006

LIU, Y.; ALTINTAS, Y. Predicting the position-dependent dynamics of machine tools using progressive network. **Precision Engineering**, v. 73, p. 409-422, jan. 2022. doi.org/10.1016/j.precisioneng.2021.10.010

MAPPS, D. J. Magnetoresistive sensors. **Sensors and Actuators A: Physical**, v. 59, p. 9-19, abr. 1997. doi.org/10.1016/S0924-4247(97)80142-2

MÖHRING, H. C. et al. Materials in machine tool structures. **CIRP Annals**, v. 64, p. 725-748, 21 ago. 2015. doi.org/10.1016/j.cirp.2015.05.005

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. ISBN 978-85-8260-023-8.

OLIVEIRA, R. I.; SOUSA, S. O.; CAMPOS, F. C. Lean manufacturing implementation: bibliometric analysis 2007-2018. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 101, p. 979-988, 12 nov. 2018. doi.org/10.1007/s00170-018-2965-y

PAHL, G. and BEITZ, W. **Engineering Design: a Systematic Approach**. 2 Rev. ed. Great Britain. Springer Verlag, 1996.

PATTANAIK, L. N.; SHARMA, B. P. Implementing lean manufacturing with cellular layout: a case study. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 42, p. 772-779, 19 ago. 2008. doi.org/10.1007/s00170-008-1629-8

PEIXOTO, R. M.; SEIF, M. S.; VIEIRA, L. C. M. Double-shear tests of high-strength structural bolts at elevated temperatures. **Fire Safety Journal**, v. 94, p. 8-21, dez. 2017. doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.09.003

PERDOMO, K. Modelos de Cilindros em Sistemas Pneumáticos. *Hidráulica & Pneumática*, 29 dez. 2019. Disponível em: <hidraulicaepneumatica.com/modelos-de-cilindros-em-sistemas-pneumaticos/>. Acesso em: 16 mar. 2022.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Padrão de Gerenciamento de Projetos e Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK)**. 7. ed. Pennsylvania, 2021. ISBN 978-1-62825-687-1.

REDA, H.; DVIVEDI, A. Decision-making on the selection of lean tools using fuzzy QFD and FMEA approach in the manufacturing industry. **Expert Systems With Applications**, v. 192, 15 abr. 2022. doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116416

SILVA, M. et al. Using integrated current lines to control the operation point of highly sensitive magnetoresistive sensors. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**, v. 537, 1 nov. 2021. doi.org/10.1016/j.jmmm.2021.168152

TINI, M. Qual o preço da hora-máquina em usinagem? **Comprar Usinados**. 8 set. 2021. Disponível em: <<https://comprarusinados.com.br/qual-o-preco-da-hora-maquina-em-usinagem/>>. Acesso em: 08 jan. 2023.

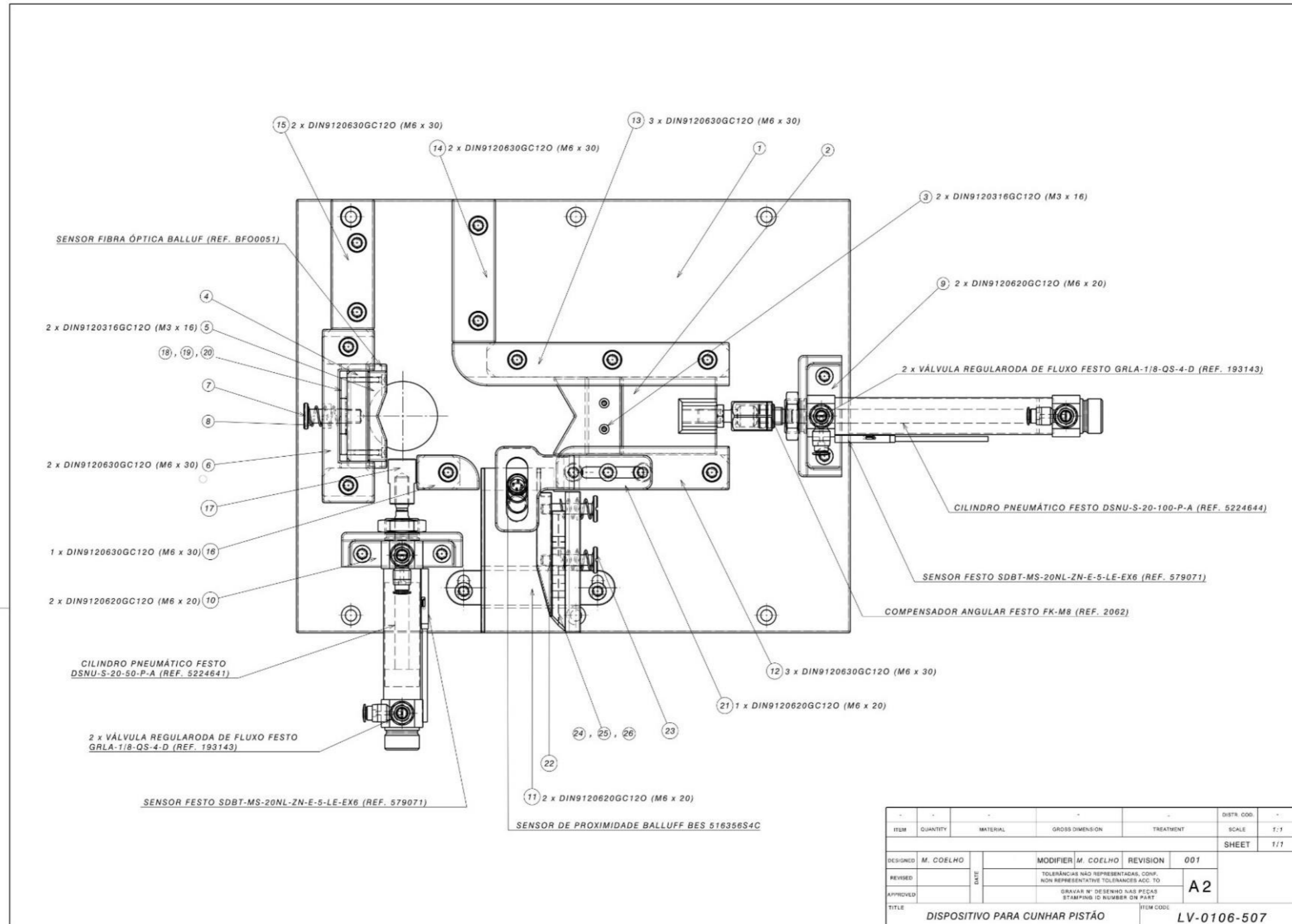
VIVEK, A.; HOLLA, V.; KRUPASHANKARA, M. S. Polymer Concretes for Machine Tool Structures – A Review. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, v. 5, out. 2016.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T.; ROSS, D. **The Machine that Changed the World**. New York: Rawson Associates, 1990. 323 p.

APÊNDICE A – CRONOGRAMA

Data Limite	Etapa	Descrição da etapa
28/10/2020	Análise inicial de máquina similar	Análise dos problemas ocorridos com um equipamento similar
28/11/2020	Desenvolvimento do projeto (CAD)	Desenho e estudo do projeto com o auxílio de um <i>software</i> CAD
02/12/2020	Seleção de materiais	Seleção dos materiais a serem utilizados na produção da máquina
10/12/2020	Seleção de sensores e atuadores	Seleção dos sensores e dos pistões a serem utilizados na máquina
20/01/2021	Entrega do detalhamento (2D)	Realização do detalhamento do projeto CAD para 2D
20/02/2021	Análise dos modos de falha	Análise dos modos de falha do ferramental utilizando metodologia FMEA
07/02/2021	Orçamento	Realização de um orçamento do custo de produção da máquina
25/03/2021	Fabricação	Envio do projeto para a fabricação na ferramentaria
25/05/2021	Aplicação e Análise	Aplicação prática do equipamento e análise pelo time de qualidade da empresa.

APÊNDICE B – MONTAGEM

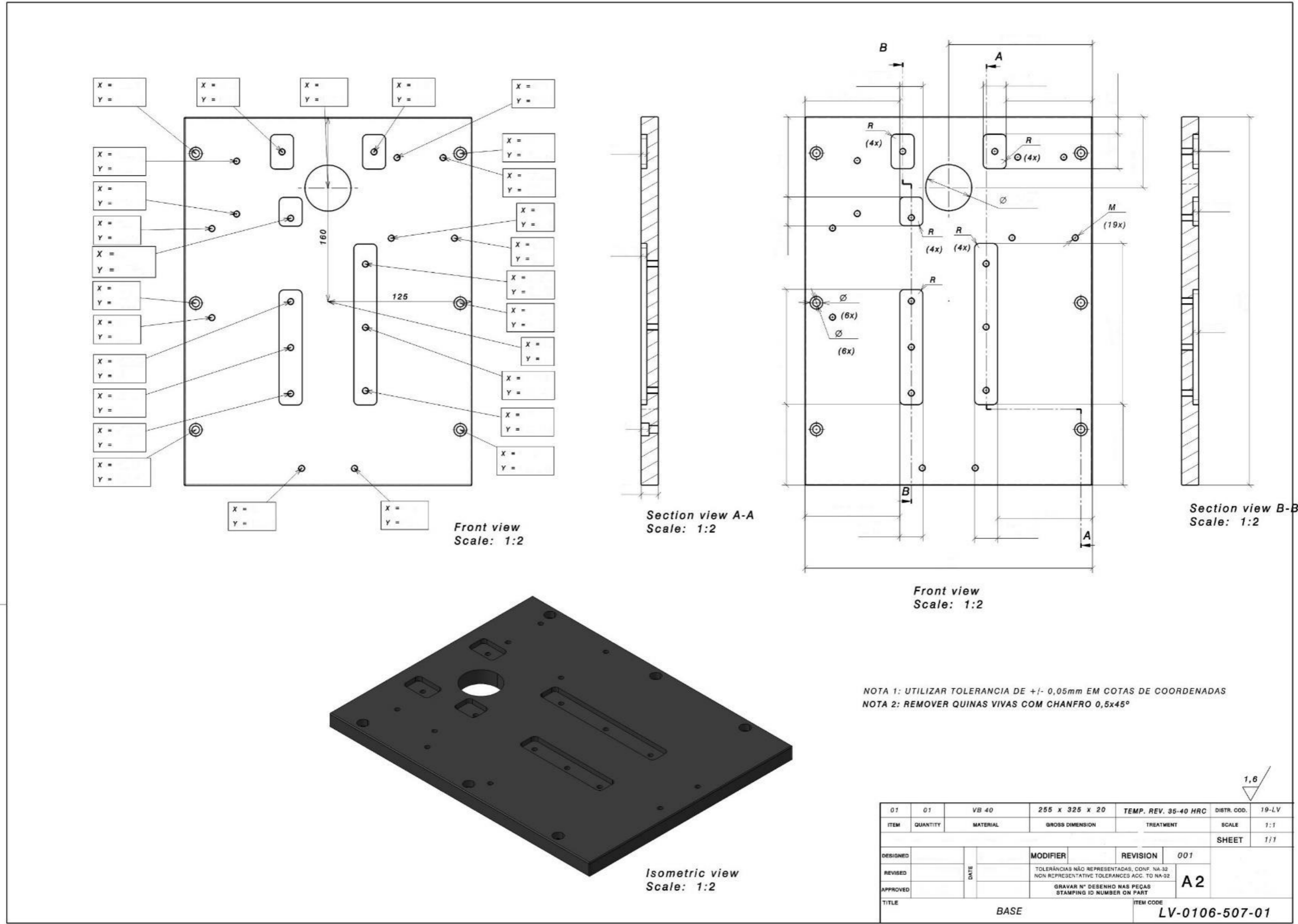


ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	DISTR. COD.	SCALE
						1/1
					SHEET	1/1
DESIGNED	M. COELHO	MODIFIER	M. COELHO	REVISION	001	
REVISED		TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO				
APPROVED		GRAVAR Nº DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART				A2
TITLE	DISPOSITIVO PARA CUNHAR PISTÃO				ITEM CODE	LV-0106-507

