

FELIPE BRANDINO

**Projeto de um alimentador pneumático de matéria-prima para um centro de
usinagem três eixos**

Guaratinguetá - SP
2019

Felipe Brandino

**Projeto de um alimentador pneumático de matéria-prima para um centro de
usinagem três eixos**

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

Orientador: Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves

Guaratinguetá - SP
2019

B818p	Brandino, Felipe Projeto de um alimentador pneumático de matéria-prima para um centro de usinagem três eixos / Felipe Brandino – Guaratinguetá, 2019. 56 f : il. Bibliografia: f. 45 - 48 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019. Orientador: Prof. Dr. Manoel Cleber de Sampaio Alves 1. Usinagem. 2. Custo industrial. 3. Válvulas. CDU 621.9
-------	---

Luciana Máximo

Bibliotecária CRB-8/3595

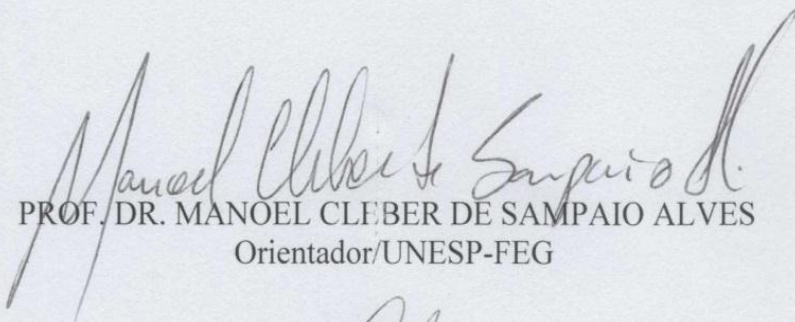
FELIPE BRANDINO

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

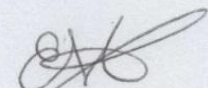
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. Marcelo Sampaio Martins
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


PROF. DR. MANOEL CLEBER DE SAMPAIO ALVES
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Msc. MARCELO ANTUNES DE PAULA
Membro Externo


Eng^a. EMANUELE SCHNEIDER CALLISAYA
Membro Externo

A todos que fizeram parte na minha formação, de modo especial, à minha esposa e à minha família que sempre me motivaram a ser a minha melhor versão todos os dias.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pois somos pó e só existimos pela sua graça inesgotável.

A minha esposa Thaís, que sempre me motivou e incentivou para que eu fosse a melhor versão de mim todos os dias.

Aos meus pais, Wânia e Ewerton que me proporcionaram o sonho de concluir o ensino superior e desde minha formação me educaram para ser um homem digno e honrado para a sociedade.

Ao professor Manoel, por me orientar neste trabalho a fim de retirar o meu máximo potencial e de forma especial agradeço por suas aulas diferenciadas na disciplina de usinagem ao qual me possibilitou exercer o trabalho em que atuo.

“Ainda que eu atravessasse o vale escuro, nada temerei,
pois estais comigo. Vosso bastão e vosso cajado são meu
amparo.”

Salmos 23:4

RESUMO

O cenário histórico do Brasil, no que tange o desenvolvimento da indústria nacional, não é um dos mais estimulantes, o país ainda não se consolidou como potência industrial diante das disparidades encontradas entre os níveis de competitividade da manufatura no âmbito global. Nesse sentido, o trabalho proposto visa apresentar uma solução satisfatória para uma indústria de usinagem que possui, em seu corpo produtivo, o processo de preparação de matéria-prima. Com isso, são adjuntas soluções possíveis para problemas como o grande tempo de parada para a alimentação de matéria prima e setup da máquina. Assim, o projeto mecânico e pneumático de um alimentador de matéria-prima para um centro de usinagem CNC três eixos, aqui estabelecido, desenvolveu-se, primeiramente, pela escolha do atuador responsável pelo aperto da morsa pneumática, uma vez que a falta de aperto da mesma ou um aperto excessivo poderiam ocasionar efeitos desfavoráveis para a peça usinada, assim, selecionou-se o componente DNCT-125-300-PPV-A este componente possibilitaria uma pressão de aperto adequada e uma condição satisfatória de operação. Em um segundo momento, a definição de um atuador responsável pela movimentação da peça usinada também se fez necessária, uma vez que este precisaria ser guiado para que não flexionasse durante sua atuação. O atuador FESTO DLGF-KF-20-800-PPSA era capaz, portanto, de minimizar os efeitos de flexão ao apresentar uma peculiaridade de sua composição pela presença de hastes auxiliares. Paralelamente a isso, a seleção de um terceiro atuador responsável por sustentar o peso da peça usinada e de um último, que vencesse a força de atrito estático e movimentasse a matéria-prima em condições específicas, deu-se através dos atuadores FESTO DSNU-20-50-PA e FESTO CDC-25-200-A-P. Por fim, a escolha das válvulas que correspondessem ao movimento de todos os atuadores aqui definidos demandou importante atenção para que, assim, o sistema funcionasse de maneira adequada e satisfizesse toda a automação proposta. Como válvula reguladora de pressão foi escolhida a FESTO LRMA-M5-QS-6, para o acionamento da sequência do circuito pneumático, a FESTO Válvula gatilho L-3-M5 e, para a identificação do fim de curso do atuador, a válvula escolhida foi a de botão FESTO K-3-M5. Desta maneira, o projeto desenvolvido e descrito neste documento foi capaz principalmente em otimizar operações de alimentação de matéria-prima com o objetivo de minimizar a ociosidade do operador e reduzir as possíveis lesões do mesmo, motivadas por esforço repetitivo.

PALAVRAS-CHAVE: Alimentador de matéria prima. Centro de usinagem três eixos. Custos de operação na usinagem.

ABSTRACT

The historical scenario of Brazil, with regard to the development of the national industry, is not one of the most stimulating, the country has not yet consolidated itself as an industrial power in the face of the disparities found between the levels of manufacturing competitiveness in the global scope. In this sense, the proposed work aims to present a satisfactory solution for a machining industry that has, in its productive body, the process of preparation of raw material. With this, possible solutions for problems such as the long downtime for feeding raw materials and machine setup are added. Thus, the mechanical and pneumatic design of a raw material feeder for a three-axis CNC machining center, established here, was developed, first, by choosing the actuator responsible for tightening the pneumatic vise, since the lack of tightening of the same or an excessive tightening could cause unfavorable effects for the machined part, thus, the component DNCT-125-300-PPV-A was selected. This component would allow an adequate tightening pressure and a satisfactory operating condition. In a second step, the definition of an actuator responsible for moving the machined part was also necessary, since it would need to be guided so that it would not flex during its performance. The FESTO DLGF-KF-20-800-PPSA actuator was therefore able to minimize the effects of bending by presenting a peculiarity of its composition due to the presence of auxiliary rods. In parallel to this, the selection of a third actuator responsible for supporting the weight of the machined part and the last one, which overcame the static friction force and moved the raw material under specific conditions, was done through the FESTO DSNU-20 actuators -50-PA and FESTO CDC-25-200-AP. Finally, the choice of valves that corresponded to the movement of all the actuators defined here demanded important attention so that, thus, the system would function properly and satisfy all the proposed automation. As the pressure regulating valve, the FESTO LRMA-M5-QS-6 was chosen for the activation of the pneumatic circuit sequence, the FESTO Trigger valve L-3-M5 and, for the identification of the actuator limit switch, the valve chosen was the FESTO K-3-M5 button. In this way, the project developed and described in this document was able mainly to optimize raw material feeding operations in order to minimize operator idleness and reduce possible injuries caused by repetitive effort.

KEYWORDS: Raw material feeder. Three axis machining center. Machining operation costs.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	11
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	12
3.1	A INDÚSTRIA BRASILEIRA	13
3.2	CUSTOS COM A SAÚDE DO TRABALHADOR	13
3.3	CONCEITOS GERAIS DE USINAGEM.....	15
3.3.1	Operação de fresamento	15
3.3.2	Centros de usinagem	16
3.4	AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA	17
3.4.1	Componentes de um circuito pneumático	17
3.4.1.1	Compressores	18
3.4.1.2	Atuadores pneumáticos.....	19
3.4.1.3	Válvulas	20
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1.	DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES.....	29
4.1.1	Dimensionamento de atuadores	29
4.1.2	Seleção de válvulas	32
5	RESULTADOS	34
6	CONCLUSÃO.....	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – FICHA TÉCNICA	48

1 INTRODUÇÃO

O cenário atual de qualquer indústria passa, diariamente, por melhorias de processos, a fim de buscar aumento na produtividade. Seja através da execução de tarefas com menor tempo de *setup*, diminuição de paradas para alimentação do equipamento, melhor exequibilidade e/ou garantia de qualidade e robustez de parâmetros do ciclo produtivo, o objetivo principal de qualquer contexto industrial é garantir uma melhor eficiência na produção.

A melhoria de processos produtivos e, conseqüentemente, a redução do custo de operação são uma necessidade para a manutenção da competitividade de uma empresa. Neste sentido, a manufatura avançada, a integração da informação, por meio de sistemas inteligentes, e a comunicação entre máquinas e processos são ferramentas que possibilitam atingir um alto grau de eficiência.

Assim, a melhoria de tempos de execução e garantia de qualidade fornecida se tornam imprescindíveis para competição de preços com o mercado externo, sem reduzir valor do produto e, com isso, a busca por um diferencial no mercado se torna de extrema importância para garantia de margens interessantes de lucro, além de aumentar a eficiência do processo produtivo.

Apesar de óbvia, essa tão sonhada melhoria distancia-se da realidade do cotidiano de inúmeras empresas no cenário atual brasileiro. Isso porque mudanças significativas nos modos de produção e no valor de faturamento derivam de incentivos ao mercado e do fomento de novas pesquisas.

É importante salientar que a evolução do setor fabril para a chamada “indústria 4.0” busca, a toda maneira, integrar processos e máquinas, de forma que interferências sejam cada vez mais raras. Com isso, foi desenvolvida, a partir das demandas encontradas no contexto da indústria nacional e das novas perspectivas motivadas pelos avanços tecnológicos, uma solução para uma empresa especialista em usinagem, que figura um recorte da atual situação do âmbito da manufatura e das possíveis superações das necessidades encontradas no contexto real de produção.

De forma correlacionada, não secundária, e para tanto de importante valor, está na saúde do trabalhador imerso neste universo debilitado. As despesas geradas aos cofres públicos para o pagamento de benefícios aos trabalhadores afastados, como os auxílios-doença, e os prejuízos calculados pelas horas inutilizadas pela falta destes no ambiente de trabalho, formam um montante considerável de capital mal administrado. Esta situação contribui para a

falta de injeção monetária em incentivo a pesquisas que possibilitariam a superação das necessidades da segurança do trabalho, de certa forma, agravando a situação conservadora da indústria nacional e do avanço da manufatura a passos lentos.

O presente trabalho visa apresentar um projeto de melhoria de processo, capaz otimizar operações de alimentação de matéria-prima, de minimizar a ociosidade do operador e reduzir as possíveis lesões do mesmo, motivadas por esforço repetitivo.

2. OBJETIVOS

O Objetivo geral do presente trabalho foi elaborar um projeto mecânico e pneumático de um alimentador de matéria-prima para um centro de usinagem CNC três eixos.

Como objetivos específicos têm-se:

- Reduzir o tempo de paradas para a alimentação de matéria-prima, assim como, diminuição no tempo de *setup* da máquina;

Como objetivos secundários

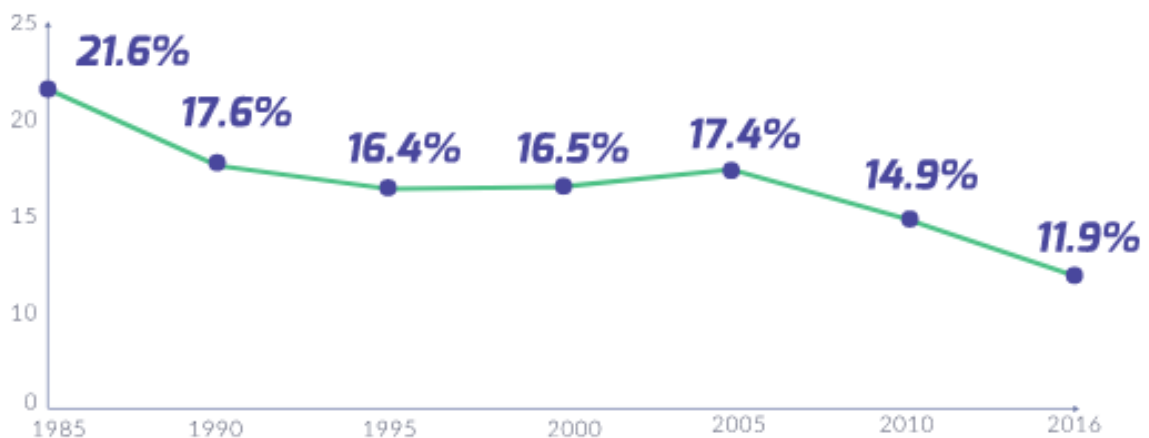
- Possibilidade de redução de lesões por esforço repetitivo no operador;
- Diminuição de ociosidade do operador;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A INDÚSTRIA BRASILEIRA

Historicamente o Brasil, não é um país focado em desenvolvimento da indústria nacional. Segundo o Ministério da indústria, comércio e serviços (2019) a participação da indústria de transformação no PIB, que já havia atingido mais de 20% em meados da década de 1980, reduziu-se para próximo de 11%, fruto de mudanças na estrutura produtiva do país e dos novos modelos de negócios trazidos pela disrupção inovação tecnológica que não foram acompanhadas. Conforme a figura 1 há uma diminuição na atuação do setor industrial na participação do PIB em cerca de 10% no período.