APÊNDICE C – LISTA DE MATERIAIS

ITEM	DESENHO NÚMERO (DRAWING NUMBER)	QTD. (QUANTITY)	MATERIAL	DIMENSÃO BRUTA (GROSS DIMENSION)		
01	LV-0106-507-01	01	VB 40	255 x 325 x 20		
02	LV-0106-507-02	01	VB 40	80 x 50 x 40		
03	LV-0106-507-03	01	NYLON	50 x 45 x 25		
04	LV-0106-507-04	01	VB 40	65 x 25 x 20		
05	LV-0106-507-05	01	NYLON	65 x 25 x 20		
06	LV-0106-507-06	01	VB 40	105 x 35 x 30		
07	LV-0106-507-07	01	VB 40	Ø20 x 40		
08	LV-0106-507-08	03	AÇO MOLA	Ø0,8 x 150		
09	LV-0106-507-09	01	VB 40	75 x 50 x 30		
10	LV-0106-507-10	01	VB 40	75 x 40 x 25		
11	LV-0106-507-11	01	VB 40	110 x 110 x 40		
12	LV-0106-507-12	01	VB 40	105 x 35 x 30		
13	LV-0106-507-13	01	VB 40	165 x 35 x 30		
14	LV-0106-507-14	01	VB 40	90 x 30 x 30		
15	LV-0106-507-15	01	VB 40	80 x 30 x 30		
16	LV-0106-507-16	01	VB 40	45 x 35 x 25		
17	LV-0106-507-17	01	NYLON	Ø25 x 35		
18	LV-0106-507-18	01	VB 40	70 x 50 X 10		
19	LV-0106-507-19	01	VB 40	70 x 50 X 10		
20	LV-0106-507-20	01	VB 40	70 x 50 X 10		
21	LV-0106-507-21	01	ABNT 1020	125 x 60 x 3		
22	LV-0106-507-22	01	VB 40	90 x 20 x 15		
23	LV-0106-507-23	01	VB 40	Ø20 x 40		
24	LV-0106-507-24	01	VB 40	75 x 50 x 15		
25	LV-0106-507-25	01	VB 40	75 x 50 x 15		
26	LV-0106-507-26	01	VB 40	75 x 50 x 15		
	DSNU-S-20-100-P-A (REF. 5224644)	01	CILINDRO PNEUMÁTICO FESTO	-		
	DSNU-S-20-50-P-A (REF. 5224641)	01	CILINDRO PNEUMÁTICO FESTO	-		
	GRLA-1/8-QS-4-D (REF. 193143)	04	VÁLVULA REGULARODA DE FLUXO FESTO	-		
	SDBT-MS-20NL-ZN-E-5- LE-EX6 (REF. 579071)	02	SENSOR FESTO	-		
	BALLUFF BES 516356S4C	01	SENSOR DE PROXIMIDADE BALLUFF	-		
	BALLUF BF00051		SENSOR FIBRA ÓPTICA			
	DIN9120630GC120	13	PARAF. ALLEN	M6 X 30		
	DIN9120620GC120	07	PARAF. ALLEN	M6 X 20		
	DIN9120316GC120	04	PARAF. ALLEN	M3 X 16		
LM	--	-----	-----	-----	DISTR. COD.	--
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A 4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
LISTA DE MATERIAL (MATERIAL LIST)						

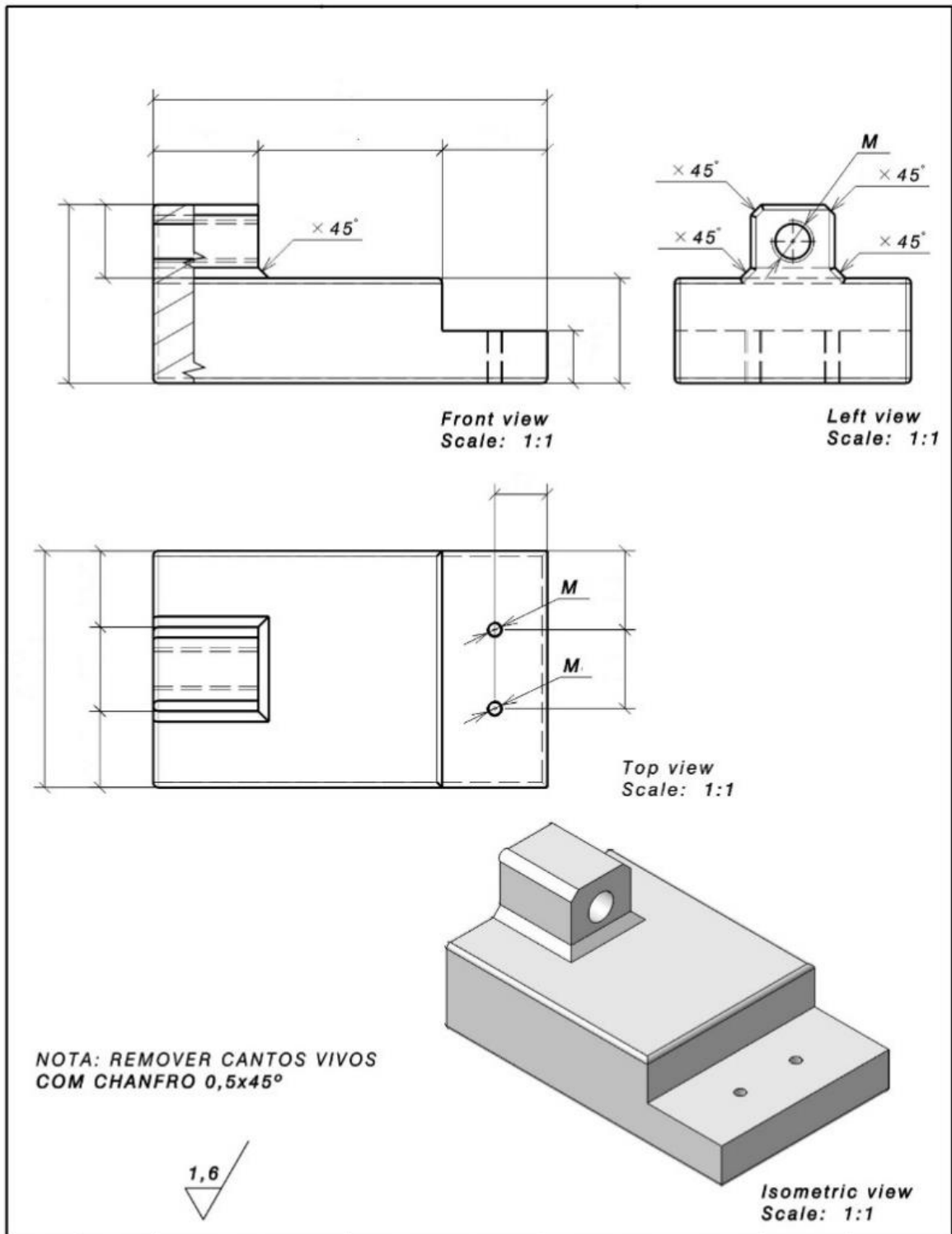
APÊNDICE D – DETALHAMENTO 2D



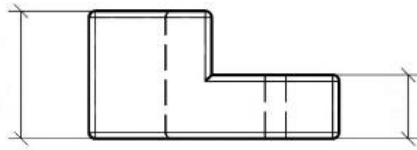
NOTA 1: UTILIZAR TOLERANCIA DE +/- 0,05mm EM COTAS DE COORDENADAS
 NOTA 2: REMOVER QUINAS VIVAS COM CHANFRO 0,5x45°

01	01	VB 40	255 x 325 x 20	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR Nº DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE			BASE		ITEM CODE LV-0106-507-01	

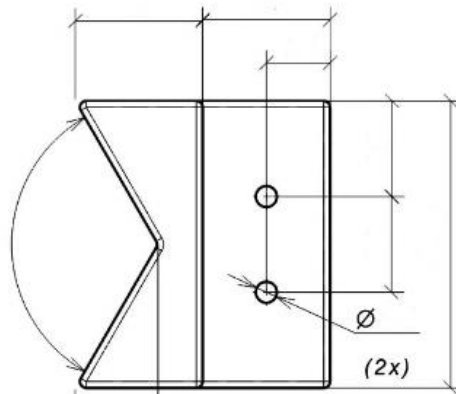




02	01	VB 40	80 x 50 x 40	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19 - LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			A4
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
EMPURRADOR						

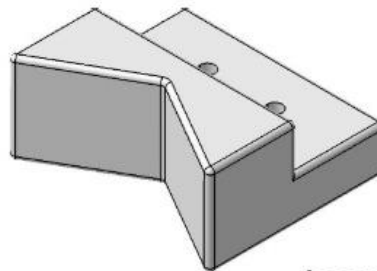


Front view
Scale: 1:1



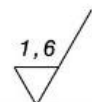
Top view
Scale: 1:1

(REF.) 13

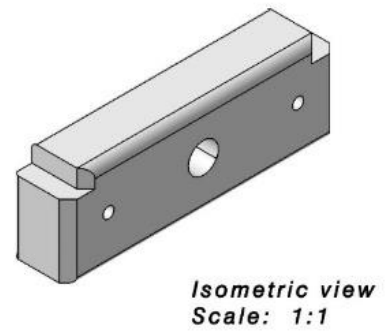
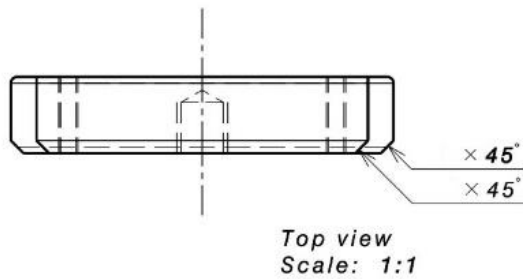
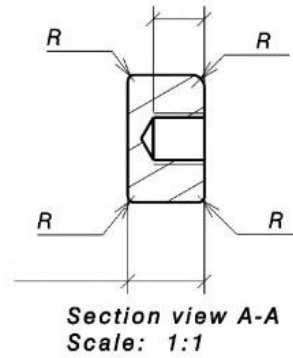
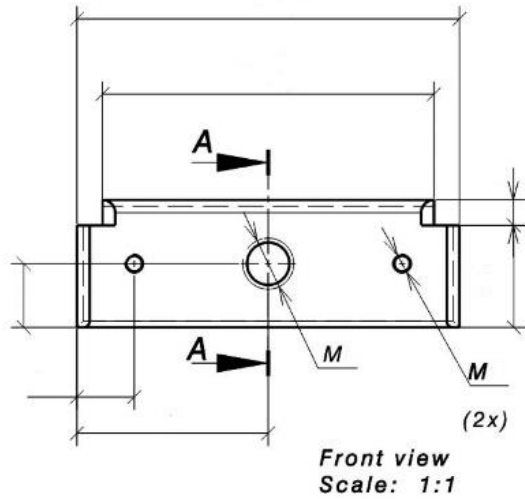


Isometric view
Scale: 1:1

NOTA: REMOVER CANTOS VIVOS COM RAIO 1mm



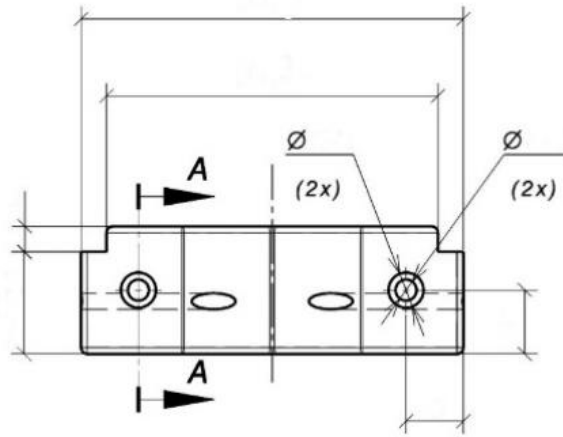
03	01	NYLON	50 x 45 x 25	-	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
PRISMA DO EMPURRADOR						



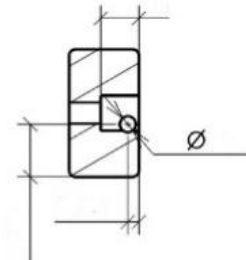
NOTA: REMOVER CANTOS VIVOS COM RAI0 0,5mm



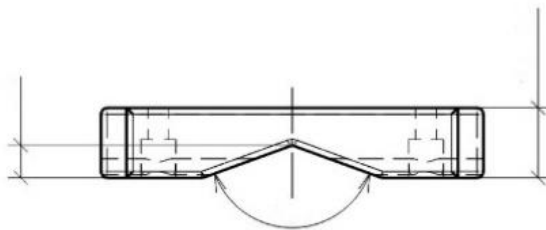
04	01	VB 40	65 x 25 x 20	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
ENCOSTO DO PRISMA COM FIBRA						



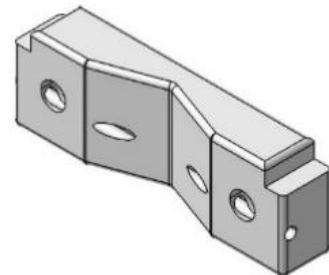
Front view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1



Top view
Scale: 1:1

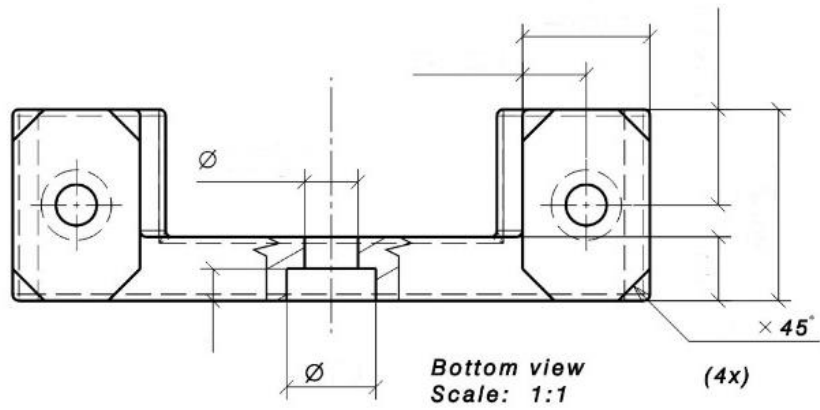
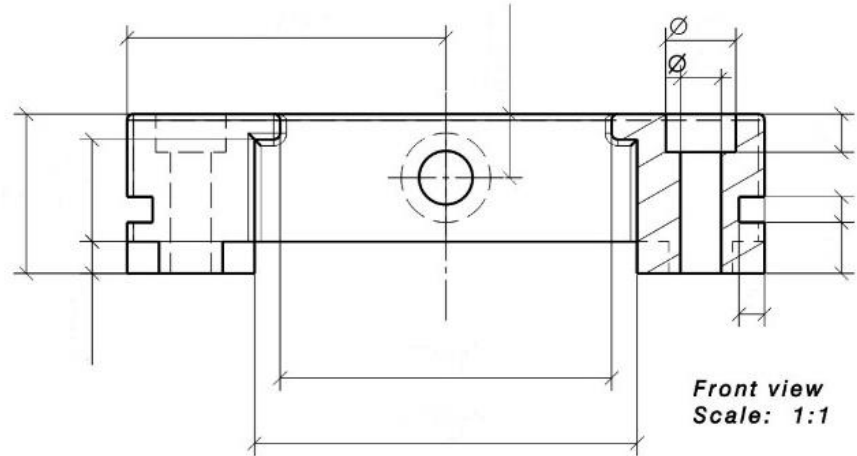


Isometric view
Scale: 1:1

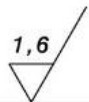
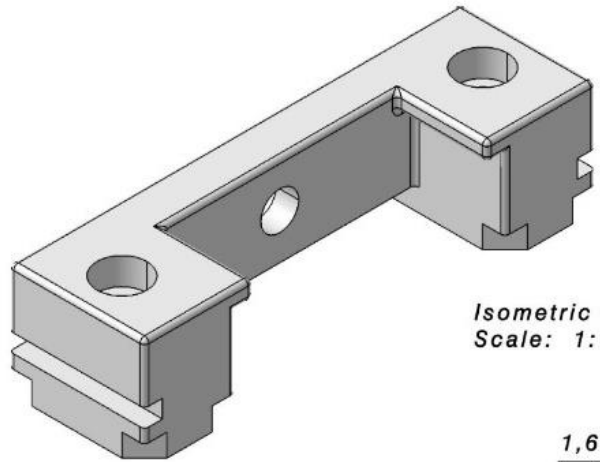
NOTA: REMOVER QUINAS VIVAS COM RAIO 1mm



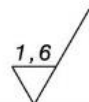
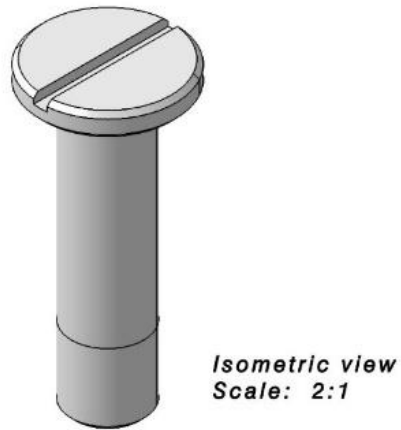
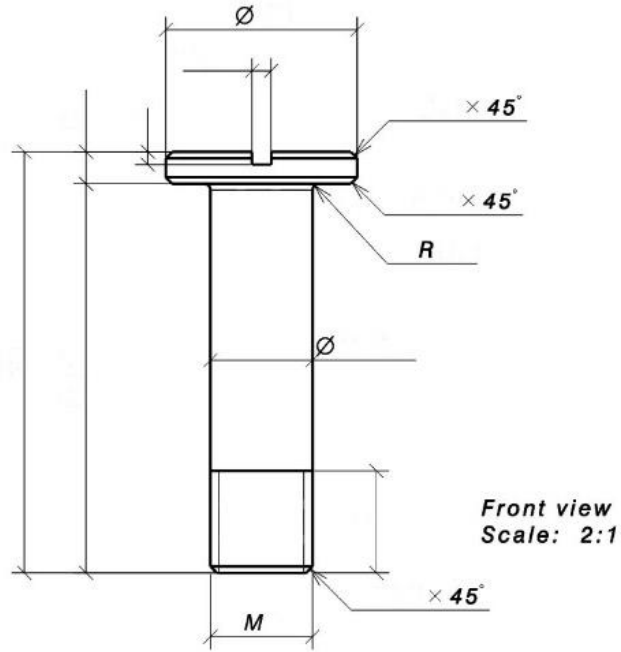
05	01	NYLON	65 x 25 x 20	-	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				PRISMA COM FIBRA		
				ITEM CODE		



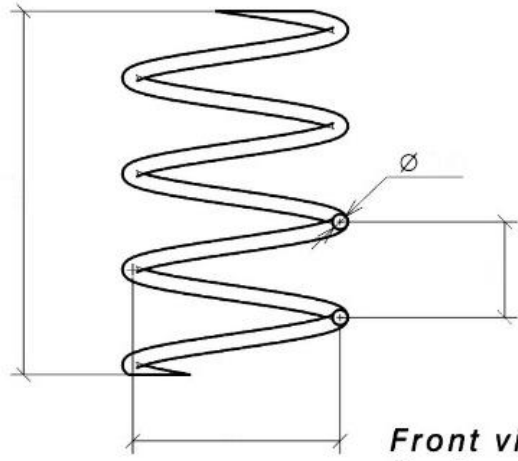
NOTA: REMOVER QUINAS VIVAS COM RAIO 1mm



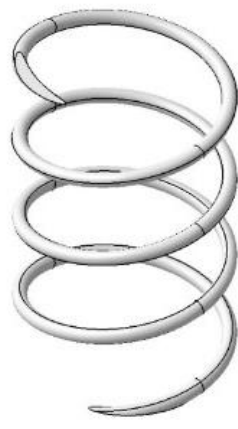
06	01	VB 40	105 x 35 x 30	TEMP. REV 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
GUIA DO ENCOSTO						



07	01	VB 40	Ø20 x 40	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
PINO DO ENCOSTO						

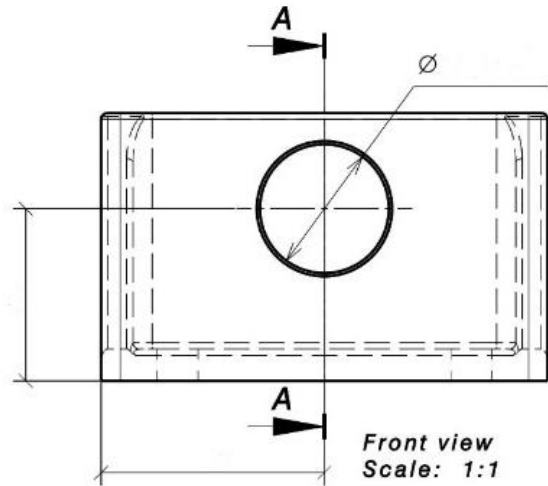


Front view
Scale: 3:1

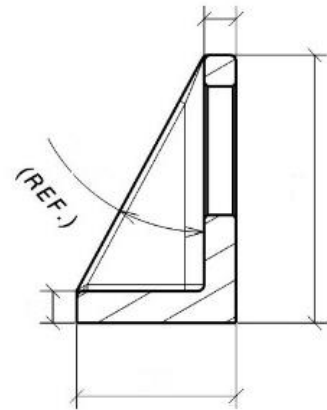


Isometric view
Scale: 3:1

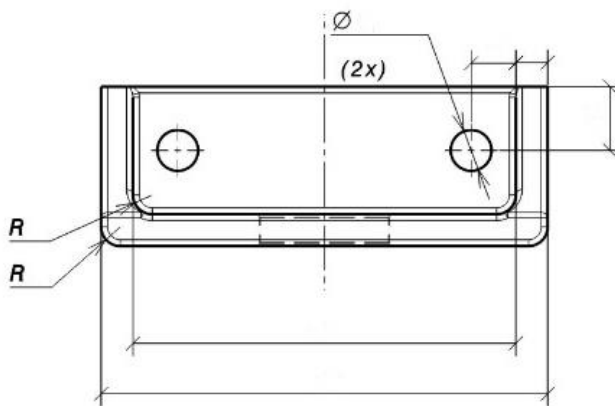
08	03	AÇO MOLA	∅0,8 x 150mm	-	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
MOLA						



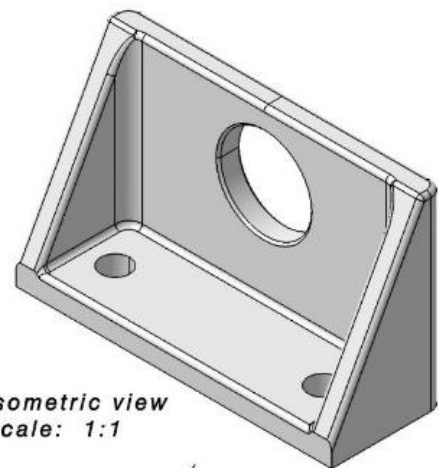
Front view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1