Figura 1 – Participação do setor de transformação industrial no PIB de 1985 a 2016.



Fonte: Ministério da indústria, comércio e serviços (2019).

A partir de 1980 seguiu-se em vários países da América Latina um período caracterizado como “década perdida”, em que a economia apresentou baixo dinamismo, com reduções do produto industrial, e altas taxas de inflação.

Segundo Menezes Filho, Campos e Komatsu (2014), a década de 1980 foi marcada pela redução da produtividade. O que significa que há um processo de desindustrialização no Brasil desde então, fato ocorrido por uma série de programas fomentados pelo governo a fim de favorecer outros setores da economia, como o setor do agronegócio por exemplo. Com isso, a indústria nacional perdeu força na geração de riquezas para o país e é certo que esta falta de incentivo, neste grandioso setor da economia, impactou negativamente na competitividade nacional.

Segundo o Ministério da indústria, comércio e serviços (2019) o Índice Global de Inovação busca avaliar critérios de *performance* de diferentes países no quesito inovação. O índice avalia quesitos como crescimento da produtividade, investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), educação, exportações de produtos de alta tecnologia, dentre outros tópicos.

Conforme evidenciado na figura 2, o Brasil ocupa hoje o 69º lugar no Índice global de competitividade da manufatura. O que indica que países com mercados muito menores, mas focados em desenvolvimento de tecnologias e aprimoramento da indústria, apresentem um resultado de destaque no ranking, como é o caso da Coreia do Sul, em que seu índice de produtividade corresponde a um pouco mais de uma vez e meia do Brasil.

Figura 2 – Índice global de competitividade da manufatura de 2017

<i>Posição</i>	<i>País</i>	<i>Pontos</i>
1º	China	100 pts
2º	EUA	99,5 pts
3º	Alemanha	93,9 pts
4º	Japão	80,4 pts
5º	Coreia do Sul	76,7 pts
6º	Reino Unido	75,8 pts
69º	Brasil	46,2 pts

Fonte: Ministério da indústria, comércio e serviços (2019).

3.2 CUSTOS COM A SAÚDE DO TRABALHADOR

Segundo Andreatta (2018), em 2017 foram concedidos 22.029 auxílios para tratamento de doenças relacionadas a posturas inadequadas e lesões em locais de trabalho. As chamadas Lesões por Esforço Repetitivo e o Distúrbio Osteomuscular Relacionado ao Trabalho (LER / DORT) representam 11,19% de todo os benefícios concedidos por afastamento do trabalho acima de 15 dias.

Segundo Andreatta (2018), LER / DORT geram incapacidade laboral temporária ou permanente, resultantes da super utilização das estruturas anatômicas do sistema musculoesquelético e da falta de tempo de recuperação.

Segundo dados da Revista Cipa (2019) dentre as doenças, as que mais se destacam no quadro de afastamento, figura 3, são lesões no ombro, sinovite (inflamação em uma articulação), tenossinovite (inflamação ou infecção na bainha que cobre o tendão) e mononeuropatia dos membros superiores (lesão no nervo periférico).

De acordo com Andreatta (2018), é importante salientar que os auxílios-doença só são concedidos após 15 dias de afastamento do trabalho. Com isso, estima-se que mais de 2 milhões de horas de trabalho sejam inutilizadas para geração de riqueza, custando ainda aos cofres públicos o pagamento dos benefícios aos trabalhadores afastados.

Figura 3 – Benefícios concedidos pelo INSS em 2017.

As 20 principais causas de afastamento por adoecimento no trabalho em 2017	Total
Dorsalgia	12.073
Lesões do ombro	10.888
Sinovite e tenossinovite	4.521
Mononeuropatias dos membros superiores	3.853
Outros transtornos de discos vertebrais	3.221
Reações ao "stress" grave e transtornos de adaptação	3.170
Transtornos internos dos joelhos	2.365
Outros transtornos ansiosos	2.310
Episódios depressivos	2.189
Outras entesopatias	1.620
Outros transtornos articulares não classificados em outra parte	1.472
Hérnia inguinal	1.457
Transtorno depressivo recorrente	797
Varizes dos membros inferiores	537
Hérnia umbilical	456
Outros transtornos dos tecidos moles, não classificados em outra parte.	415
Gonartrose (artrose do joelho)	410
Transtorno afetivo bipolar	364
Transtorno dos discos cervicais	317
Tuberculose respiratória, com confirmação bacteriológica e histológica	232
Total de benefícios concedidos por adoecimentos no trabalho	64.050

Fonte: Revista Cipa (2019).

3.3 CONCEITOS GERAIS DE USINAGEM

Na indústria, existem inúmeros processos capazes de transformar a matéria-prima em peças complexas, sendo a usinagem um dos mais utilizados. Através dela, é possível usinar diversos tipos de materiais, sejam eles metais, polímeros, cerâmicos e até compósitos.

Segundo Chiaverini (1986), na usinagem, uma porção de material é retirada da matéria-prima através da ação da ferramenta de corte, chamado de cavaco.

Segundo Ferraresi (1977), a operação da usinagem transforma a matéria-prima a fim de transformar sua forma com dimensões e acabamentos desejados através da retirada de matéria-prima.

3.3.1 OPERAÇÃO DE FRESAMENTO

O fresamento é uma das operações mais utilizadas na usinagem, isso porque, nesta operação, a peça é transladada e a ferramenta de corte rotaciona no seu próprio eixo com arestas multi cortantes, garantindo superfícies prismáticas.

Diniz, Coppini e Marcondes (2013) elencam as principais características da usinagem por fresamento, sendo que a ferramenta, denominada como fresa, possui superfícies cortantes dispostas radialmente, as quais, com o movimento de avanço da mesa da fresadora aliado com a rotação da ferramenta, possibilitam o corte do material e dando-lhe forma prismática.

Figura 4 – Funcionamento de um centro de usinagem



Fonte: Produção do próprio autor

3.3.2 CENTROS DE USINAGEM

Em busca de uma maior produtividade na usinagem, os centros de usinagem com comando numérico computadorizado (CNC) visam aperfeiçoar o processo de fabricação de peças com demanda elevada ou também em condições complexas de operação.

Segundo Machado (2009), uma máquina CNC executa uma dada operação através de um código numérico capaz de movimentar a ferramenta num dado sistema de coordenadas cartesianas, essa sequência lógica garante qualquer perfil complexo previamente programado.

Segundo Alves (2016) máquinas CNC são responsáveis por automatizarem a fabricação de peças através do uso das ferramentas de corte, em contrapartida necessitam de um investimento inicial maior do que uma máquina convencional. Entretanto, quando um processo é bem formatado, seu investimento é rapidamente recuperado, pois um centro de usinagem possibilita usinar, em um tempo menor, a fabricação de peças mais complexas. Essa capacidade de repetitividade de um determinado produto apresenta maiores condições de garantir alta precisão tanto de tolerâncias dimensionais, quanto de posição e de acabamento diferenciado, por fim possibilitando uma maior produtividade.

De acordo com Alves (2016) em uma máquina convencional, o operador é seu principal elemento, visto que cabe a ele a melhor estratégia de operação, decisão pelos melhores parâmetros de corte como rotação, velocidade de corte e profundidade de corte. Vale salientar que a produção de um item está a cargo, principalmente, do fresador e de sua capacidade de entendimento de desenhos, podendo muitas vezes ocorrer um erro por falta de experiência ou falta de entendimento na documentação.

Conforme Alves (2016) em uma máquina CNC é entregue ao operador uma sequência de ferramentas, condições de fixação e o próprio programa CNC. Com isso, a operação é executada com menos interferência do operador, pois a estratégia de usinagem e os parâmetros são definidos pelo setor de engenharia, a fim de garantir todos os requisitos de desenhos e dimensões, além de diminuir desgaste de ferramenta, garantir aumento de produtividade e redução dos custos de produção.

Figura 5 – Centro de usinagem CNC.



Fonte: Adaptado catálogo ROMI (2019).

3.4 AUTOMAÇÃO PNEUMÁTICA

Segundo Fialho (2007) a automação permite executar diversas atividades monótonas que poderiam causar uma fadiga excessiva no operador, melhorando assim o rendimento da operação. É possível exemplificar tal situação com uma atividade extremamente cansativa como a dobra de chapas de alumínio. Um sistema cíclico é capaz de produzir inúmeros ciclos sem grandes interrupções, garantindo assim um desempenho melhor para o processo.

Com isso, atividades como essas de serviços monótonos, cansativos e repetitivos tornam-se imprescindíveis à substituição do trabalho humano por sistemas inteligentes programáveis capazes de operarem com supervisão mínima do homem, sendo possível diminuir custos e aumentando a eficiência da operação. (FIALHO, 2007)

3.4.1 COMPONENTES DE UM CIRCUÍTO PNEUMÁTICO

Para exemplificar alguns dos componentes de um circuito pneumático, é imprescindível o entendimento de dois vocábulos que serão por diversas vezes usados neste texto.

Automatismos são os meios, os instrumentos, máquinas, processos de trabalho, ferramentas ou recursos capazes de potencializar, reduzir, ou até mesmo eliminar a ação humana dentro de um determinado processo produtivo, objetivando com isso, uma otimização e consequentemente uma melhoria de produtividade.

Já o vocábulo automação significa a dinâmica organizada dos automatismos, ou seja, suas associações de uma forma otimizada. (FIALHO, 2007, v. 1, p.15)

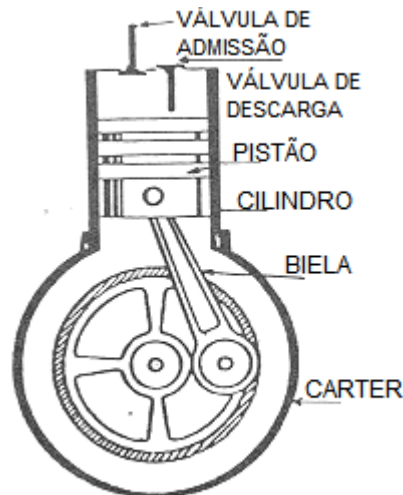
Com isso, é possível compreender alguns automatismos utilizados na automação de processos, verificando seu uso e seleção.

3.4.1.1 COMPRESSORES

Segundo Fialho (2007) para que os componentes pneumáticos funcionem corretamente, é necessária uma fonte de ar a uma pressão constante e estável. Este é o principal papel dos compressores.

Existem diversos tipos de máquinas que comprimem o ar, os mais utilizados são os compressores rotativos.

Figura 6 – Funcionamento de um compressor



Fonte: Fialho (2007).

Segundo Fialho (2007) na etapa de admissão, o pistão se movimenta no sentido contrário ao cabeçote e a válvula de admissão está aberta, fazendo com que há uma diminuição de pressão dentro do cilindro a fim de facilitar a entrada de ar. As válvulas se fecham e o cilindro atinge seu ponto morto inferior (PMI), com isso o sentido de movimento é invertido dando início à etapa de compressão, de modo que a pressão aumente dentro da camisa até que a válvula de descarga se abra, iniciando a etapa de descarga no seu ponto de maior compressão na região de ponto morto superior (PMS). O pistão evacua o ar comprimido e, com a diminuição da pressão, a válvula de descarga se fecha, dando início ao ciclo de expansão. Neste ponto, o pistão inverte novamente seu movimento e se abre a válvula de admissão voltando para etapa inicial do ciclo.

Conforme Fialho (2007) para selecionar um compressor adequado, devem-se observar algumas características importantes como o volume de ar fornecido, a pressão de regime que será fornecida para toda a rede e a pressão de trabalho que será necessária para o funcionamento de diversos automatismos, sendo esta menor que a última, utilizando redutores e válvulas, a fim de que todos os componentes operem em condições seguras de funcionamento. Por fim, e não menos importante, deve-se atentar à forma de acionamento seja ela por motor elétrico ou motor a combustão.

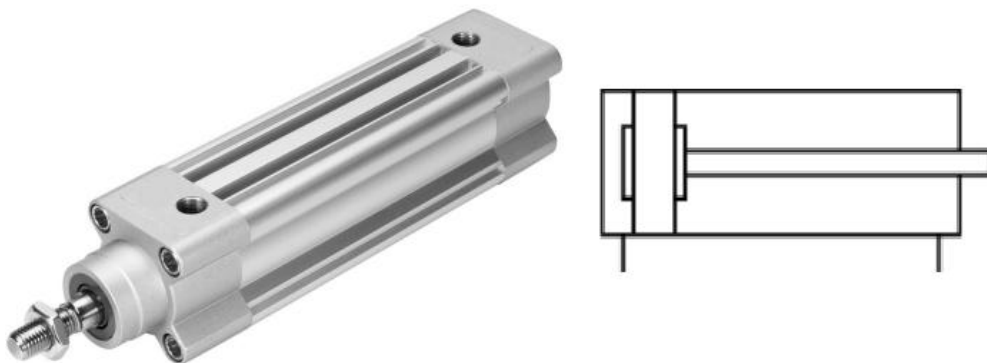
3.4.1.2 ATUADORES PNEUMÁTICOS

Segundo Fialho (2007) os atuadores pneumáticos são equipamentos capazes de transformar a energia armazenada na rede de alimentação, na forma de pressão, em energia cinética através de movimentos lineares ou rotativos.

Existem, basicamente, três tipos de atuadores: os pneumáticos lineares, os pneumáticos lineares com amortecimento e os giratórios.

Segundo Fialho (2007) os atuadores pneumáticos lineares possuem uma carcaça cilíndrica tendo, em um de seus extremos, uma região fechada que possui uma conexão para passagem de ar, tanto para sua entrada ou saída. Na região oposta, também possui uma tampa, a qual possui um orifício que agrega um êmbolo com vedação que, através do efeito da ação do ar, pode se expandir executando movimento. Estes automatismos podem ser constituídos com retorno por mola ou, também, por dupla ação, figura 7. Neste caso, em ambas as extremidades do atuador, há conexões responsáveis tanto pela admissão, quanto pela exaustão do ar dentro do cilindro, fazendo assim com que o êmbolo se mova em ambos os sentidos.

Figura 7 – Atuador pneumático de dupla ação



Fonte: Adaptado catálogo FESTO (2019)

Segundo Fialho (2007) os atuadores pneumáticos lineares com amortecimento são dispositivos que, em seu fim de curso, apresentam regiões capazes de amenizar os efeitos das elevadas velocidades de avanço ou retorno. Diminuem-se, assim, os impactos gerados por esses movimentos que reduzem a vida útil do automatismo. Na figura 8, é apresentada a simbologia utilizada em circuitos pneumáticos conforme norma NBR 8897.

Figura 8 – Simbologia dos atuadores lineares

	Retorno por mola		Dupla ação com duplo amortecimento fixo
	Avanço por mola e retorno por ar comprimido		Dupla ação com amortecimento dianteiro variável
	Retorno por gravidade		Dupla ação com amortecimento traseiro variável
	Dupla ação		Dupla ação com duplo amortecimento variável
	Dupla ação com amortecimento dianteiro fixo		Haste dupla
	Dupla ação com amortecimento traseiro fixo		Haste dupla com duplo amortecimento variável

Fonte Adaptado ABNT 8897 (1985)

3.4.1.3 VÁLVULAS

Segundo Fialho (2007) as válvulas são equipamentos que, ao receberem um impulso pneumático, mecânico ou elétrico, reagem permitindo que haja fluxo de ar entre os componentes de maneira ordenada. Dessa forma, os movimentos dos automatismos se comportam de maneira sincronizada a fim de garantir um processo automatizado.

Na pneumática, o tipo mais utilizado é o carretel deslizante, o qual executa movimentos de translação.

As válvulas de controle direcional podem possuir diversos formatos dependendo do seu fabricante, mas o seu funcionamento basicamente é o mesmo.

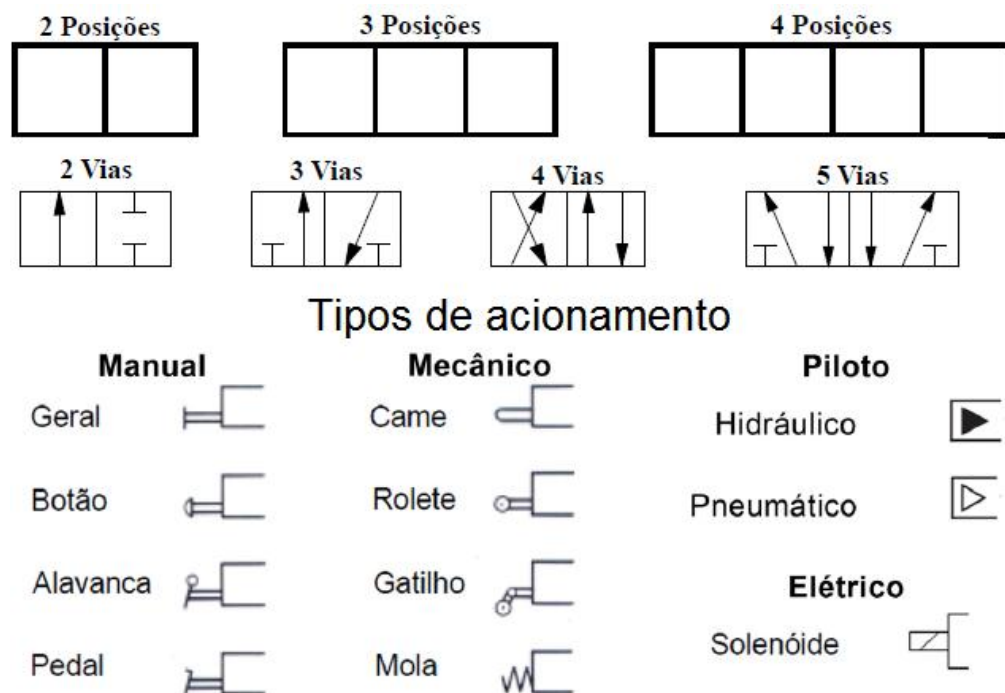
De acordo com Fialho (2007) existem as válvulas de uma via e dois orifícios, as quais possuem uma entrada e saída e seu fluxo pode ser interrompido por um botão, como exemplo

de um sistema de segurança com botão de emergência que interrompe instantaneamente o fluxo de ar na linha.

Uma variação deste tipo de válvula é com um carretel na ponta e retorno por mola, o qual, com o deslocamento positivo de um atuador, interrompe o fluxo de ar na seção e retorna através do movimento elástico da mola.

Há também as válvulas de distribuição do tipo 4 vias e 5 orifícios, as quais são muito utilizadas com atuadores de duplo efeito, em que, na posição central da válvula, o atuador não se move; já na posição A, o atuador se move positivamente para a direita e, em contrapartida, a válvula na posição B faz com que o atuador se desloque no sentido contrário. Isto é o que possibilita usá-las em muitos processos nos quais precisa-se de um movimento bilateral como o descrito acima. (FIALHO, 2007)

Figura 9 - Simbologia das válvulas direcionais



Fonte Adaptado ABNT 8897 (1985)

Uma importante válvula para um sistema pneumático é a de fluxo unidirecional. Ela permite que o ar se mova somente para uma direção.

Esse sistema é muito utilizado para situações em que se necessite segurar cargas, por exemplo. Como o fluxo é unidirecional, seu sistema impede que o componente desloque em

um sentido não desejado em uma operação, garantindo assim que o atuador mova-se somente em uma direção e, se necessário, segure a carga prevista até que a operação seja concluída.

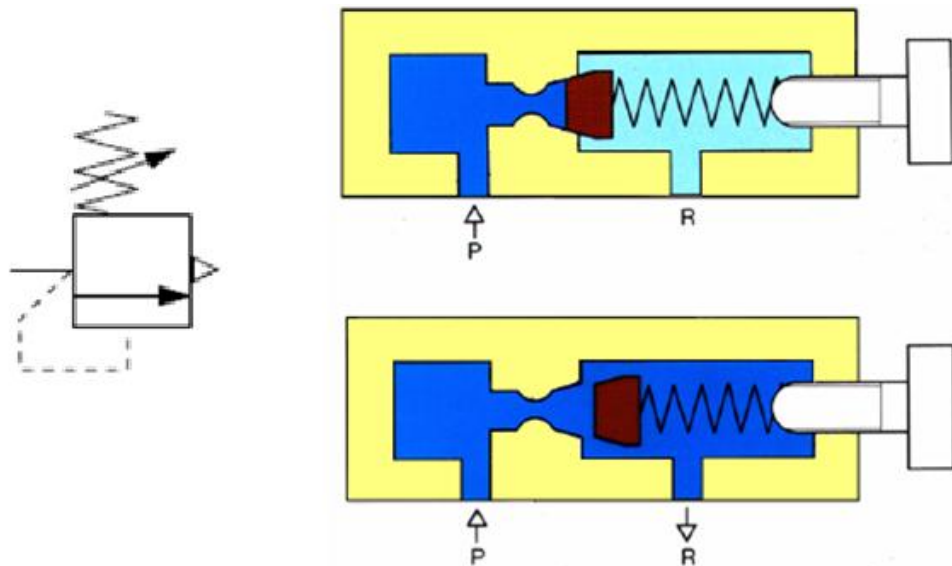
Figura 10 - Válvula unidirecional



Fonte: Adaptado catálogo FESTO (2019).

Há, também, as válvulas controladoras de pressão, as quais apresentam um papel importantíssimo para o circuito pneumático, uma vez que regulam a pressão de entrada nos componentes a fim de garantir a segurança durante seu funcionamento. (FIALHO, 2007)

Figura 11 – Válvula controladora de pressão



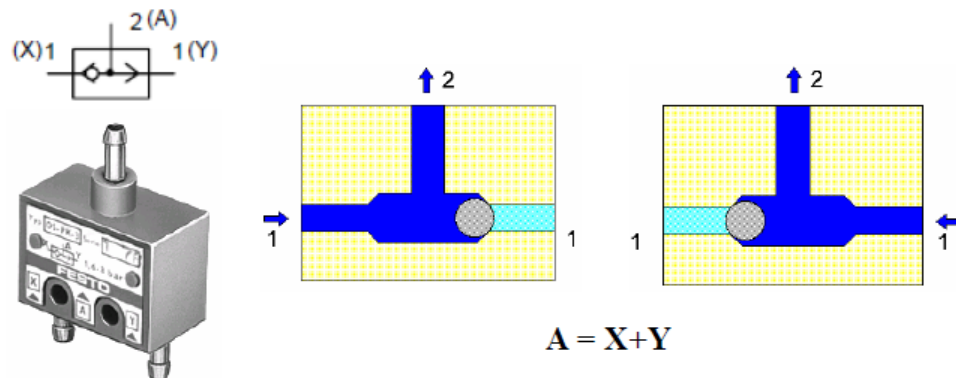
Fonte Adaptado ABNT 8897 (1985).

Por fim, as duas últimas válvulas descritas nesta seção são as de sequenciamento lógico. Esses componentes são fundamentais para se desenvolver um sequenciamento lógico em um sistema pneumático.

A primeira, denominada como válvula seletora, também descrita pela sua função lógica “OU”, exerce o papel de permitir fluxo somente em uma das regiões previamente

selecionadas. Com um fluxo inicial saindo de X para A, permite que a esfera seletora se desloque para a terceira entrada, bloqueando a mesma. No fim da operação, a mesma estaciona na região previamente utilizada e, para se converter o sinal, deve-se gerar o sinal a partir da região Y, deslocando o seletor para a segunda entrada. (FIALHO, 2007)

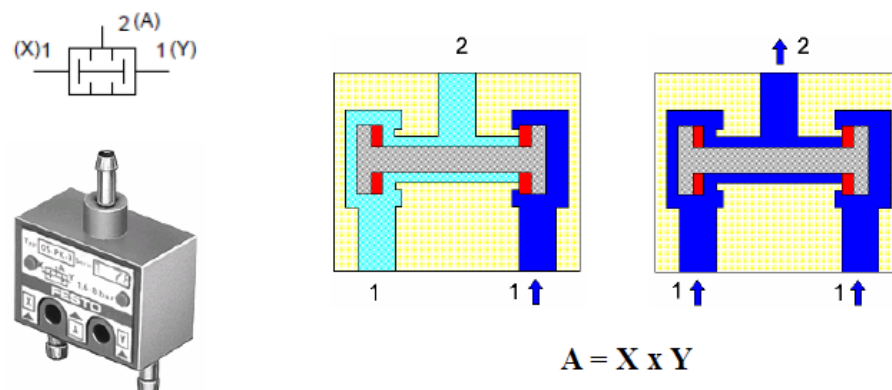
Figura 12 – Válvula Seletora (função lógica OU)



Fonte: Adaptado catálogo FESTO (2019)

Por fim, mas não menos importante, esta a válvula de simultaneidade, a este componente é atribuída a função lógica “E”. Esta válvula seletora, a exemplo da anterior, possui também três entradas, mas difere do seu funcionamento, no qual, na entrada que recebeu sinal, seu fluxo de ar é bloqueado. Sendo assim, a outra entrada está livre para a passagem de ar, em caso de coincidente, fica estabelecido o último sinal. (FIALHO, 2007)

Figura 13 – Válvula Seletora (função lógica OU)



Fonte: Adaptado catálogo FESTO (2019)

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o presente estudo, avaliou-se uma empresa de usinagem focada em conexões e em sua maioria de ligas de alumínio.

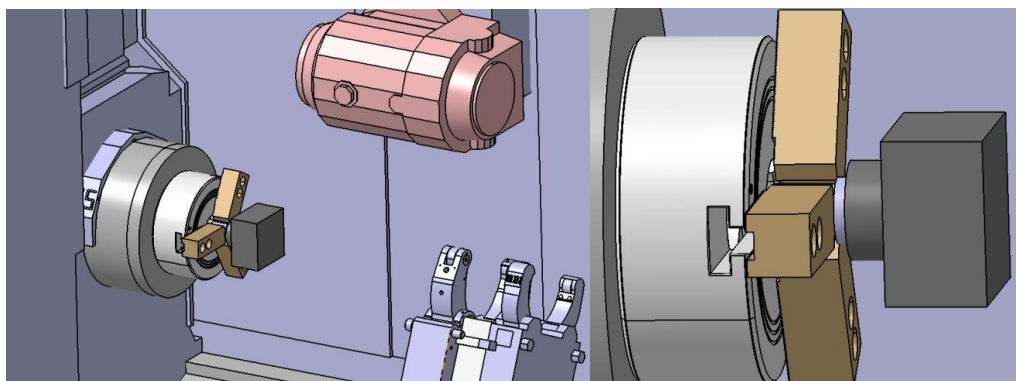
A empresa possui diversas máquinas capazes de fabricar diferentes tipos de peças e com estratégias de usinagem bem distintas, sendo elas, tornos e fresadoras convencionais, tornos CNC, centros de usinagem três eixos e quatro eixos, retífica e multitarefas verticais e horizontais.