Top view
Scale: 1:1

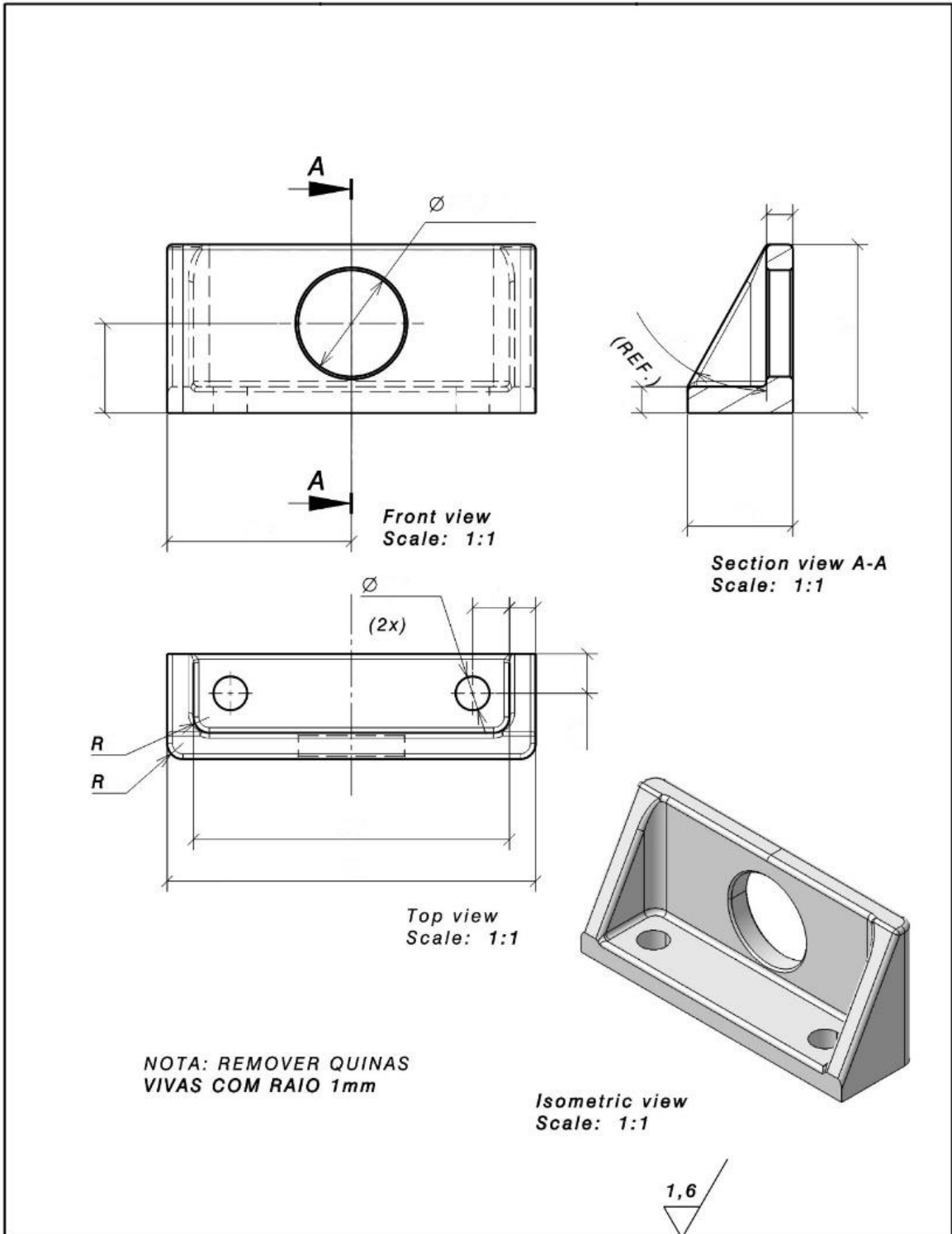


Isometric view
Scale: 1:1

NOTA: REMOVER QUINAS
VIVAS COM RAIO 1mm



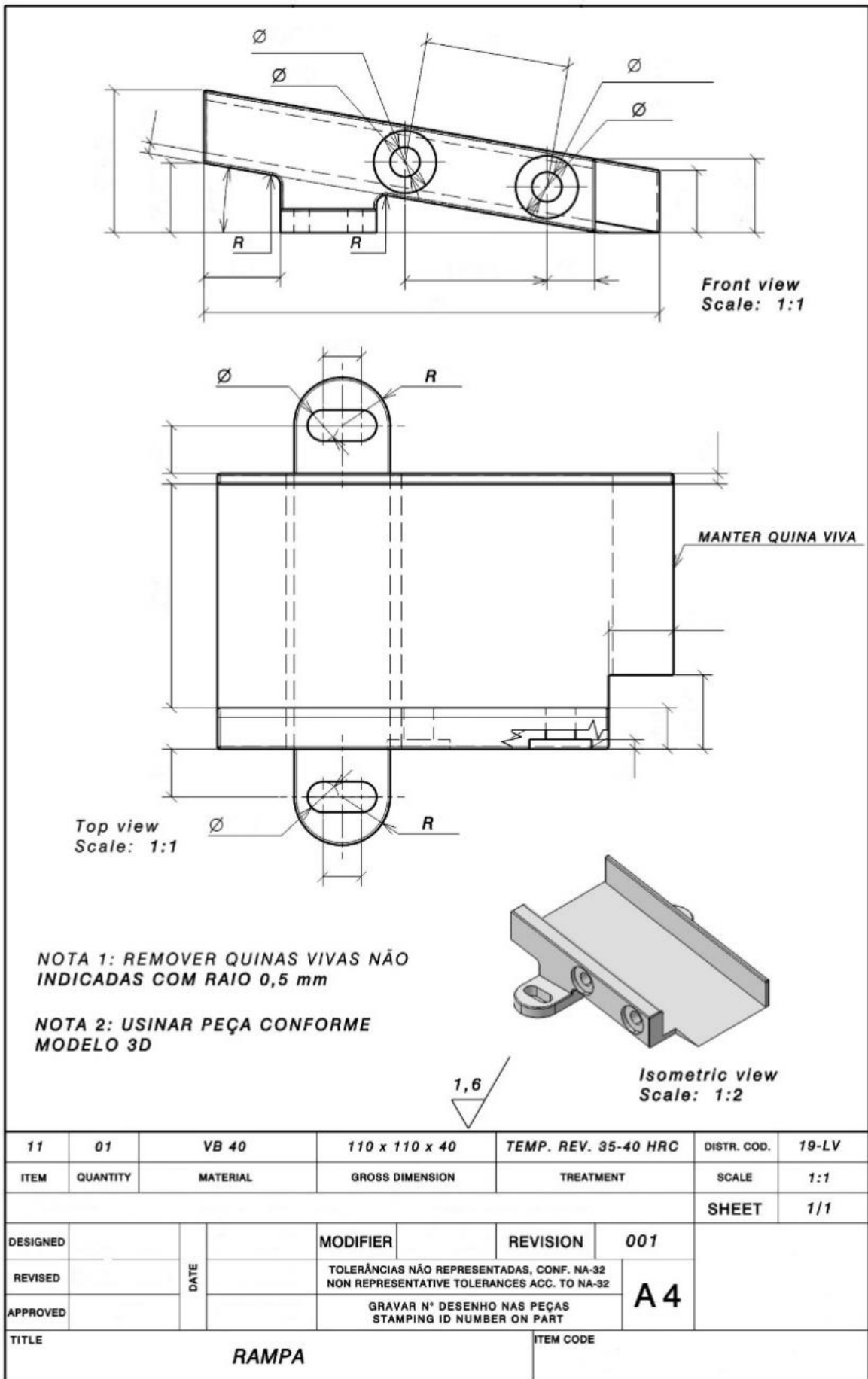
09	01	VB 40	75 x 50 x 30	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
SUPORTE CILINDRO 100mm						