Para a geração de lucro crescente e a otimização dos recursos disponíveis a escolha do processo produtivo precisa ser bem definida capaz de contemplar importantes quesitos como complexidade da peça, forma, sendo ela cilíndricas ou prismáticas, material, dureza, tolerâncias dimensionais e geométricas e de acabamento.

Sabendo disso, as máquinas que mais geram valor para uma empresa de usinagem são as multitarefas. Esses equipamentos diminuem o fluxo produtivo visto que as mesmas são capazes de torner, fresar, roscar e mandrilhar, sendo inclusive possível executar mais de um processo simultaneamente. É importante notar que essas máquinas operam de maneira a otimizar o processo produtivo, visto que com pouquíssimas fases é possível usinar peças muito complexas e eliminar problemas demasiados como batimento em relação a diâmetros correlacionados e furos de pinos guias, os quais necessitam de uma posição precisa.

Em contra partida, por se tratar de uma máquina capaz de usinar em diferentes condições de uso é preciso dar-se valor a fixação da matéria prima. Visando atender a produção de peças produzidas em uma multitarefa cinco eixos de eixo horizontal, é importante garantir o maior acesso possível da ferramenta de corte para usinagem do material, a figura 14 demonstra a fixação de uma peça nesta máquina.

Figura 14 – Fixação da matéria prima na máquina multitarefa horizontal.



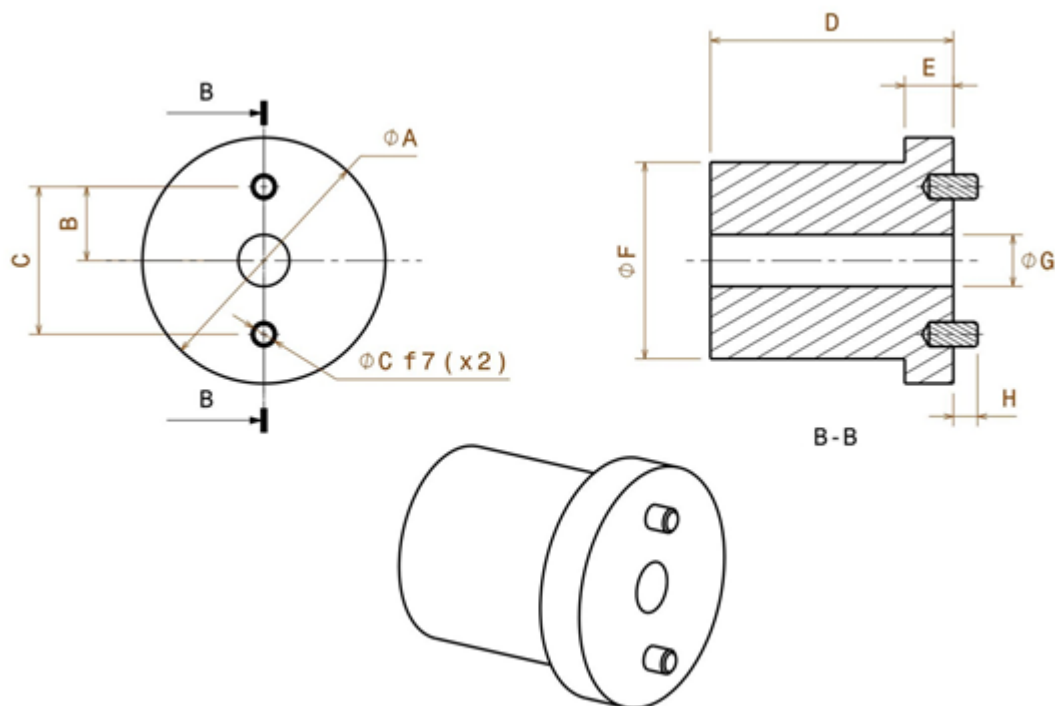
Fonte: Produção do próprio autor.

Como é possível verificar, a peça necessita ser afastada o máximo possível da placa giratória a fim de garantir uma distância de segurança para a ferramenta de corte evitando o risco de colisão, além disto, é possível maior área de acesso para a sua usinagem.

Com isso, foi desenvolvido um dispositivo capaz de executar essas condições de operação e, assim, foi facilitada a padronização da montagem de castanhas na máquina, pois todas as peças são preparadas para receber este dispositivo de fixação.

Este dispositivo apresenta um corpo cilíndrico ao qual a castanha será fixada na cota “ $\varnothing F$ ”, há um segundo diâmetro, cota “ $\varnothing A$ ” o qual é responsável por afastar a peça da placa giratória e também ser uma referência, no qual todas as peças possuirão um mesmo zeramento, visto que, a peça estará concêntrica à placa garantindo zeramento de X0 e Y0 a uma distância fixa Z0, garantido pela cota “E” de espessura, a fixação da peça + dispositivo é garantida por um parafuso que é introduzido no “ $\varnothing G$ ”, por fim, a posição da peça em relação ao dispositivo é garantida por dois pinos de fixação dispostos pela cota “C”, ver figura 15.

Figura 15 - Dispositivo de fixação.

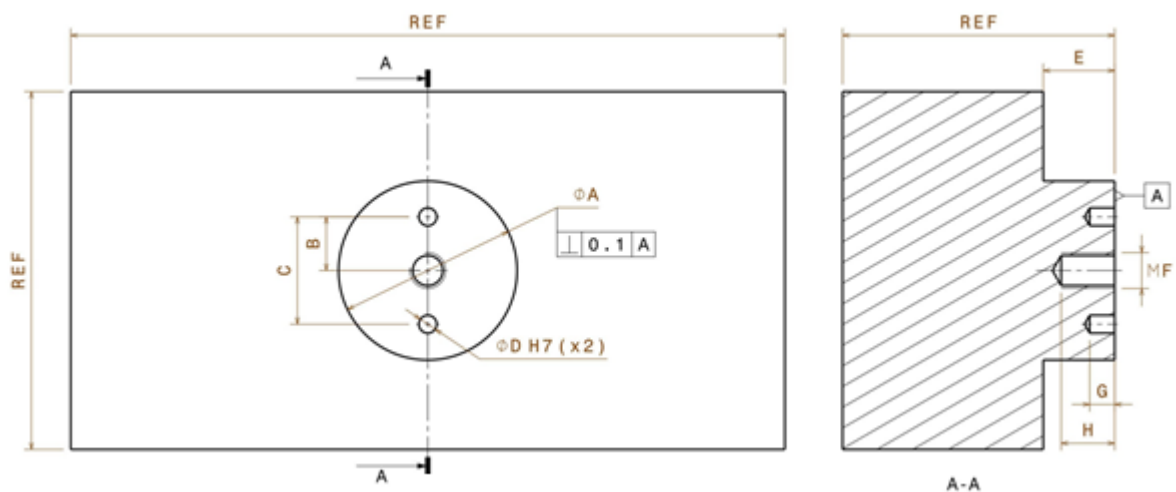


Fonte: Produção do próprio autor

Sabendo disso, é necessário preparar a matéria prima a fim de garantir as condições necessárias para fixação da peça no dispositivo de fixação. É importante informar que nesta operação não necessita de tolerâncias dimensionais exageradamente fechadas, é plausível que todas as medidas respeitem a tolerância da ordem da IT14, presentes na NBR ISO 2768. As

características críticas dessa operação estão na perpendicularidade do “ØA”, com a face usinada, “datum A”, a posição dos pinos garantidos por coordenada máquina e o diâmetro de acoplamento dos pinos, cota “ØD”, os quais são executados por um alargador no qual garante ajuste fino de tolerância H7, conforme figura 16.

Figura 16 – Resultado da operação de preparação executada em centro de usinagem CNC três eixos



Fonte: Produção do próprio autor

Desta maneira, o processo produtivo contemplado por essas especificações do anteprojeto fica estabelecido da seguinte maneira:

- I. Corte de matéria prima
- II. Preparação em centro de usinagem 3 eixos
- III. Usinagem em máquina multitarefa 5 eixos
- IV. Inspeção

Cabe ponderar que a posição da peça pode variar em relação às dimensões da matéria prima e assim cabem algumas considerações:

- Não há necessidade de esquadrear a matéria prima, visto que as dimensões da matéria prima absorvem qualquer imperfeição no corte.
- Em relação à largura, o diâmetro usinado pode estar deslocado $\pm 1,0$ mm, com isso é possível prender o material na morsa pneumática.

- Já em relação ao comprimento, maior medida, o diâmetro pode estar deslocado $\pm 2,0$ mm, com isso é possível referenciar um batente a fim de posicionar a peça na morsa em relação ao zeramento no eixo Y.
- Em todas as preparações o Z0 estará na base da matéria prima, isso garante que no faceamento todas as peças possuem a mesma espessura.

Tendo esta ciência, a máquina utilizada para a possível execução desta preparação foi a máquina Romi D800, figura 17.

Figura 17 – Centro de usinagem três eixos Romi D800



Fonte: Catálogo Romi (2019).

A máquina ao qual foi desenvolvido o projeto apresenta características interessantes de serem levadas em consideração para o dimensionamento do alimentador de matéria prima. A Romi D800 é um equipamento de dimensões intermediárias e de excelente precisão.

Há um adendo relevante na escolha desta máquina, visto que as máquinas desenvolvidas pelas indústrias Romi são nacionais, o que facilita no seu reparo, possuindo centros de manutenção em praticamente todo o Brasil.

Na figura 18, estão descritas algumas características importantes da máquina Romi D800.

Figura 18 – Características da Máquina Romi D800

Características Standart Romi D800		
Comando CNC	Fanuc Oi-MD	Siemens 828D
Motor principal (c.v.)	20	22,4
Cabeçote (RPM)	8.000	10.000
Avanço rápido - eixos X, Y e Z (m/min)	30	
Avanço corte programável (m/min)	20	
Tempo de troca de ferramenta (s)	4,7	
Capacidade de ferramentas	30	
Tipo trocador de ferramentas	Braço automático	
Superfície da mesa (mm)	914 x 500	
Curso eixo X (mm)	800	
Curso eixo Y (mm)	530	
Curso eixo Z (mm)	580	
Altura (mm)	2.700	
Área ocupada - frente x lateral (mm)	2.600 x 2.280	
Sistema de refrigeração de corte	5 bar - 18 L/min	
Porta principal com trava elétrica de segurança		
Sistema de refrigeração interna do cabeçote		
Equipamentos opcionais Romi D800		
Porta automática		
Mesa giratória - 4° eixo		

Fonte: Adaptado catálogo Romi (2019)

Com base nesta empresa especialista em usinagem obteve-se alguns dados para o projeto. O mecanismo visa atender uma demanda mensal de 1.500 itens por mês produzidos em três turnos. As peças apresentam um tempo médio de operação de preparação de 12 min por peça e na média o tempo de troca para substituição da peça entre 2 a 3 minutos. Estes dados serviram como base para que pudesse ter uma noção média de qual seria o possível ganho se este equipamento fosse desenvolvido, vale ressaltar que estes dados foram obtidos do *OEE* da fábrica em questão.

Além disso, as dimensões a serem utilizadas de matéria prima são:

- Dimensões máximas: 180 mm x 100 mm x 3,0"
- Dimensões mínimas: 100 mm x 80 mm x 1,5"

Possuindo um peso máximo na maior dimensão de 15 Kg para materiais de aço e um peso mínimo na menor dimensão de 0,8 Kg em materiais de alumínio.

Para um bom funcionamento do projeto é preciso que no final dos programas CNC a mesa deva se mover para a posição de X 400,0 e Y -150,0, a ferramenta na posição de troca e por fim o código M38 que abre a porta do centro de usinagem. Esta posição foi pré determinada, pois estabelece uma condição segura entre o centro da porta do centro de usinagem.

Com isso, é dado início ao circuito pneumático.

Para desenvolver o trabalho foi utilizado o software Catia V6®, o qual é uma poderosa ferramenta de projetos que possui um sistema parametrizado o que possibilita fazer ajustes durante a construção do projeto, onde o sistema é facilmente revisado, o que torna um ambiente muito amigável para desenvolvimentos de equipamentos como o tal.

Em toda a estrutura do alimentador de matéria-prima foi utilizado o material Metalon 20 mm x 20 mm e 1,5 mm de espessura, este material foi selecionado devido a suas propriedades mecânicas razoavelmente satisfatórias para conjuntos estruturais e devido ao seu baixo custo, sendo que uma barra de 6 m de comprimento apresenta valor em média de R\$37,00.

Para a fila de materiais foi selecionado chapas de alumínio 1100H14 de 2 mm de espessura, estas chapas apresentam um custo benefício muito interessante, visto que seu acabamento está de pleno acordo para que o material deslize sobre a estrutura.

3.5 DIMENSIONAMENTO DE COMPONENTES

A seguir serão dimensionados alguns dos componentes utilizados para o projeto do alimentador de matéria-prima para um centro de usinagem três eixos.

3.5.1 DIMENSIONAMENTO DOS ATUADORES

O primeiro componente a ser utilizado será o atuador responsável pelo aperto da morsa pneumática, este atuador visa exercer uma pressão capaz de fixar o material e impedir seu movimento devido a forças de usinagem estabelecidas. Além disso, a morsa pneumática precisa ser precisamente dimensionada, pois, além dos efeitos mencionados ocasionados pela falta de aperto, um aperto excessivo pode ocasionar marcas na matéria-prima e, em condições de baixa resistência da peça usinada, pode amassá-la.

Uma pressão de aperto adequada para a usinagem em geral está entre 2 MPa a 1 MPa em toda a superfície de contato do mordente. Já uma condição satisfatória de operação

encontra-se com 1,5 MPa, sendo que o mesmo possui dimensão de 154 mm de comprimento e 50 mm de altura. Com isso, utilizando a equação 1, temos:

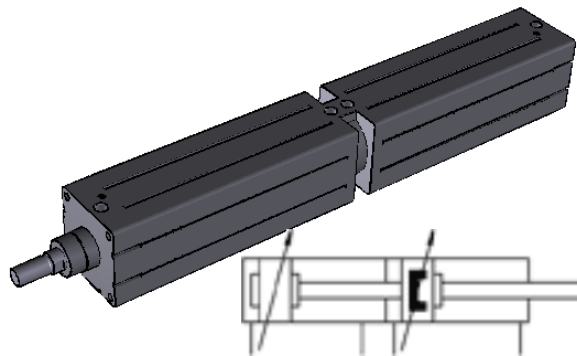
$$P = \frac{F}{A} \quad (1)$$

O que corresponde a uma força de ação no atuador pneumático de, aproximadamente, 11,6 KN. Além disso, o cilindro responsável pelo aperto precisa ter um curso de 300 mm para a morsa utilizada neste projeto e a pressão de trabalho está em 6 bar.

Com isso, o atuador pneumático selecionado foi DNCT-125-300-PPV-A, conforme figura 19.

Sua ficha técnica encontra-se no Apêndice A.

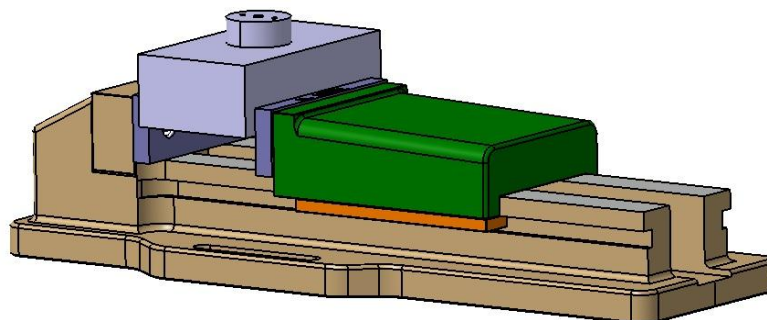
Figura 19 – Atuador FESTO DNCT-125-300-PPV-A



Fonte: Catálogo Festo (2019).

Este mecanismo será responsável pelo aperto da morsa e fixação da matéria prima e o atuador será montado internamente numa morsa de 300 mm, conforme figura 20.

Figura 20 – Morsa



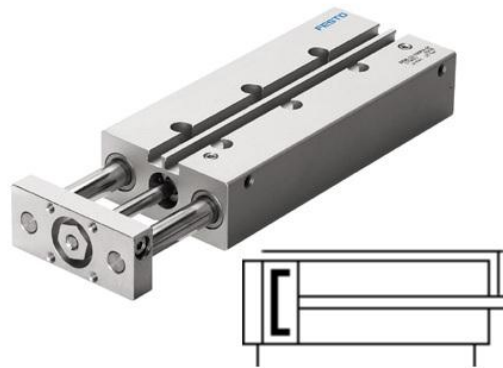
Fonte: Produção do próprio autor

O segundo atuador selecionado será responsável pela movimentação da peça usinada, o qual precisa ter um curso de 800 mm e necessita ser guiado para que não flexione durante sua atuação.

Foi selecionado o atuador FESTO DLGF-KF-20-800-PPSA, que atende satisfatoriamente as condições de operação, sendo que, em seu próprio mecanismo, há duas hastes auxiliares a fim de guiar a haste principal durante todo seu movimento para que se minimizem os efeitos de flexão, conforme figura 21.

Sua ficha técnica encontra-se no Apêndice A.

Figura 21 – Atuador FESTO DLGF-KF-20-800-PPSA.



Fonte: Catálogo Festo (2019).

O terceiro atuador selecionado necessita de um curso de 50 mm e uma força 200 N no seu retorno, responsável por sustentar o peso da peça usinada mais o mecanismo de portinhola.

Com isso, selecionou-se o atuador FESTO DSNU-20-50-P-A, figura 22.

Figura 22 – Atuador FESTO DSNU-20-50-P-A



Fonte: Catálogo Festo (2019).

O último atuador selecionado necessita movimentar a matéria-prima em 200 mm e precisa vencer a força de atrito estático entre a chapa de alumínio e o material que equivale a 1,4, equação 2.

$$F = P * \mu e \quad (2)$$

Desta maneira, o atuador deve executar uma força de 210 N no avanço para vencer o atrito estático e mover a matéria-prima sobre a esteira da fila da mesma. Por fim, o atuador selecionado é FESTO CDC-25-200-A-P que atenderá as condições de operação pré-selecionadas, figura 23.

Figura 23 – Atuador FESTO CDC-25-200-A-P



Fonte: Catálogo Festo (2019).

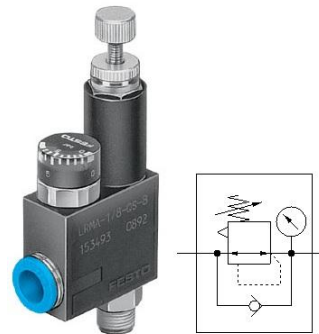
4.1.2 SELEÇÃO DE VÁLVULAS

Para que o sistema funcione de maneira adequada e satisfaça toda a automação proposta, é importantíssimo que sejam selecionadas muito bem as válvulas que corresponderam a todo o movimento dos atuadores descritos na seção anterior.

Posto isto, uma importante válvula utilizada será a válvula reguladora de pressão. Devido ao sistema comportar diversas dimensões de materiais, não há um curso definido, ou seja, é possível que durante uma operação o atuador tenha limitado seu movimento pela maior dimensão de material proposta, por exemplo. Neste caso, para que o sistema não colapse, é necessário que o fluxo de ar seja remanejado a fim de garantir a pressão de aperto necessária, sem perigo de ocorrer alguma explosão.

Desta maneira, a válvula necessária para desempenhar essa função no circuito é a válvula reguladora de pressão FESTO LRMA-M5-QS-6, figura 24. Seus dados técnicos se encontram no apêndice A.

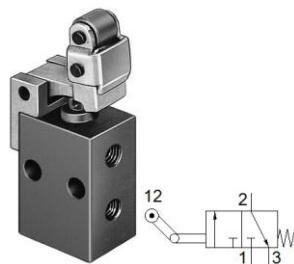
Figura 24 – Válvula FESTO LRMA-M5-QS-6



Fonte: Catálogo Festo (2019)

Para acionamento da sequência do circuito pneumático, a válvula escolhida para estar em contato diretamente com os atuadores foi a FESTO Válvula gatilho L-3-M5. Este tipo de válvula apresenta um rolete em sua extremidade, o qual é muito útil para ativar um segundo atuador enquanto o primeiro está em movimento de avanço, figura 25.

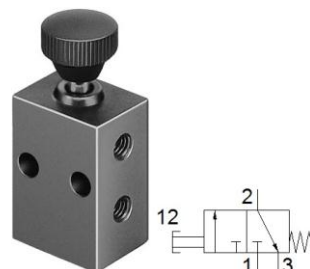
Figura 25 – Válvula gatilho FESTO L-3-M5



Fonte: Catálogo Festo (2019)

Por fim, a válvula escolhida para identificar o fim de curso do atuador foi a válvula de botão FESTO K-3-M5, figura 26.

Figura 26 – Válvula de botão FESTO K-3-M5

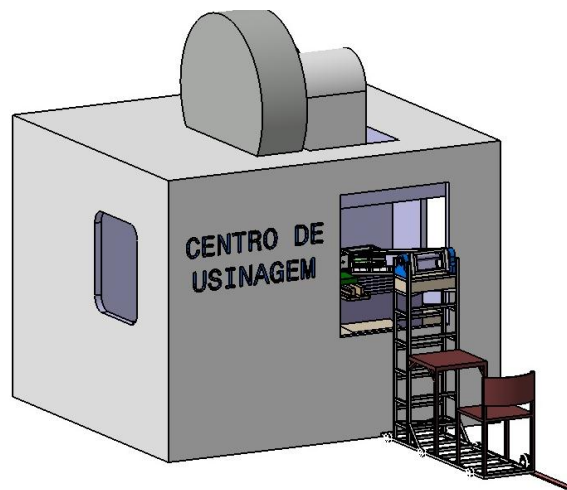


Fonte: Catálogo Festo (2019)

5 RESULTADOS

Conforme as necessidades descritas sobre posição da mesa e abertura de porta ao fim do programa CNC, foi possível desenvolver uma solução capaz de atender um centro de usinagem três eixos para a máquina Romi D800, figura 27.

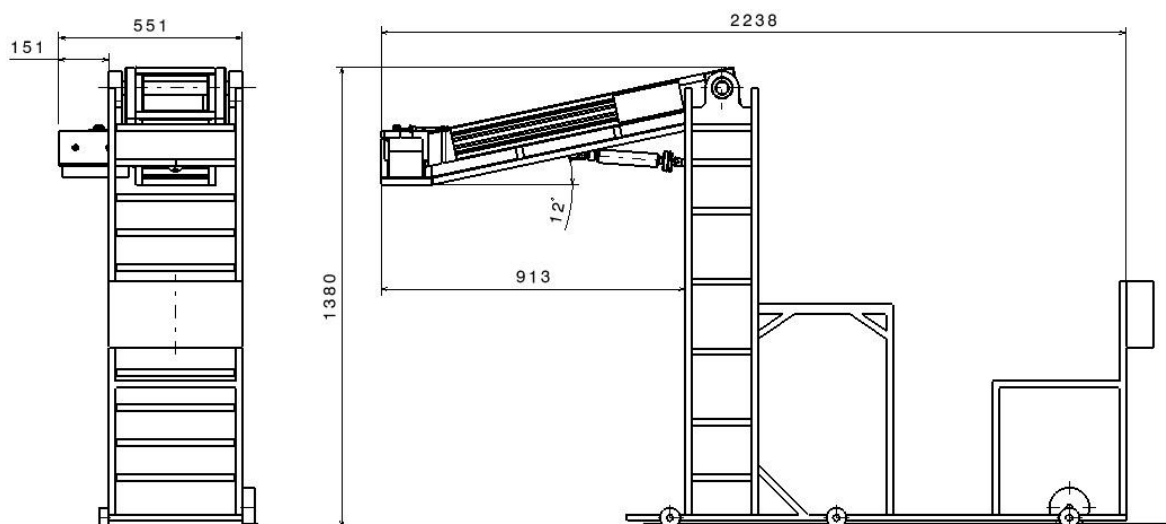
Figura 27 – Alimentador de matéria-prima para um centro de usinagem três eixos



Fonte: Produção do próprio autor

O mecanismo foi dimensionado nas condições reais de operação e possui comprimento de 2238 mm, largura de 551 mm e altura de 1380 mm, conforme figura 28.

Figura 28 – Dimensões gerais do alimentador de matéria-prima para um centro de usinagem três eixos



Fonte: Produção do próprio autor

O ângulo 12° , responsável pela fila de matéria-prima, foi experimentado entre superfícies de alumínio, apresentando o início do deslizamento para que a matéria-prima se movesse sobre a chapa apenas com a força da gravidade. Um ângulo maior está totalmente descartado, pois aumentaria consideravelmente a altura do mecanismo, visto que há uma pista de deslocamento de 913 mm, conforme figura 29.

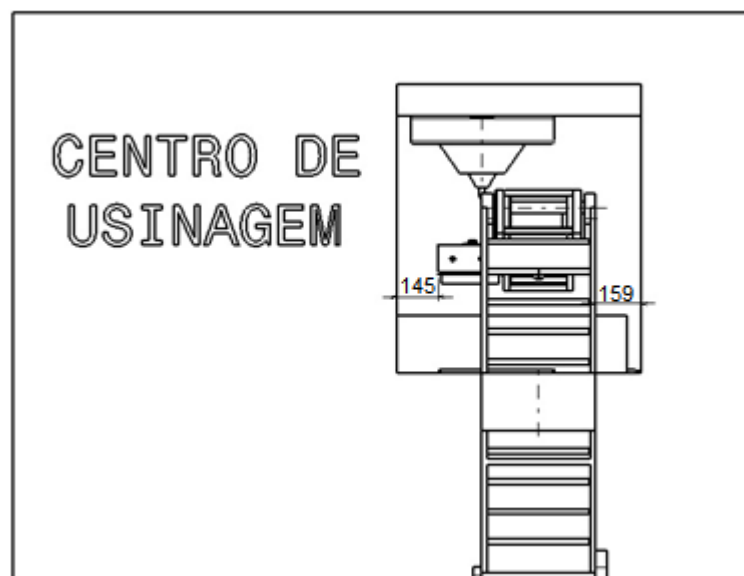
Figura 29 – Escala real do alimentador de matéria-prima para um centro de usinagem três eixos.



Fonte: Produção do próprio autor

Na figura 30, é possível verificar que há 304 mm de segurança entre as dimensões laterais da porta, sendo que a melhor maneira de operação do elemento é ao meio desta distância. Possui-se, assim, uma tolerância máxima de montagem de 100,0 mm à direita ou à esquerda da porta da máquina.