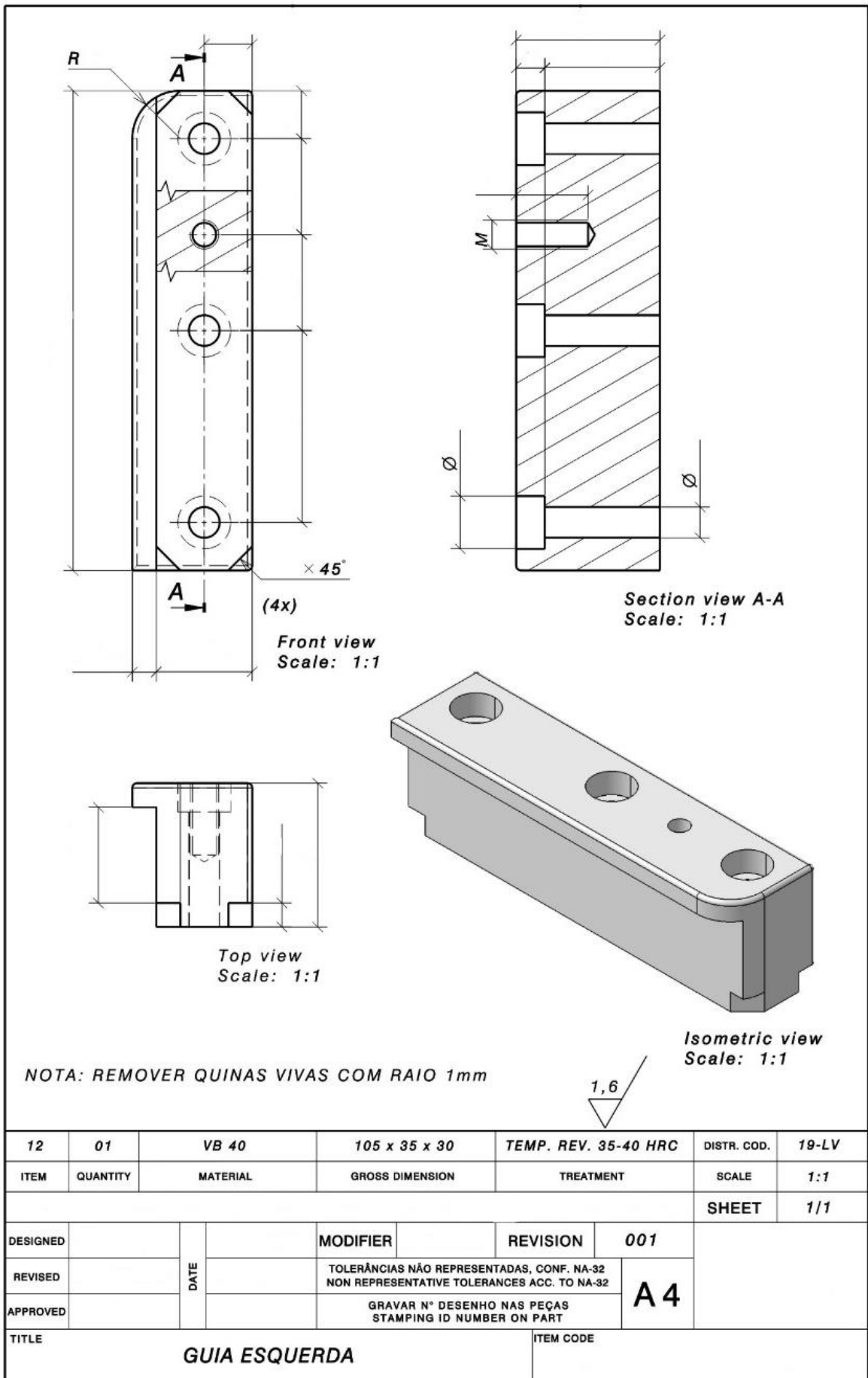


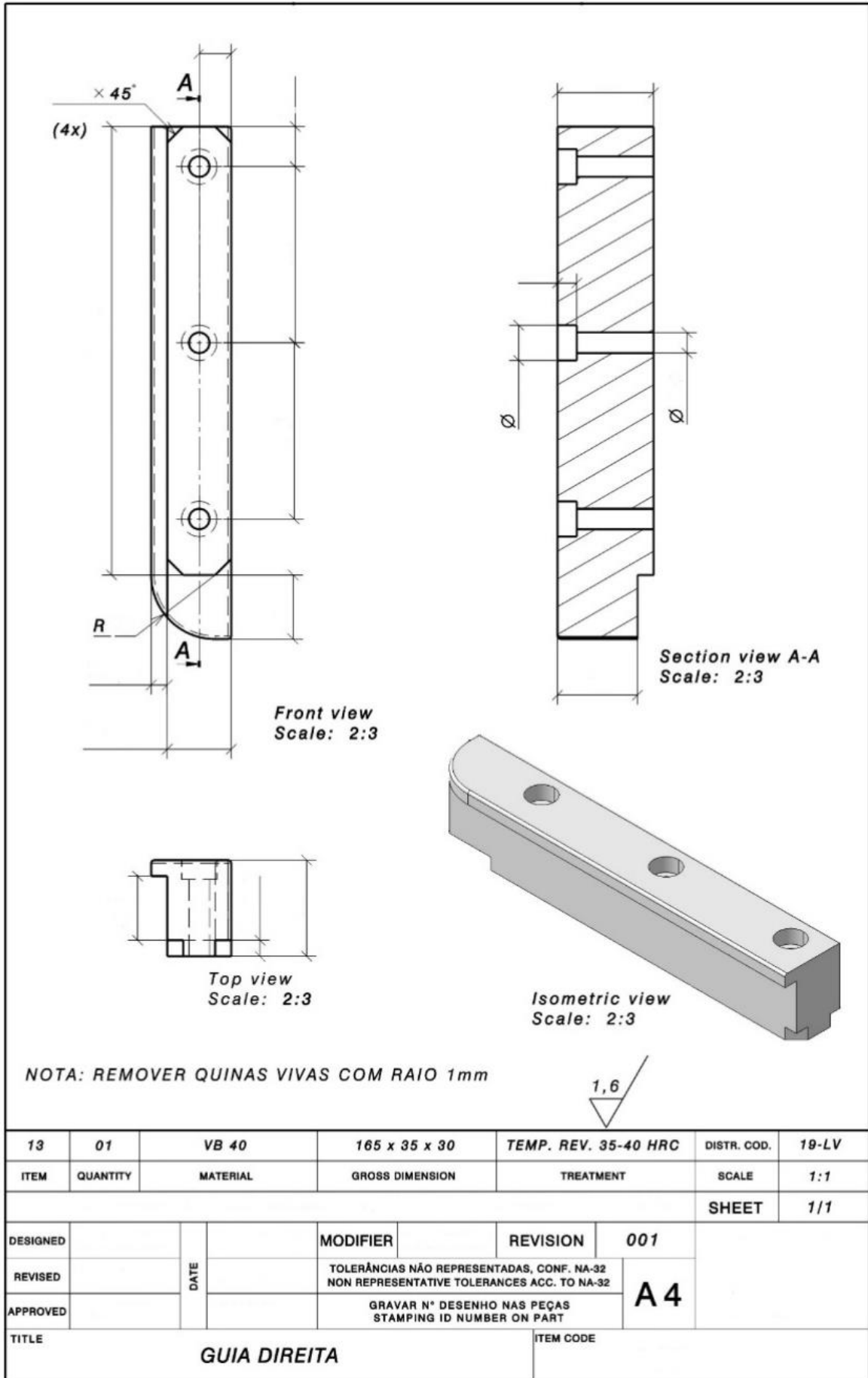
NOTA: REMOVER QUINAS VIVAS COM RAIO 1mm

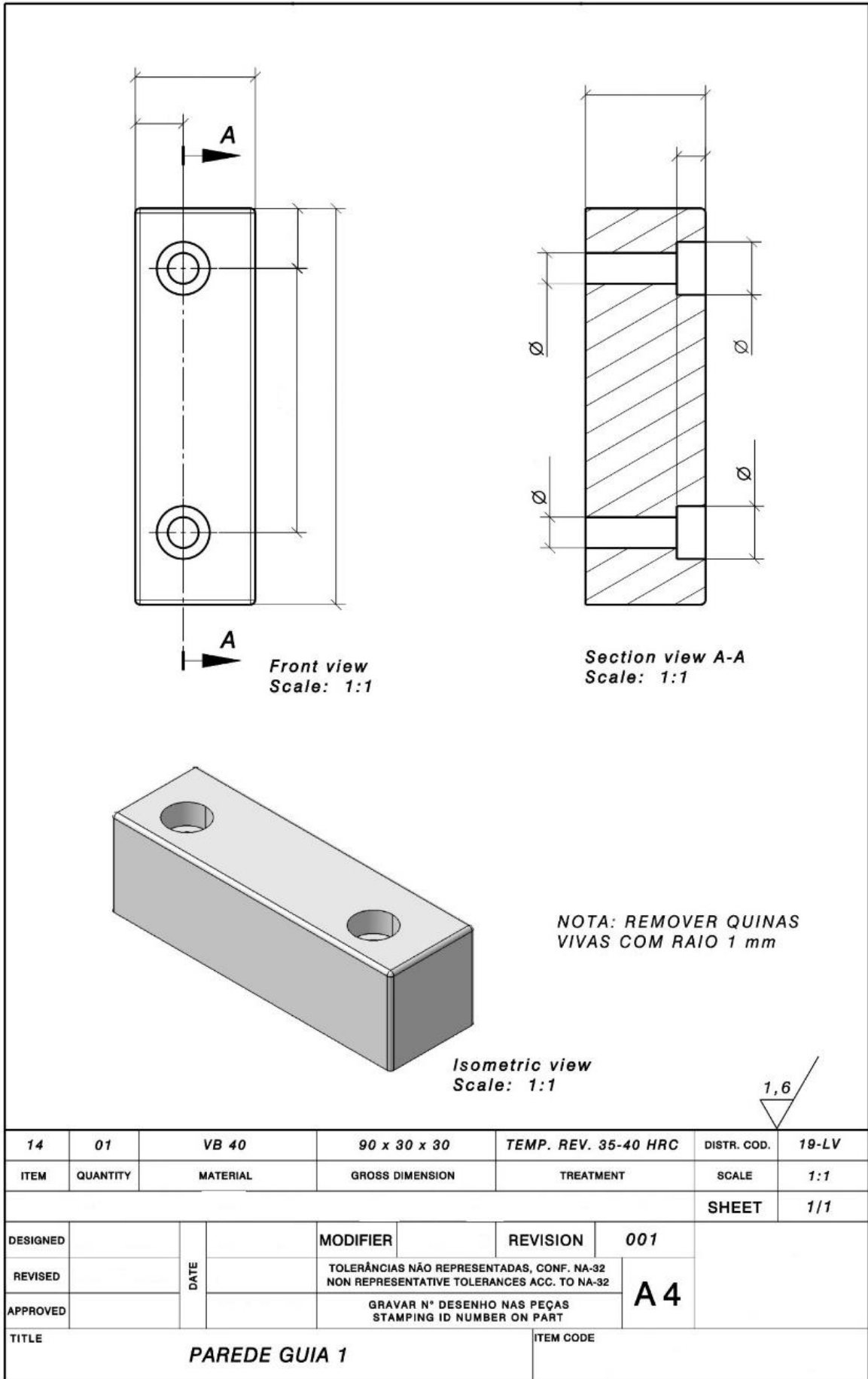
Isometric view Scale: 1:1

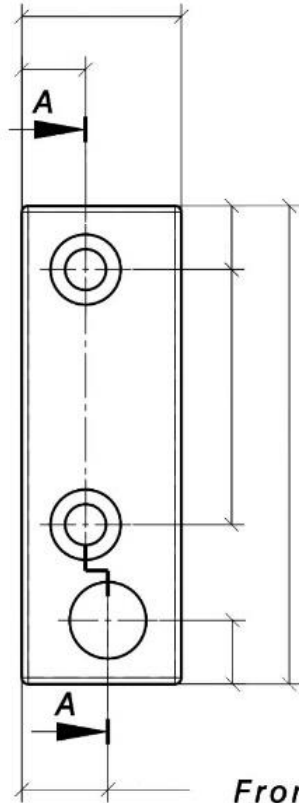
09	01	VB 40	75 x 40 x 25	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32		A4	
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
SUPORTE CILINDRO 50mm						



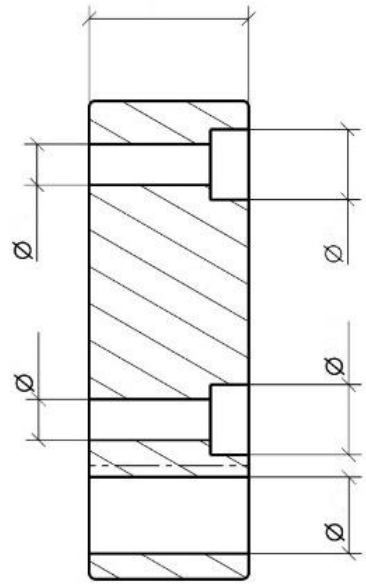




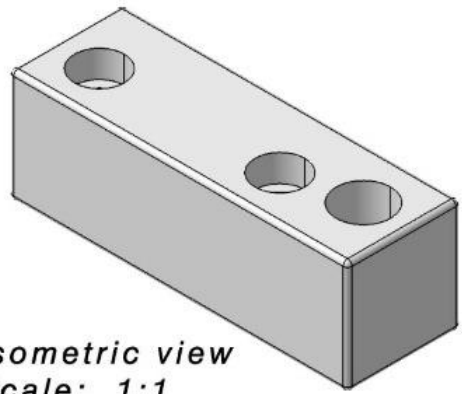




Front view
Scale: 1:1



Section view A-A
Scale: 1:1

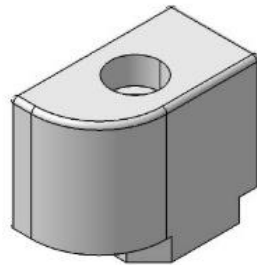
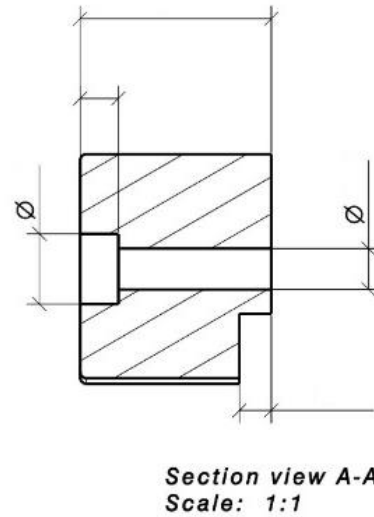
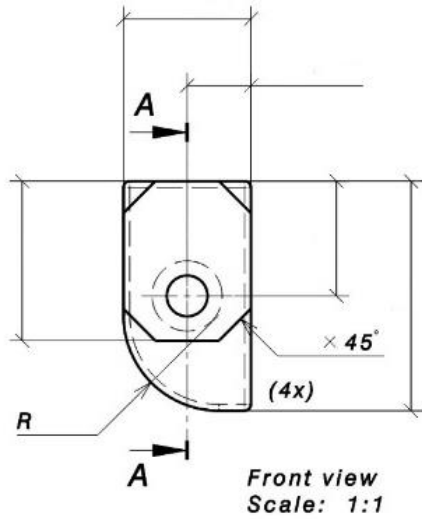


Isometric view
Scale: 1:1

NOTA: REMOVER QUINAS VIVAS COM RAI0 1 mm



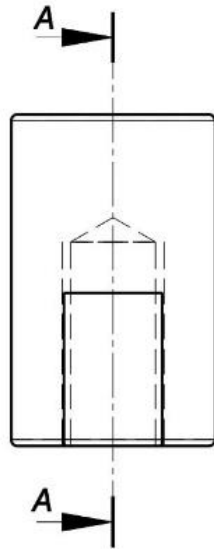
15	01	VB 40	80 x 30 x 30	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
ALL RIGHTS RESERVED FOR MAGNETI MARELLI - COFAP CIA FABRICADORA DE PEÇAS. THIS DRAWING SHALL NOT BE TOTALLY OR PARTIALLY REPRODUCED WITHOUT FORMAL AGREEMENT WITH THE INTELCTUAL RIGTHS OF ITS OWNER					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
PAREDE GUIA 2						



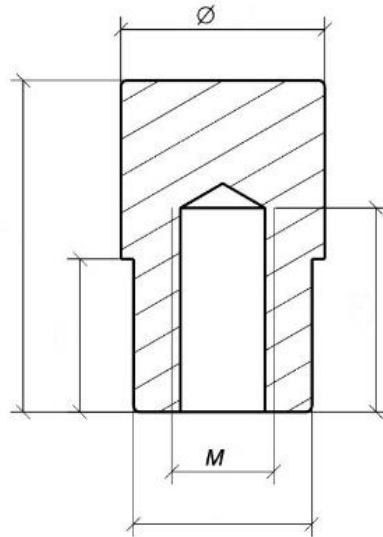
NOTA: REMOVER QUINAS VIVAS COM RAI0 1 mm



16	01	VB 40	45 x 35 x 25	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
ALL RIGHTS RESERVED FOR MAGNETI MARELLI - COFAP CIA FABRICADORA DE PEÇAS. THIS DRAWING SHALL NOT BE TOTALLY OR PARTIALLY REPRODUCED WITHOUT FORMAL AGREEMENT WITH THE INTELLECTUAL RIGHTS OF ITS OWNER					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
PAREDE GUIA 3						