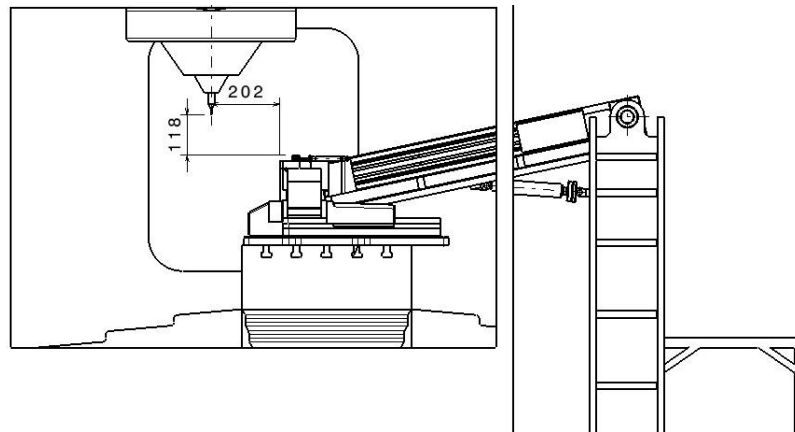
Figura 30 – Dimensão de segurança entre a porta do centro de usinagem e o alimentador



Fonte: Produção do próprio autor

Na figura 31, é destacada a distância de segurança que o equipamento possui entre a ferramenta em posição de troca ao fim do programa. Com isso, é possível montar cabeçotes de faceamento de $\varnothing 100,0$ mm, montados com até 100,00 de comprimento. Na imagem, está representada uma fresa de $\varnothing 12,0$ mm x 30 mm muito utilizada na usinagem.

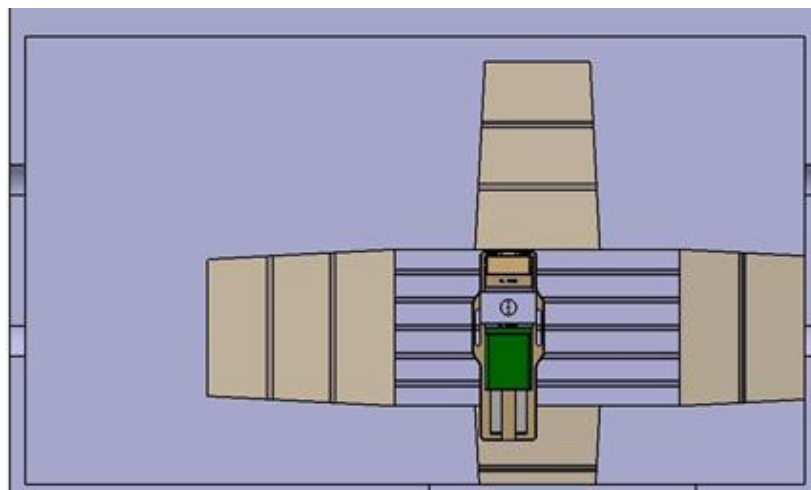
Figura 31 – Dimensão de segurança entre o alimentador e a ferramenta em posição de troca.



Fonte: Produção do próprio autor

Reiterando as condições de funcionamento, é necessário que, ao fim do programa CNC, a ferramenta se posicione para a posição de troca e a mesa seja posicionada em X 400 e Y -150. Para efeito de *setup* do mecanismo, a morsa precisa estar posicionada 100 mm à esquerda do centro da mesa. Nesta condição, o mecanismo está totalmente seguro, sem que haja qualquer possibilidade de colisão entre o centro de usinagem e o alimentador, figura 32.

Figura 32 – Posicionamento da mesa e morsa + matéria-prima.



Fonte: Produção do próprio autor

Em qualquer peça que seja iniciada sua operação, é necessário que o operador faça o *setup* adequadamente do centro de usinagem, garantindo as condições de montagem do processo e de adequação ao projeto. É necessário lembrar a necessidade do “zeramento” da peça com relação ao centro da mesa da máquina, assim como as dimensões máximas de ferramenta permitidas.

Para que seja dado início à operação, a primeira matéria-prima necessita ser posicionada pelo operador e deve ser inspecionada a altura do alimentador de matéria em relação à base da peça, sendo sempre regulada 5 mm mais alta que a base da peça.

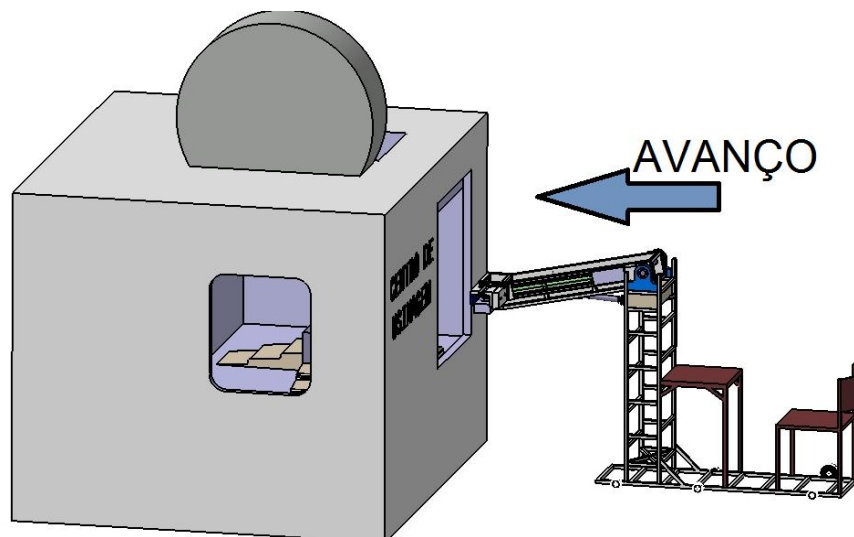
Ao fim do programa que deve possuir o código M38 de abertura de porta, é iniciada a operação de alimentação de matéria-prima para o centro de usinagem três eixos.

No fim do movimento de abertura da porta, há uma válvula de contato do tipo rolete que indica que a porta está totalmente aberta.

Como mecanismo verificador para segurança do operador, existe uma segunda válvula que está posicionada embaixo do assento do operador, a qual só libera a passagem de ar para avanço do sistema quando é identificado que o operador está sentado. Isso evita que o operador transite durante a operação de alimentação de matéria-prima.

Desta maneira, o motor pneumático entra em ação e desloca o equipamento sobre a cremalheira, figura 33.

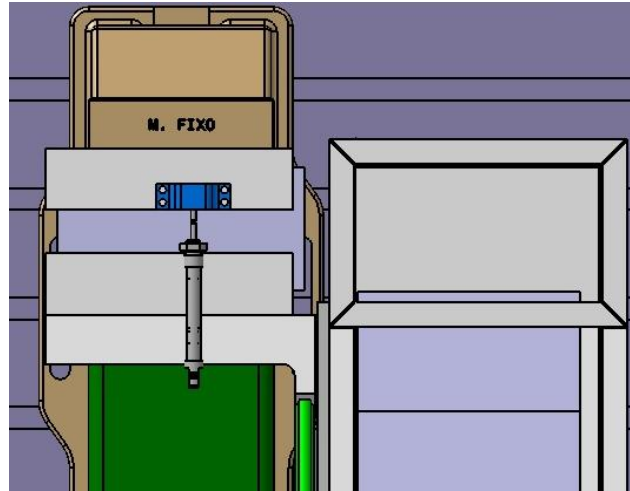
Figura 34 – Avanço do alimentador de matéria-prima



Fonte: Produção do próprio autor

O motor pneumático é desativado quando a válvula de contato do tipo botão encosta no mordente fixo da morsa, figura 35.

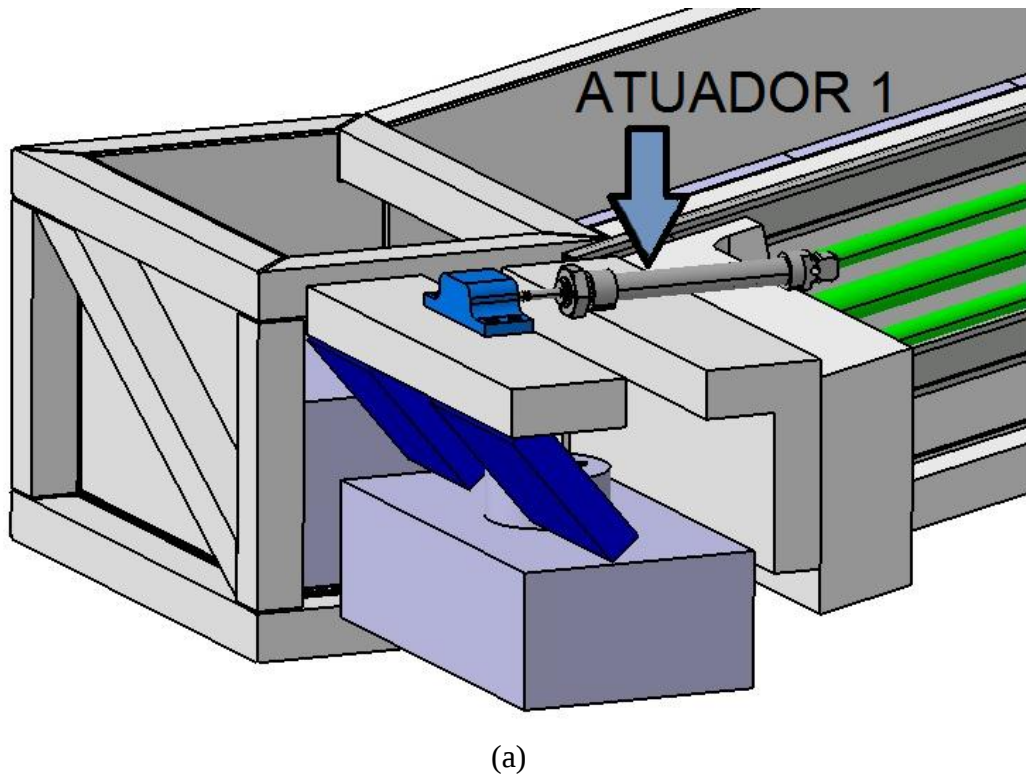
Figura 35 – Avanço do alimentador de matéria-prima

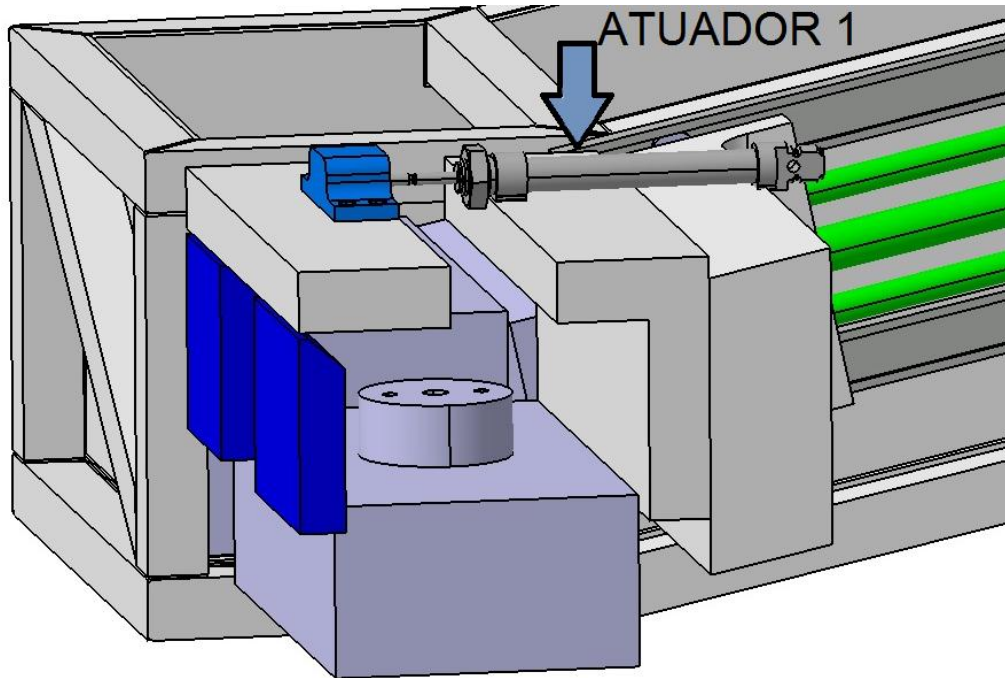


Fonte: Produção do próprio autor

Foi desenvolvido um mecanismo de portinhola o qual possibilita que atue uma dobradiça e, com isso, no avanço do alimentador, esta portinhola se retrai, mas em seu movimento contrário, o mecanismo é travado, figura 36.

Figura 36 – Mecanismo portinhola (a) movimento de avanço; (b) movimento de retorno.





(b)

Fonte: Produção do próprio autor

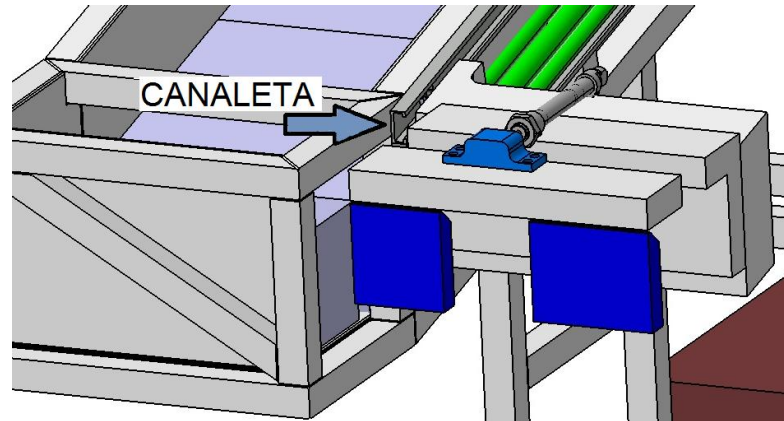
O atuador-1, FESTO DSNU-20-50-P-A, entra em ação e prende a peça.

Devido à adaptabilidade do sistema para diferentes dimensões de matéria-prima, o atuador-1 precisa ter o maior curso para comportar a maior dimensão da matéria-prima, neste caso 50 mm. Com esta possibilidade do atuador ter o movimento interrompido antes de atingir seu curso final, é necessário uma válvula de pressão que estabilize o sistema e impeça que o mesmo entre em colapso, ou seja, até a pressão regulada consegue atuar, após esta faixa o fluxo de ar é direcionado para o atuador-2 que entra em ação.

O atuador-2, FESTO DNCT-125-300-PPV-A, responsável pelo aperto da morsa retorna ao seu ponto mínimo liberando a peça para ser retirada. Desta maneira, ao atingir seu retorno, uma válvula de contato do tipo botão é acionada, direcionando o fluxo de ar para o atuador-3.

O atuador-3, FESTO DLGF-KF-20-800-PPSA, está apoiado em duas canaletas a fim de garantir que, em seu deslocamento, a haste não flambe, figura 37.

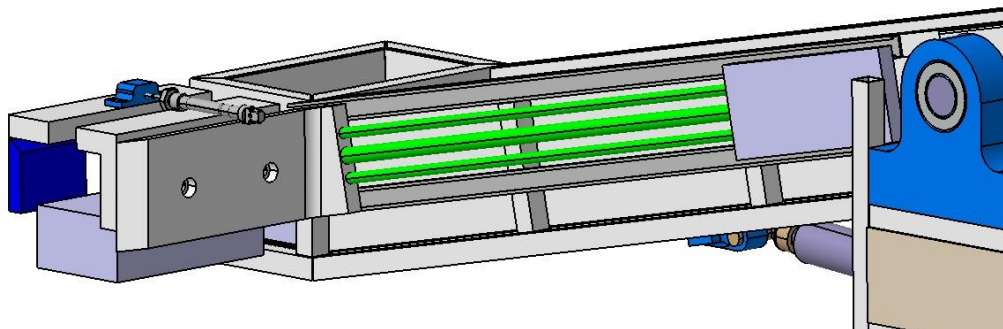
Figura 37 – Canaleta de sustentação do atuador-3.



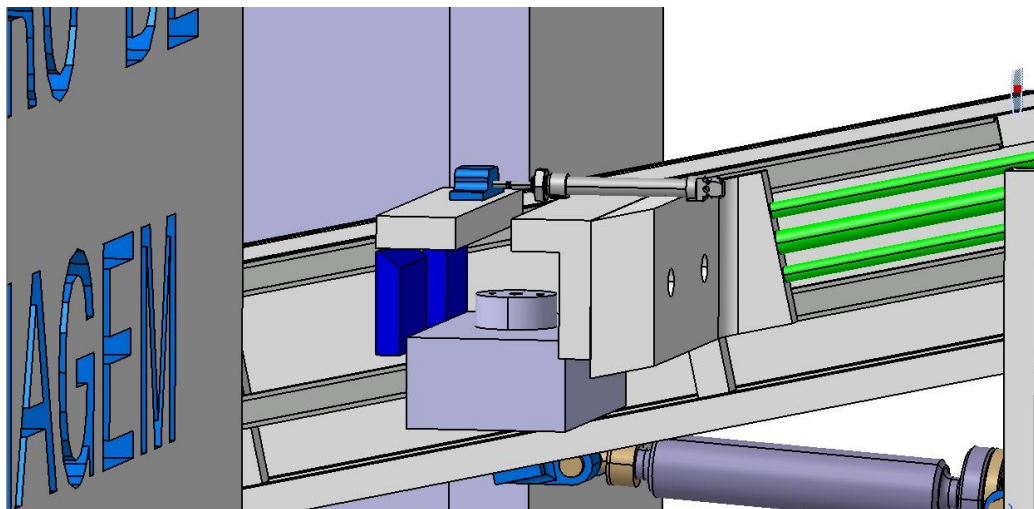
Fonte: Produção do próprio autor

Desta maneira, o atuador desloca-se por todo seu curso retirando a peça usinada para fora do centro de usinagem, figura 38.

Figura 38 – Movimento do atuador-3 (a) inicial; (b) final.



(a)



(b)

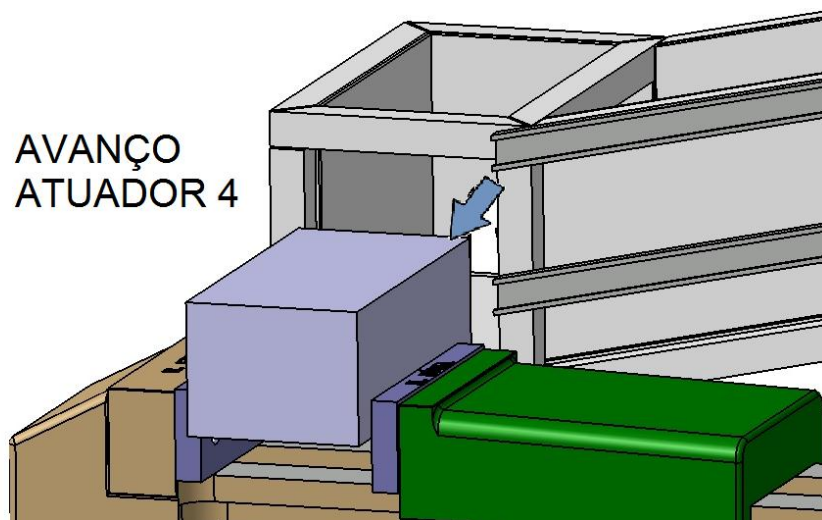
Fonte: Produção do próprio autor

Sendo atingido o fim do curso do atuador-3, atua uma válvula de contato do tipo rolete que faz com que o fluxo seja direcionado para que o atuador-2 avance e, desta forma, a peça é liberada.

Ao fim deste processo, entra em operação o atuador-4, FESTO CDC-25-200-A-P. Este automatismo desloca a próxima matéria-prima da fila para dentro da morsa a fim de ser processada, figura 38. Por este componente pneumático ter um curso de 200 mm, é necessário que, na posição oposta à matéria-prima, seja posicionado um pino guia, o qual limita o deslocamento da matéria-prima. Desta maneira, as diferentes dimensões de comprimento de matéria-prima englobadas neste projeto estarão sempre na mesma posição em X.

Com isso, a pressão no atuador sobe, devido à possibilidade de haver curso e, para evitar que o sistema colapse, a válvula de pressão evita que isto ocorra, direcionando o fluxo de ar para próxima operação.

Figura 39 – Avanço do atuador-4.



Fonte: Produção do próprio autor

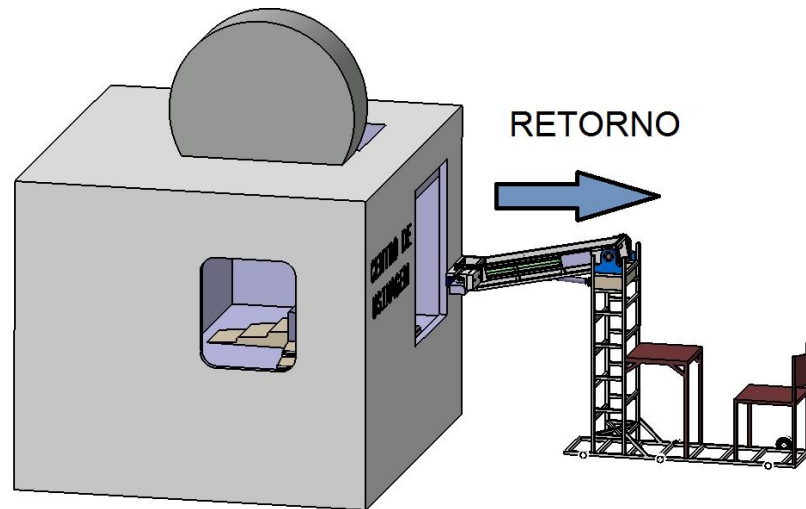
A próxima etapa do circuito pneumático é o fechamento da morsa pelo atuador-2. Essa etapa garante que a peça seja usinada com Y constante, ou seja, em cada novo ciclo o aperto da morsa impede que a peça se mova e devido ao mordente fixo, sua coordenada será a mesma.

Novamente, devido à variância de dimensões da matéria-prima atendidas por este trabalho, é utilizada uma válvula de pressão que o automatismo responsável pelo aperto da morsa não seja destruído.

O atuador-4 recua e, por efeito da gravidade e angulação da fila de matéria-prima, a próxima peça a ser usinada para no aparador para que esteja na posição do próximo ciclo.

Ao fim do movimento, o motor pneumático inverte seu sentido a fim de deslocar o alimentador de matéria-prima pela cremalheira, para que o mesmo seja retirado para fora do centro de usinagem, figura 40.

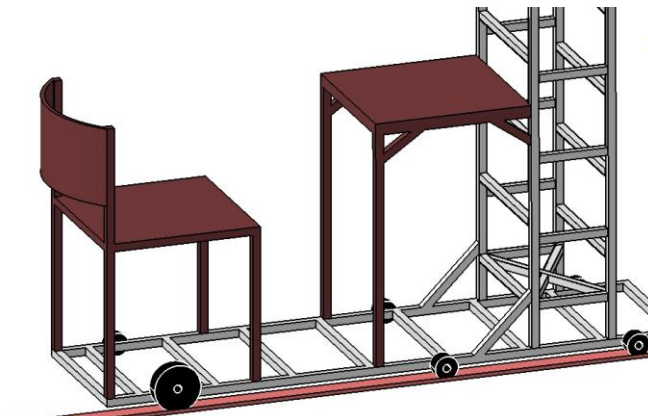
Figura 40 – Retorno do alimentador de matéria-prima.



Fonte: Produção do próprio autor

Além disso, o projeto apresentado possui uma cadeira na qual o operador possa se sentar e executar outras atividades paralelas ao tempo de usinagem, dentre elas é possível exercer uma operação de ajustagem e, até mesmo, de inspeção de peças. Com isso, o operador deixa de exercer uma atividade passiva durante o tempo de máquina com porta fechada para uma atividade ativa, otimizando as operações subsequentes do processo produtivo, figura 35.

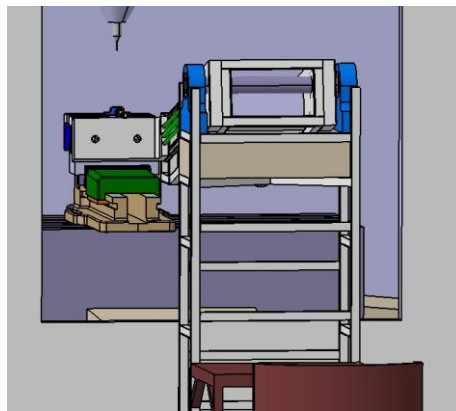
Figura 41 – Assento do operador.



Fonte: Produção do próprio autor

É importante salientar que a função principal do operador jamais será substituída, apenas, será modificada a fim de aperfeiçoar processos e minimizar custos de produção, tendo em vista que este profissional será capaz de exercer operações subsequentes do processo produtivo. Na figura 42, é possível observar que o operador poderá sempre observar o funcionamento da máquina, estando atento ao movimento da ferramenta de corte, assim como o seu desgaste e obviamente atento ao som da ferramenta de corte e ao acabamento da peça no fim da operação.

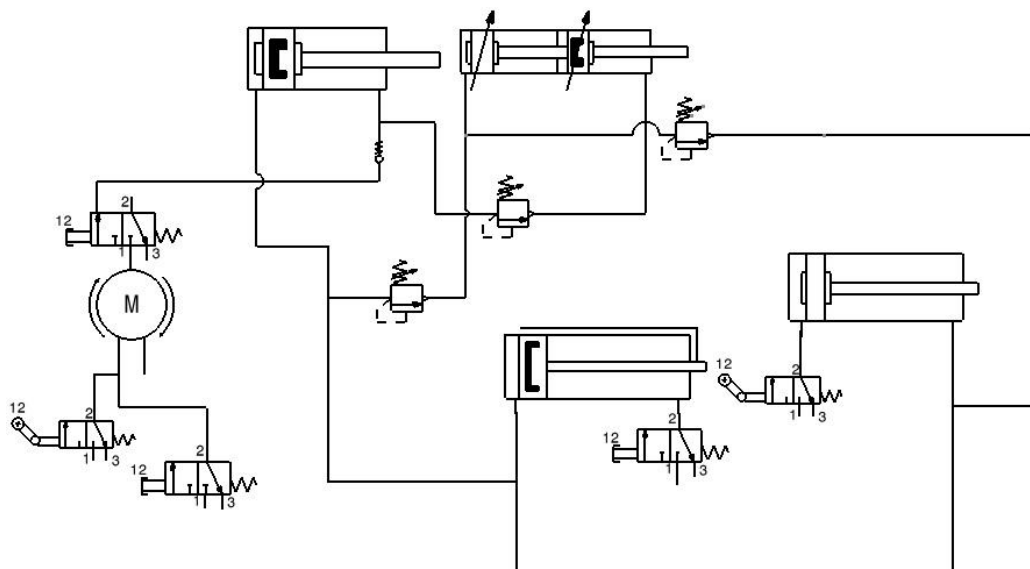
Figura 43 – Visão do operador.



Fonte: Produção do próprio autor

Por fim, o sistema pneumático proposto para o alimentador de matéria prima, possui o seguinte circuito de funcionamento demonstrado na figura 44.

Figura 44 – Circuito pneumático.



Fonte: Produção do próprio autor

4. CONCLUSÃO

O mecanismo do alimentador de matéria prima para um centro de usinagem três eixos não foi fabricado e todas as informações obtidas foram através do ambiente *Cad* e da plataforma oferecida pela FESTO

Desta forma, o projeto atende o processo de preparação de matéria-prima o qual não necessita de uma tolerância geral inferior a IT14, com exceção dos furos que acomplam os pinos tolerados que necessitam ser H e como explicado no texto, os possíveis problemas entre as relações de tolerâncias geométricas das peças produzidas foram minimizadas através do funcionamento do mecanismo, assim como os parâmetros de zeramento encontrados no programa CNC a ser desenvolvido.