Front view
Scale: 2:1



Section view A-A
Scale: 2:1

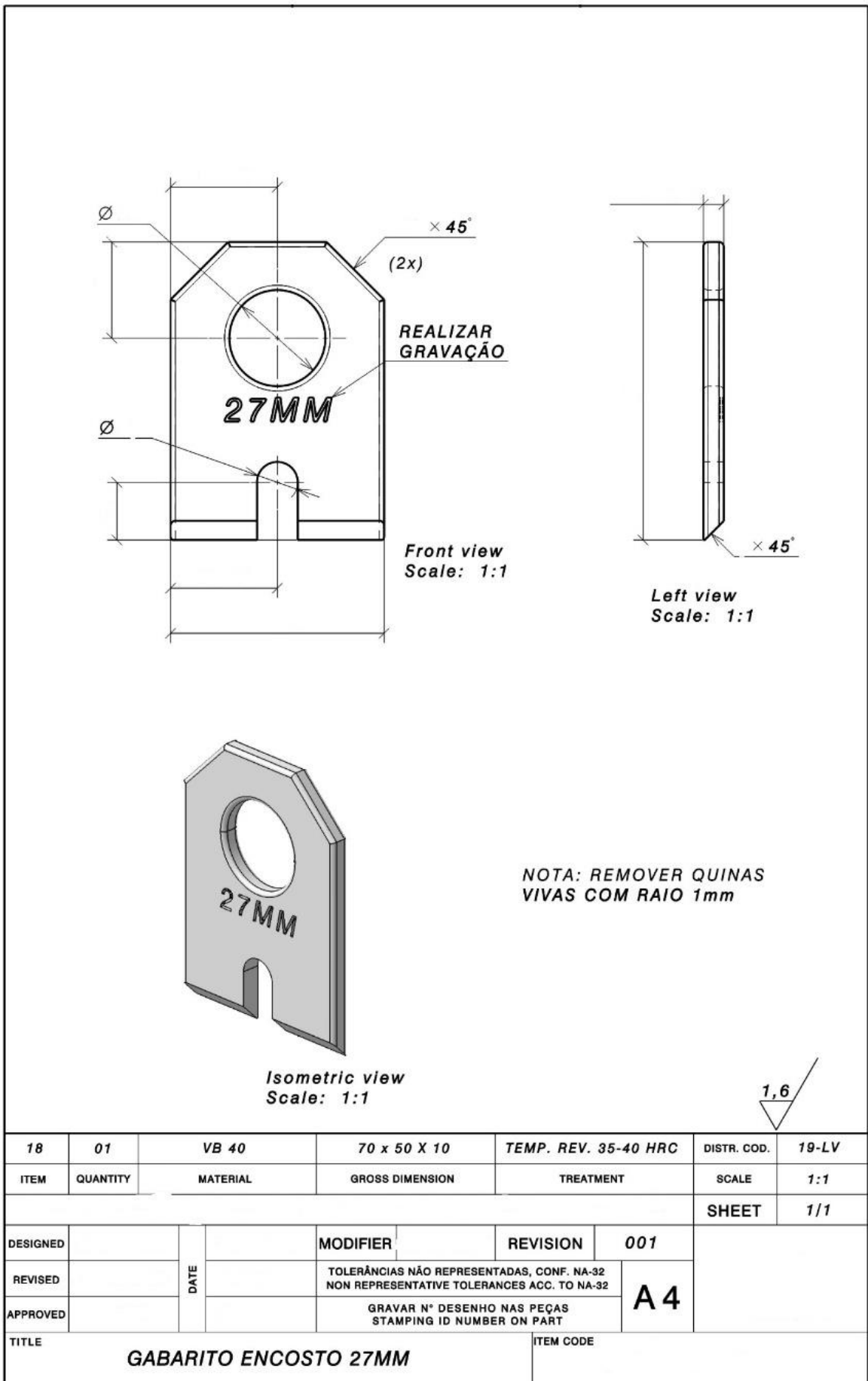


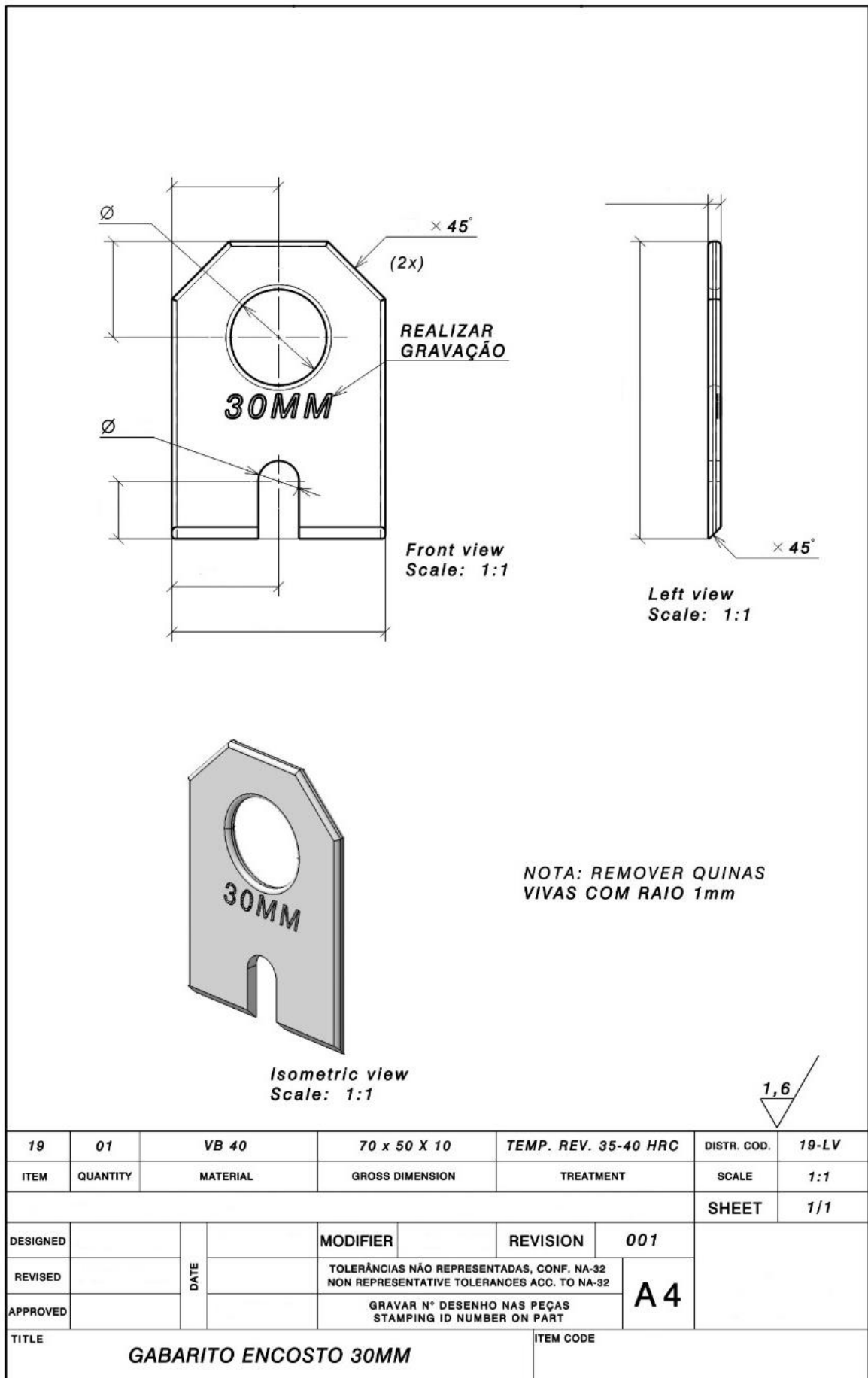
Isometric view
Scale: 2:1

NOTA: REMOVER QUINAS VIVAS COM RAIO 1mm

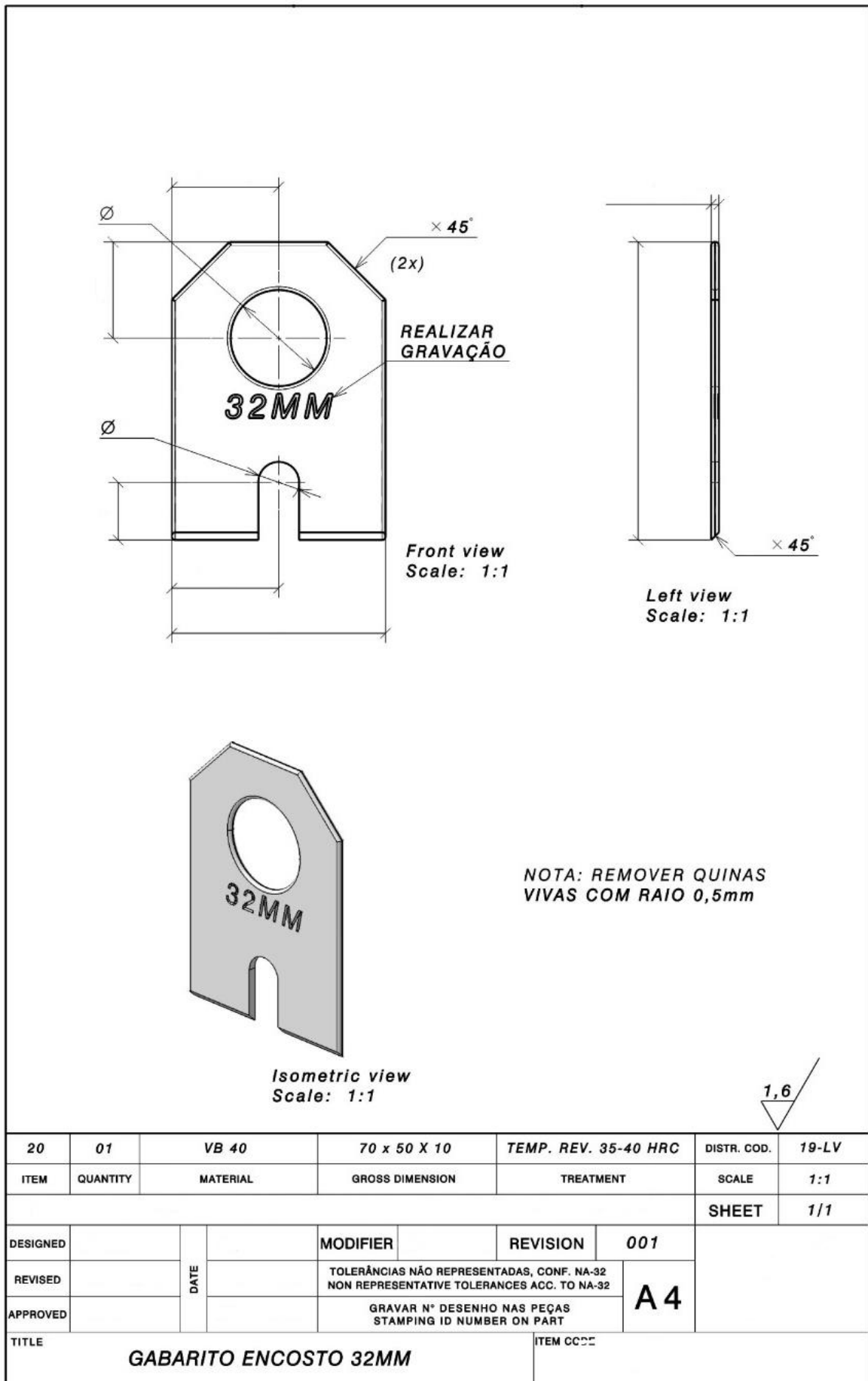


17	01	NYLON	Ø25 x 35	-	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
CHUTADOR						

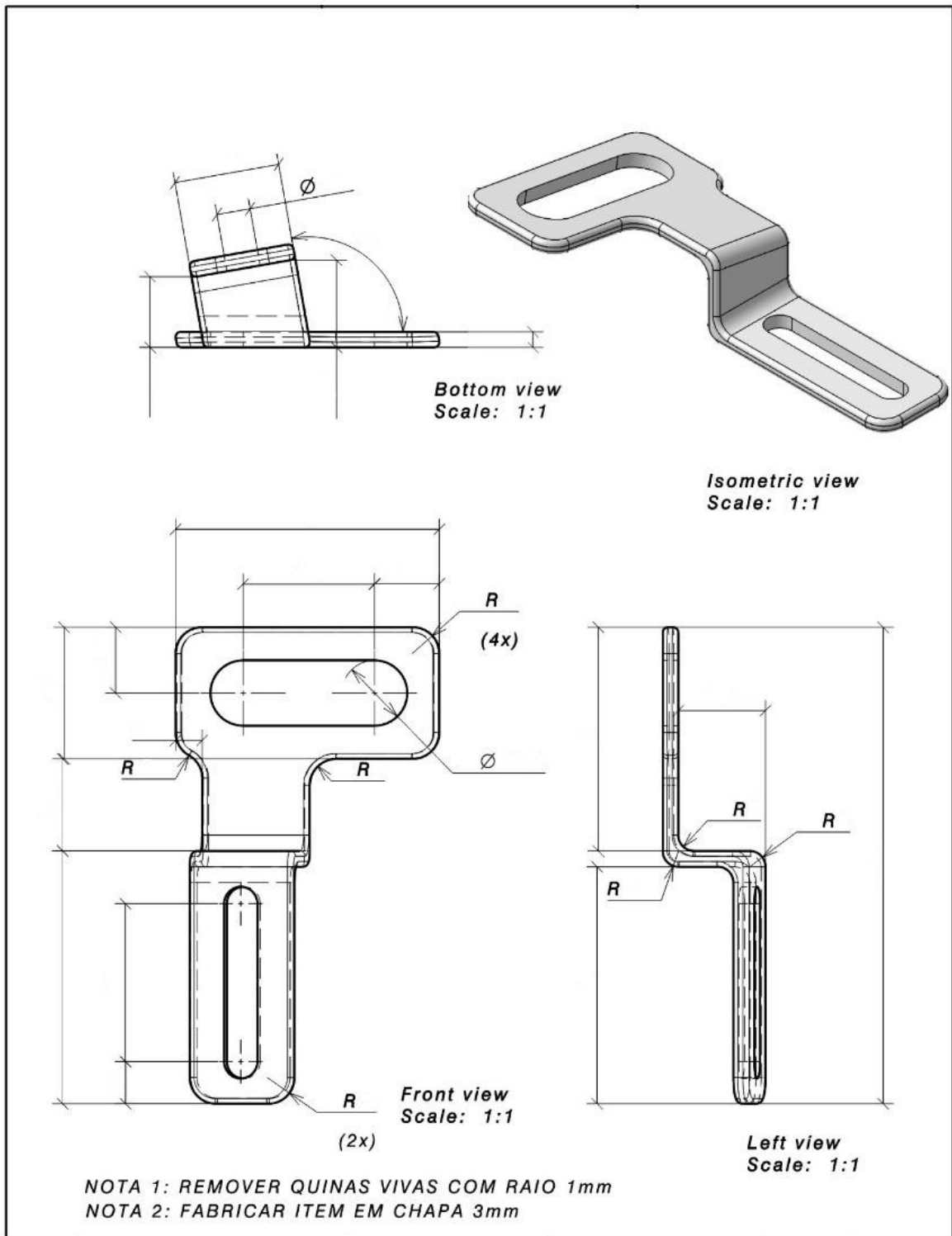




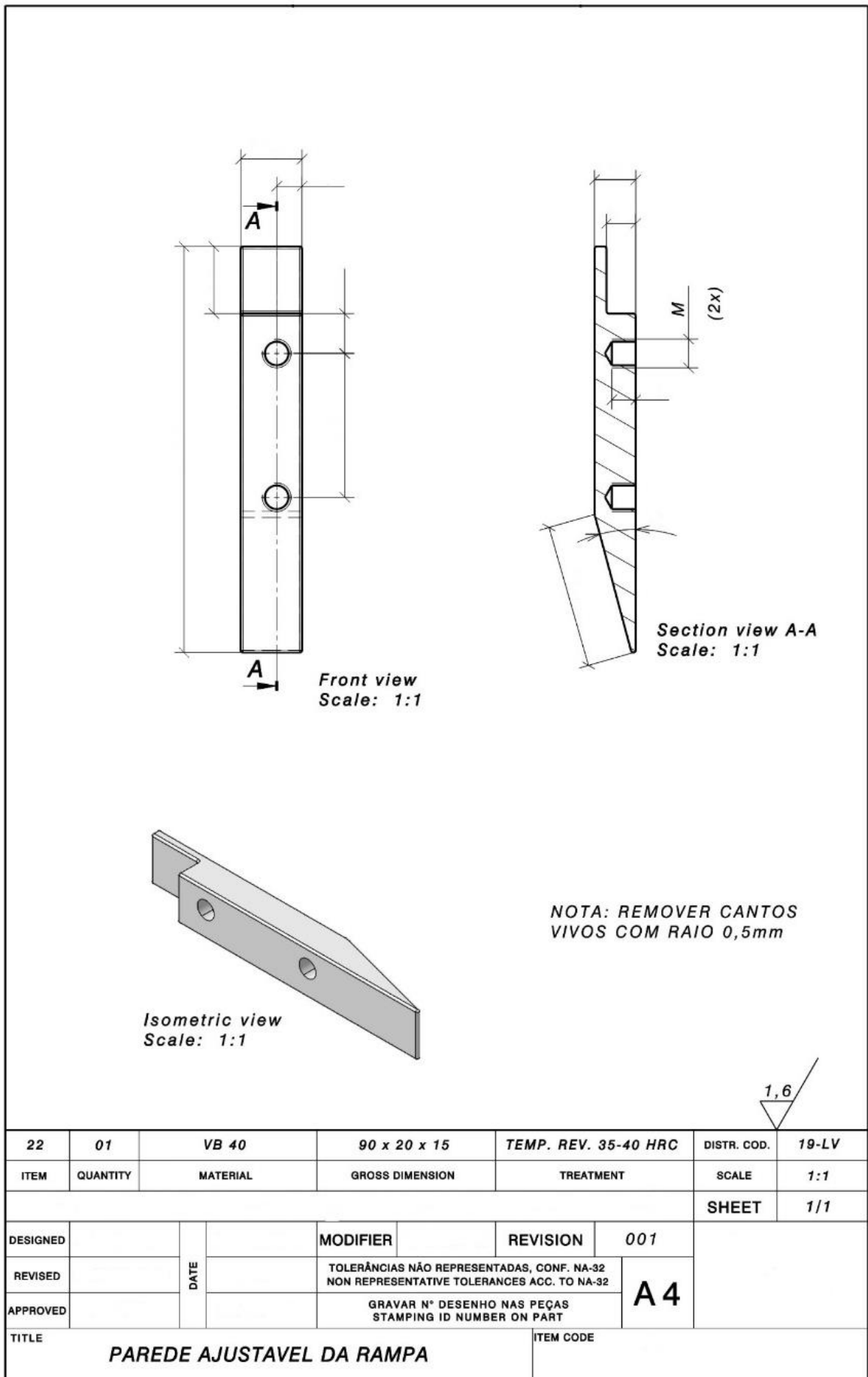
19	01	VB 40	70 x 50 X 10	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
GABARITO ENCOSTO 30MM						

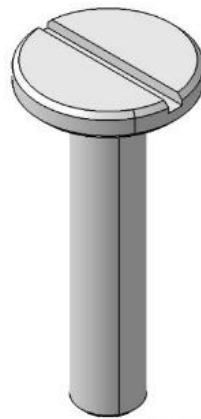
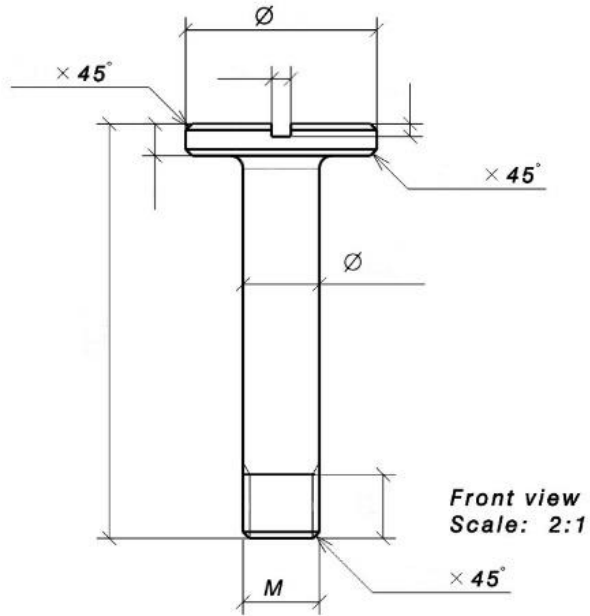


20	01	VB 40	70 x 50 X 10	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
GABARITO ENCOSTO 32MM						

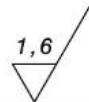


21	01	ABNT 1020	125 x 60 x 3	-	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
ALL RIGHTS RESERVED FOR MAGNETI MARELLI - COFAP CIA FABRICADORA DE PEÇAS. THIS DRAWING SHALL NOT BE TOTALLY OR PARTIALLY REPRODUCED WITHOUT FORMAL AGREEMENT WITH THE INTELLECTUAL RIGHTS OF ITS OWNER					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32		A4	
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
SUPORTE DO SENSOR INDUTIVO						

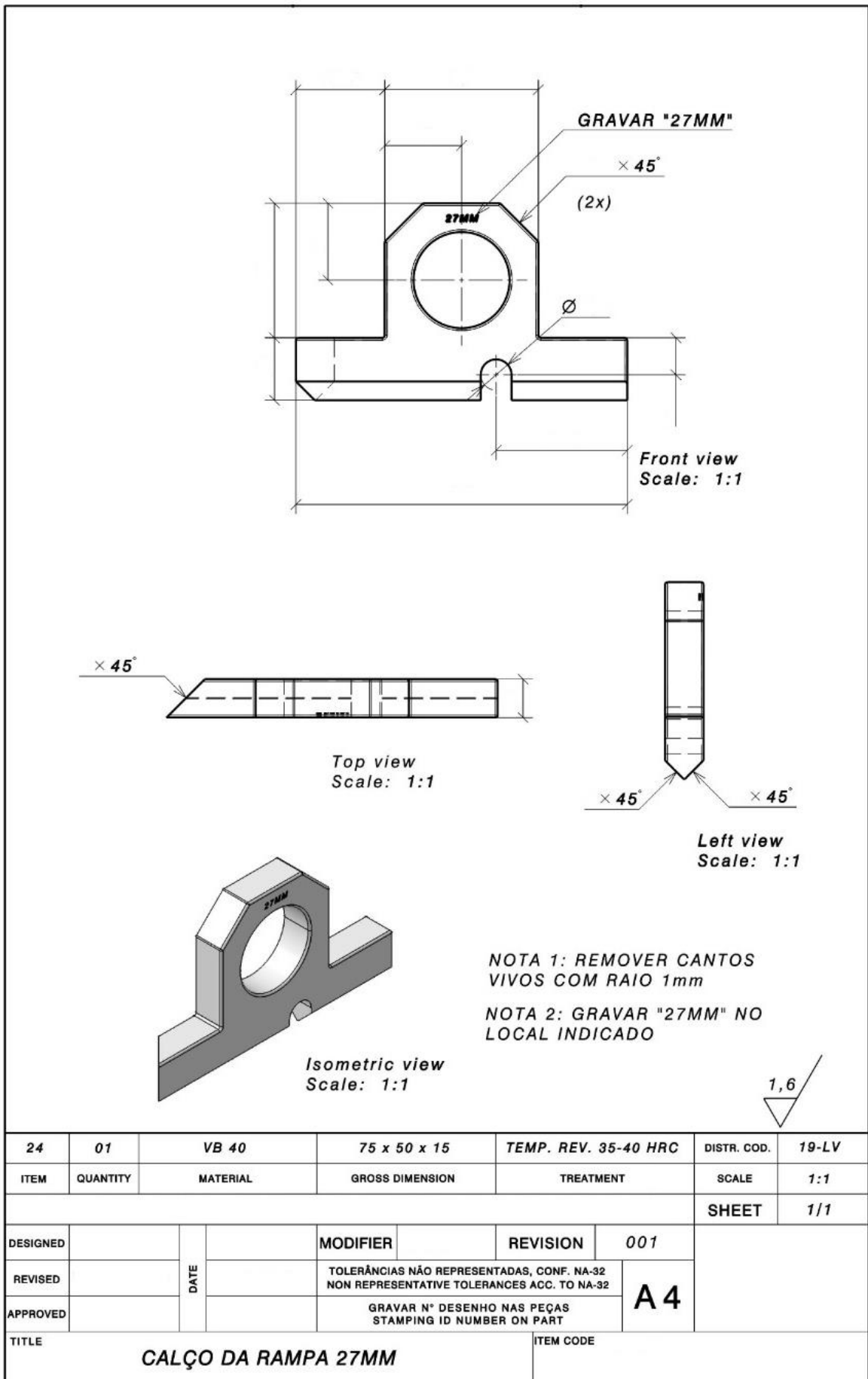


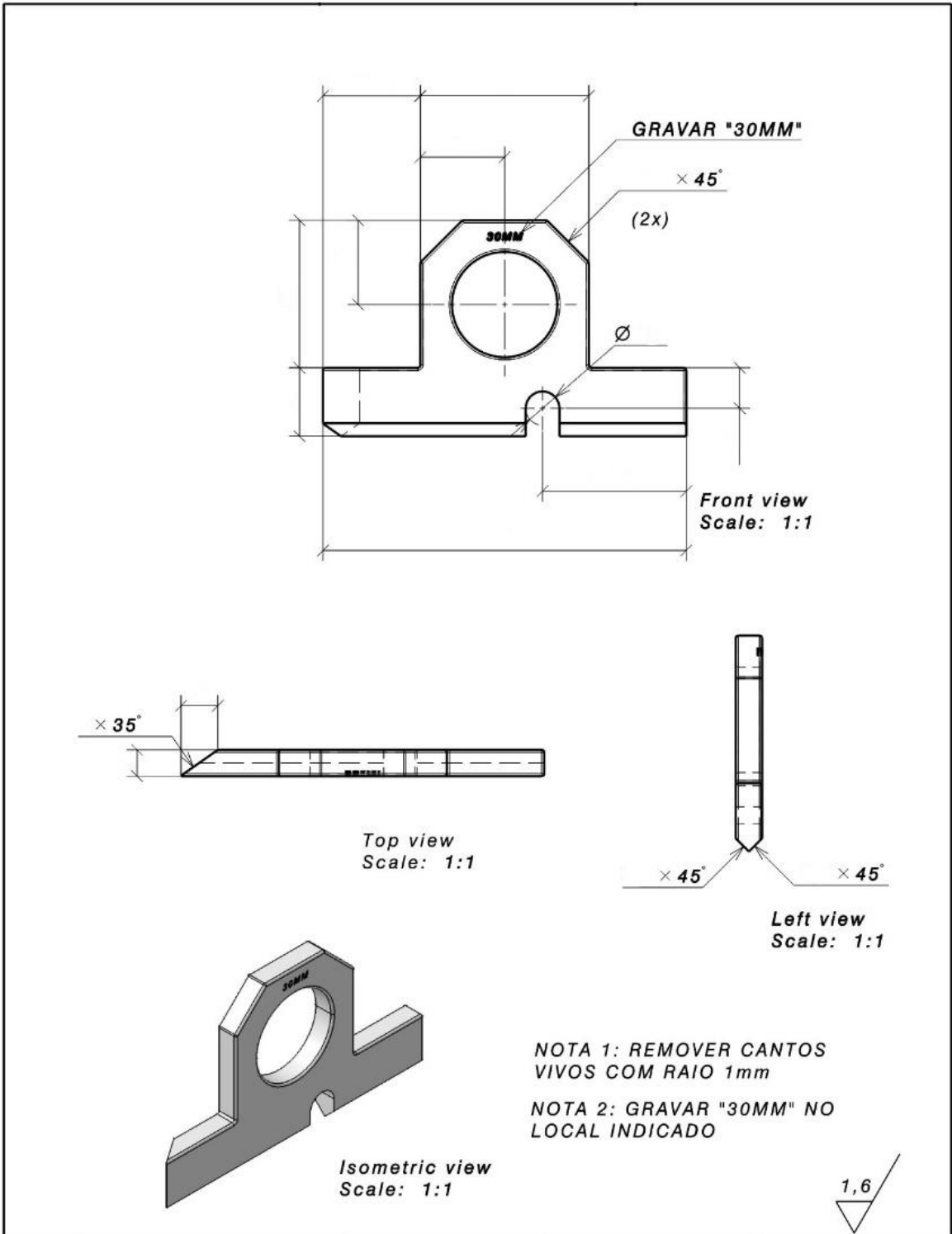


Isometric view
Scale: 2:1

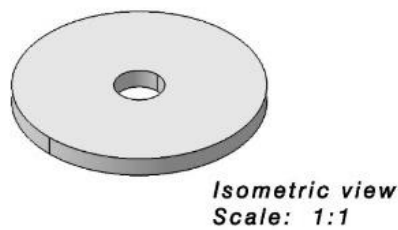
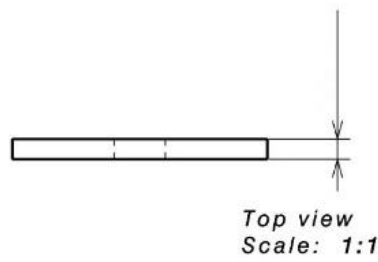
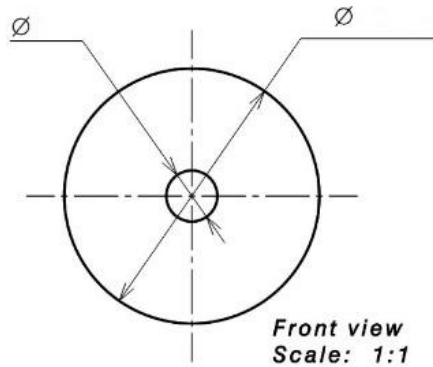


23	02	VB 40	Ø20 x 40	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	2:1
					SHEET	1/1
DESIGNED		DATE	MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED			TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
PINO DA RAMPA						





25	01	VB 40	75 x 50 x 15	TEMP. REV. 35-40 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32		A4	
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
CALÇO DA RAMPA 30MM						

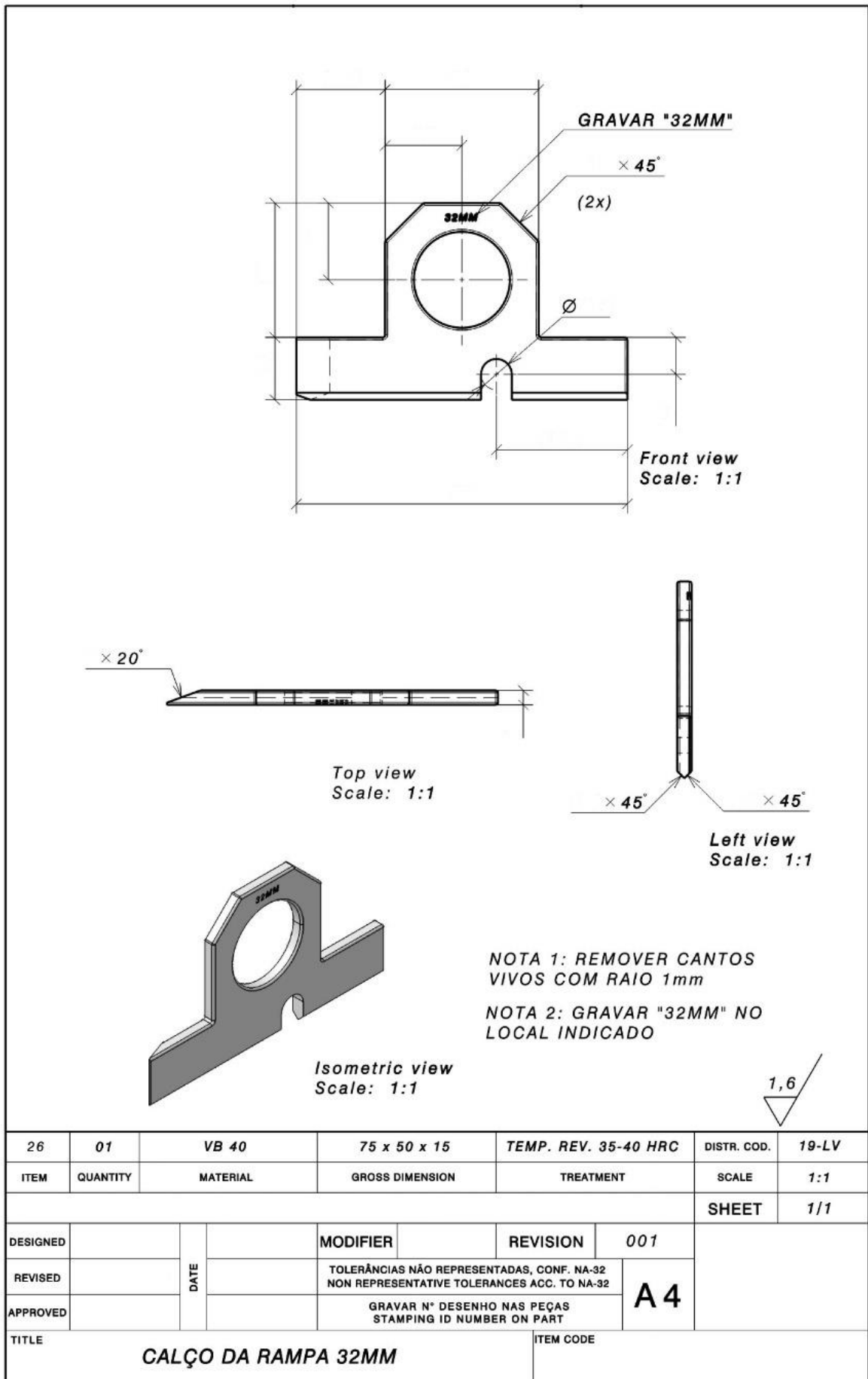


NOTA: AJUSTAR DIMENSÃO

CONFORME MÁQUINA



27	01	VND	Ø45 x 9	TEMP. REV. 48-52 HRC	DISTR. COD.	19-LV
ITEM	QUANTITY	MATERIAL	GROSS DIMENSION	TREATMENT	SCALE	1:1
					SHEET	1/1
DESIGNED			MODIFIER	REVISION	001	A4
REVISED		DATE	TOLERÂNCIAS NÃO REPRESENTADAS, CONF. NA-32 NON REPRESENTATIVE TOLERANCES ACC. TO NA-32			
APPROVED			GRAVAR N° DESENHO NAS PEÇAS STAMPING ID NUMBER ON PART			
TITLE				ITEM CODE		
CALÇO PARA ASSENTO						



APÊNDICE E – FMEA

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Base (01)	Servir de estrutura para a máquina	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Empurrador (02)	Empurrar as peças através da movimentação do cilindro	Travar	A máquina não realiza a devida movimentação	2	4	3	24	Manter guia e empurrador lubrificados e verificar condição superficial de ambas as partes semanalmente	Nenhuma	2	3	2	12
		Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	4	1	5	20	Nenhuma	Nenhuma	4	1	5	20
Prisma do Empurrador (03)	Garantir concentricidade e prevenir danos à peça	Quebrar ou rachar	A peça não ficará na posição correta para a prensagem	5	5	2	50	Troca do nylon a cada 2 semanas	Nenhuma	5	2	2	20
		Desgastar		5	7	2	70			5	3	2	30
Encosto do prisma com fibra (04)	Garantir alinhamento do prisma com fibra (05)	Travar	Operador não consegue realizar o <i>setup</i> adequado	2	4	5	40	Manter guia e encosto lubrificados e verificar condição superficial de ambas as partes semanalmente	Nenhuma	2	3	3	18

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Prisma com fibra (05)	Garantir concentricidade e prevenir danos à peça	Quebrar ou rachar	A peça não ficará na posição correta para a prensagem	5	5	2	50	Troca do nylon a cada 2 semanas	Nenhuma	5	2	2	20
		Desgastar		5	7	2	70			5	3	2	30
		Entupimento do canal da fibra	Máquina não detecta que a peça chegou no local de prensagem	3	7	2	42			3	3	2	18
Guia do encosto (06)	Garantir suporte para as peças (04) e (05)	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Pino do encosto (07)	Prender as peças (04) e (05) na peça (06)	Quebrar	A função não será executada	5	2	5	50	Nenhuma	Nenhuma	5	2	5	50
		Espanar		5	5	2	50			5	5	2	50
Mola (08)	Garantir o retorno dos pinos (07) e (23)	Quebrar	Os pinos não irão retornar	3	2	5	30	Troca da mola a cada 2 meses	Nenhuma	3	1	4	12
		Perder a elasticidade	Os pinos podem retornar parcialmente	2	3	2	12			2	2	1	4

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Suporte cilindro 100mm (09)	Garantir suporte para o cilindro DSNU-20-100	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Suporte cilindro 50mm (10)	Garantir suporte para o cilindro DSNU-20-50	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Rampa (11)	Guiar as peças até o empurrador (02)	Desgaste superficial	Travamento de peças na rampa	4	1	2	8	Nenhuma	Nenhuma	4	1	2	8
Guia esquerda (12)	Guiar o empurrador (02)	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Guia direita (13)	Guiar o empurrador (02)	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Parede guia 1 (14)	Guiar peças prensadas para a saída da máquina	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Parede guia 2 (15)	Guiar peças prensadas para a saída da máquina	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Parede guia 3 (16)	Garantir alimentação de apenas uma peça por vez no empurrador (02)	Quebrar ou rachar	A máquina fica inviável de ser utilizada	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Chutador (17)	Remover as peças prensadas do local de prensagem	Desgaste	Ejetar a peça de forma errada	4	5	2	40	Troca do nylon a cada 2 semanas	Nenhuma	4	3	1	12
Gabarito encosto 27mm (18)	Configurar máquina para peças de 27mm	Empenar	A máquina não está configurada nos padrões	5	4	7	140	Inspeção semanal dos gabaritos no laboratório de metrologia	Nenhuma	5	2	4	40
Gabarito encosto 30mm (19)	Configurar máquina para peças de 30mm	Empenar	A máquina não está configurada nos padrões	5	4	7	140	Inspeção semanal dos gabaritos no laboratório de metrologia	Nenhuma	5	2	4	40
Gabarito encosto 32mm (20)	Configurar máquina para peças de 32mm	Empenar	A máquina não está configurada nos padrões	5	4	7	140	Inspeção semanal dos gabaritos no laboratório de metrologia	Nenhuma	5	2	4	40

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Suporte do sensor indutivo (21)	Garantir suporte ao sensor indutivo 516356S4C	Quebrar, rachar ou empenar	O sensor pode ficar mal regulado não identificando peças na rampa	5	1	5	25	Nenhuma	Nenhuma	5	1	5	25
Parede ajustável da rampa (22)	Ajustar a largura da rampa de acordo com o diâmetro de peça	Empenar	A rampa não fica regulada para a largura correta	4	1	3	12	Nenhuma	Nenhuma	4	1	3	12
		Desgaste superficial	Travamento de peças na rampa	4	1	2	8	Nenhuma	Nenhuma	4	1	2	8
Pino da rampa (23)	Prender a peça (22) na rampa (11)	Quebrar	A função não será executada	5	2	5	50	Nenhuma	Nenhuma	5	2	5	50
		Espanar		5	5	2	50			5	5	2	50
Calço da rampa 27mm (24)	Configurar rampa para peças de 27mm	Empenar	A rampa não está configurada nos padrões	5	4	7	140	Inspeção semanal dos calços no laboratório de metrologia	Nenhuma	5	2	4	40
Calço da rampa 30mm (25)	Configurar rampa para peças de 30mm	Empenar	A rampa não está configurada nos padrões	5	4	7	140	Inspeção semanal dos calços no laboratório de metrologia	Nenhuma	5	2	4	40

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Calço da rampa 32mm (26)	Configurar rampa para peças de 32mm	Empenar	A rampa não está configurada nos padrões	5	4	7	140	Inspeção semanal dos calços no laboratório de metrologia	Nenhuma	5	2	4	40
Cilindro do empurrador DSNU-20-100	Realização da movimentação do empurrador	Quebrar ou flambar	Cilindro não realizará sua função	5	1	3	15	Nenhuma	Nenhuma	5	1	3	15
		Excesso de pressão	Possibilidade de danificar a peça	4	4	4	64	Inspeção do sistema de cilindros pneumáticos semanalmente	Nenhuma	4	2	2	16
		Baixa pressão	Possibilidade de não posicionar a peça corretamente										
Cilindro do empurrador DSNU-20-50	Realização da movimentação de ejeção da peça prensada	Quebrar ou flambar	Cilindro não realizará sua função	5	1	3	15	Nenhuma	Nenhuma	5	1	3	15
		Excesso de pressão	Possibilidade de danificar a peça	4	4	4	64	Inspeção do sistema de cilindros pneumáticos semanalmente	Nenhuma	4	2	2	16
		Baixa pressão	Possibilidade de não ejetar a peça										

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Sensor de posição SDBT-MS-20NL	Verificar posição do cilindro	Não funcionamento do sensor	Perda de sincronismo do equipamento	5	2	5	50	Inspeção do sistema de sensores semanalmente	Nenhuma	5	1	3	15
Sensor de proximidade 516356S4C	Verificar presença de peças na rampa	Sensor trava desativado	Empurrador não funciona e o equipamento para	3	2	5	30	Inspeção do sistema de sensores semanalmente	Nenhuma	3	1	3	9
		Sensor trava ativado	Empurrador atua sem peça posicionada	3	2	5	30			3	1	3	9
Sensor de fibra óptica BF00051	Detectar que a peça está na posição de ser prensada	Sensor trava desativado	Prensagem não ocorre e o equipamento para	3	2	5	30	Inspeção do sistema de sensores semanalmente	Nenhuma	3	1	3	9
		Sensor trava ativado	Prensagem sem peça posicionada	5	2	5	50			5	1	3	15
Parafusos M6x30	Fixação das guias e paredes ((12) a (16))	Afrouxamento	Má fixação das peças	2	1	1	2	Nenhuma	Nenhuma	2	1	1	2

Item	Função	Modo de falha	Efeito da falha	Análise atual				Ações recomendadas	Ações tomadas	Análise após as ações tomadas e recomendadas			
				S	O	D	Risco (NPR)			S	O	D	Risco (NPR)
Parafusos M6x20	Fixação da rampa (11), suportes dos cilindros ((09) e (10)) e suporte do sensor (21)	Afrouxamento	Má fixação das peças	2	1	1	2	Nenhuma	Nenhuma	2	1	1	2
Parafusos M3x16	Fixação dos prismas ((03) e (05))	Afrouxamento	Má fixação das peças	2	1	1	2	Nenhuma	Nenhuma	2	1	1	2