Assim, o projeto, de forma simples e eficiente, visa diminuir custos à peça produzida, ou seja, durante o processo de preparação de matéria prima o operador pode englobar durante no seu setor operações de ajustagem e inspeção em cada ciclo.

Além disso, o alimentador gera, como resultado secundário, o cuidado com a saúde do operador, diminuindo risco de LER e DORT. Sendo assim, diminui também, de forma significativa, os custos da própria fábrica por afastamento, sendo possível até diminuir custos para os cofres públicos do INSS que auxiliam nestes tipos de lesões a partir de 15 dias, visto que não é necessário que ele reponha a matéria prima ao fim do programa CNC.

Como resultado final, toda a operação desempenhada por este mecanismo visa ser executada, na totalidade de seu ciclo, em apenas 30 segundos (dados obtidos pela plataforma da Festo, que indica o tempo de operação de cada componente), sendo um ganho expressivo se comparado aos 2 a 3 minutos gastos em média por um operador no seu turno de trabalho.

Vale ressaltar que este tempo é muito expressivo, pois, durante a jornada de trabalho, o operador entra em fadiga pelo excesso de esforço e repetição da operação, ponto este que acaba sendo superado pelas possibilidades de solução expostas neste trabalho.

Com isso, o projeto proposto obteve um resultado satisfatório e que, se implementado, deve apresentar ganhos expressivos na produção e um *pay-back* extremamente baixo se comparado com alimentadores disponíveis no mercado.

REFERÊNCIAS

ALVES, P. R. G. **Análise do acabamento superficial e da potência consumida na usinagem de fresamento frontal e cilíndrico tangencial da madeira de eucalipto**. 2016. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ANDREATTA, G. **LER/DORT afastaram 22 mil trabalhadores das atividades profissionais em 2017**: Problema representa 11,19% de todos os benefícios concedidos pelo INSS no ano. 2018. Disponível em: <http://www.trabalho.gov.br/noticias/6194-ler-dort-afastaram-22-mil-trabalhadores-das-atividades-profissionais-em-2017>. Acesso em: 01 jun. 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8897**: símbolos gráficos para sistemas e componentes hidráulicos e pneumáticos transformações de energia. Rio de Janeiro: ABNT, 1985. 7 p.

BANDEIRA, T. L. F. **Estudo de tempos e métodos em uma microempresa prestadora de serviços de usinagem mecânica**. 2012. 50 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

BARNES, R. **Estudo de movimentos e de tempos**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

BATISTA, E. A.; COPINNI N. L. Sistema especialista para otimizar processos de usinagem e aumentar os lucros. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais [...]**. Curitiba, 2002.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_021000. Acesso em: 21 set. 2019a.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_020804. Acesso em: 21 set. 2019b.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_DNCT?CurrentIDCode1=DNCT-125-300-PPV-A&CurrentPartNo=191112. Acesso em: 21 set. 2019c.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_DSNU_1?CurrentIDCode1=DSNU-20-50-P-A&CurrentPartNo=19210. Acesso em: 21 set. 2019d.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/search?query=CDC-25-200-A-P. Acesso em: 21 set. 2019e.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/products_LR_LRMA?CurrentIDCode1=LRMA-M5-QS-6&CurrentPartNo=153490. Acesso em: 01 out. 2019f.

FESTO. **Catálogo FESTO**. 2019. Disponível em: https://www.festo.com/cat/pt-br_br/search?query=L-3-M5. Acesso em: 01 out. 2019g.

ROMI. **Catálogo ROMI**. 2019. Disponível em: <http://www.romi.com/categoria/maquinas-ferramenta/centros-de-usinagem/>. Acesso em: 04 mar. 2019.

CORRÊA, J. B. F. **Aplicação de melhorias na organização e nos processos de usinagem, visando à padronização e a otimização destes processos**. 2014. 82f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

COSTA, F. S.S. **Estudo dos ganhos de produtividade e de qualidade em máquinas cnc com o uso de sistemas toolsetter laser**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2014.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. São Paulo: Editora M. M., 1999.

FERRARESI, D. **Fundamentos de usinagem dos metais**. São Paulo: Ed. Blucher, 1977.

FIALHO, A.B. **Automação pneumática: projetos, dimensionamento e análise de circuitos**. 2.ed. São Paulo: Érica, 2007.

GEORGINI, M. **Automação aplicada: descrição e implementação de sistemas sequenciais com PLCs**. São Paulo: Erica, 2003. 236p.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. **Indústria 4.0**. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 01 out. 2019.

MACHADO, A. R.; ABRÃO, A.; COELHO, R.; SILVA, Marcio B. **Teoria da usinagem dos materiais**. São Paulo: Ed. Blucher, 371 p. 2009.

MENEZES FILHO, N. A.; CAMPOS, G. S.; KOMATSU, B. K. **A evolução da produtividade no Brasil**. 12. ed. São Paulo: Insper, 2014.

PORTER, M. E. The competitive advantage of nations. **Harvard Business Review**, p. 73-93, mar./abr. 1990.

REVISTA CIPA. **LER e Dort representam 11% de todos os benefícios concedidos pelo INSS em 2017**. Disponível em: <http://revistacipa.com.br/ler-e-dor-representam-11-de-todos-os-beneficios-concedidos-pelo-inss-em-2017/>. Acesso em: 01 jun. 2019.

SANTOS, D. M. **LER/DORT atinge 3,5 milhões de trabalhadores**. 2015. Disponível em: <http://www.fundacentro.gov.br/noticias/detalhe-da-noticia/2016/2/pesquisadores-da-fundacentro-comentam-sobre-a-lerdort>. Acesso em: 12 ago. 2019.

SIMON, A. T. **Condições de utilização da tecnologia CNC: um estudo para máquinas ferramenta de usinagem na indústria brasileira**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

TRANCHEZZI, L. T. **Redução do tempo de setup de máquinas de usinagem em uma indústria automobilística.** 2011. 54 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

VARELLA NETO, A. M. **Análise mecânica de um braço robótico de usinagem.** 2011. 138 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.

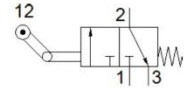
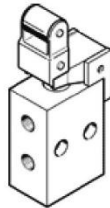
APÊNDICE A – Especificações técnicas

Válvula gatilho L-3-M5

Código da peça: 3628

FESTO

com retorno sem carga. Função não acionada, sem passagem.
Esse tipo é adequado para operação com vácuo.



Ficha técnica

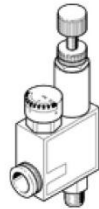
Característica	Valor
Função de válvula	3/2 vias, fechada, monoestável
Tipo de acionamento	mecânico
Vazão nominal padrão	80 l/min
Pressão de trabalho	-0,95 ... 8 bar
Princípio construtivo	Assento de válvula
Diâmetro nominal	2 mm
Tipo de pilotagem	direto
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO8573-1:2010 [:::]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Força de acionamento	16,5 N
Peso do produto	43 g
Tipo de fixação	com furo passante
Conexão pneumática 1	M5
Conexão pneumática 2	M5
Material das vedações	NBR
Material do corpo	Injetados de zinco

válvula reguladora de pressão LRMA-M5-QS-6

Código da peça: 153490

com manômetro.

FESTO



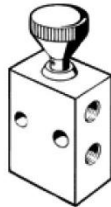
Ficha técnica

Característica	Valor
Função reguladora	Pressão inicial constante com escape secundário
Conexão pneumática 1	M5
Conexão pneumática 2	QS-6
Tipo de fixação	com furo passante
Vazão nominal padrão	42 l/min
Pressão de entrada 1	0 ... 9 bar
Temperatura ambiente	0 ... 60 °C
Material do corpo	reforçado com PBT
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:...]
Trava do atuador	Parafuso recartilhado com contraporca
Posição de instalação	Nos dois lados
Princípio construtivo	Válvula reguladora de êmbolo com comando direto com alimentação contínua de ar comprimido
Indicador de pressão	com manômetro
Faixa de regulação de pressão	1 ... 8 bar
Peso do produto	27,5 g
Material do bujão roscado	Latão níquelado
Material do retentor roscado	PTFE

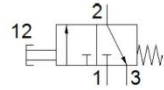
válvula de botão K-3-M5

Código da peça: 3660

Acionamento por botão.



FESTO



Ficha técnica

Característica	Valor
Função de válvula	3/2 vias, fechada, monoestável
Vazão nominal padrão	80 l/min
Pressão de trabalho	-0,95 ... 8 bar
Princípio construtivo	Assento do êmbolo
Diâmetro nominal	2 mm
Tipo de pilotagem	direto
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO8573-1:2010 [:::-]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Temperatura ambiente	-10 ... 60 °C
Força de acionamento	23 N
Peso do produto	28 g
Tipo de fixação	com furo passante
Conexão pneumática 1	M5
Conexão pneumática 2	M5
Material das vedações	NBR
Material do corpo	Injetados de zinco

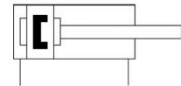
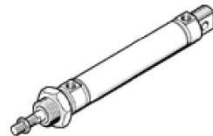
cilindro normalizado DSNU-20-50-P-A

Código da peça: 19210

★ Linha de produtos básicos

Conforme DIN ISO 6432 para detecção sem contato direto. Várias opções de fixação, com e sem elementos de fixação adicionais. Com anéis de amortecimento elásticos nas posições finais.

FESTO



Ficha técnica

Característica	Valor
Curso	50 mm
Diâmetro do êmbolo	20 mm
Rosca da haste	M8
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Conforme norma	CETOP RP 52 P ISO 6432
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Camisa do atuador
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	1 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Classificação marítima	ver certificado
Energia de impacto nas posições finais	0,2 J
Força teórica a 6 bar, retorno	158,3 N
Força teórica a 6 bar, avanço	188,5 N
Massa móvel com curso de 0 mm	44 g
Peso adicional por 10 mm de curso	7,2 g
Peso básico para curso de 0 mm	186,8 g
Fator de massa adicional por 10 mm de curso	4 g
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	G1/8
Observações sobre material	Conforme RoHS
Material da proteção	Liga de alumínio anodização neutra
Material das vedações	NBR TPE-U(PU)
Material da haste do pistão	Aço alta liga, inoxidável
Material da camisa do atuador	Aço alta liga, inoxidável

cilindros tandem DNCT-125- -PPV-A

Código da peça: 191112

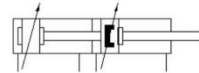
FESTO

Conforme ISO 15552, com camisa perfilada, opção de detecção e amortecimento regulável nas posições finais.

Detecção de posição só é possível na camisa do lado da haste.



A título de exemplo



Ficha técnica

Característica	Valor
Curso	3 ... 500 mm
Diâmetro do êmbolo	125 mm
Com base na norma padrão	ISO 15552 (antes também VDMA 24652, ISO 6431, NF E49 003.1, UNI 10290)
Amortecimento	PPV: Amortecimento pneumático regulável nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Modo de operação	de dupla ação
Extremidade da haste	Rosca externa
Princípio construtivo	Êmbolo Haste Tubo perfilado
Detecção de posição	Para sensor de proximidade
Variantes	Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	0,6 ... 10 bar
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	2 – Resistência à corrosão moderada
Temperatura ambiente	-20 ... 80 °C
Energia de impacto nas posições finais	5 J
Curso de amortecimento	42 mm
Força teórica a 6 bar, retorno	13.762 N
Força teórica a 6 bar, avanço	14.244 N
Tipo de fixação	com acessórios
Conexão pneumática	G1/2
Observações sobre material	Conforme RoHS
Material da proteção	Injetados de alumínio
Material das vedações	NBR TPE-U(PU)
Material do corpo	Liga de alumínio anodizado liso
Material da haste do pistão	Aço alta liga

Especificações técnicas

Código do produto: 8063799
Código para pedido: DLGF-KF-20-800-PPSA

FESTO

Dados técnicos

Característica	Valor
Curso	800 mm
Ø do atuador	20 mm
Abreviação do tipo	DLGF
Amortecimento	amortecimento de posição final pneumático autoajustável
Posição de instalação	Indiferente
Guia	Guia de esferas recirculantes
Princípio de arrastamento	união positiva (fenda)
Deteção de posição	Para sensores de proximidade
Variantes	com furos de fixação
Pressão operacional	2.0 ... 8.0 bar
Funcionamento	De dupla ação
meio de operação	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:...]]
Ind. meio de operação/de controle	ar comprimido filtrado, com ou sem lubrificação
Resistência à corrosão CRC	1 - Baixa resistência à corrosão
Temperatura do meio ambiente	0.0 ... 60.0 °C
Curso de amortecimento	7,2 mm
Força máx. Fy	600 N
Força máx. -Fz (acionamento h. z.)	700 N
Força máx. +Fz (acionamento w. v.)	400 N
Torque máx. Mz	15 Nm
Força teórica a 6 bar, retorno	188 N
Força teórica 6 bar, avanço	188 N
Cargas móveis	566 g
Peso adicional por curso de 10 mm	35,5 g
Peso básico com curso de 0 mm	1015 g
Conexões alternativas	ver desenho de produto
Tipo de fixação	Fixação direta por orifício de passagem Com acessórios
Conexão pneumática	M5
Indicação sobre os materiais	Conformidade RoHS Sem cobre
Informações de material tampa	Alumínio fundido, revestido
Informações de material das vedações	NBR TPE-U(PU)
Informação do material da carcaça	Alumínio anodizado

cilindro compacto

CDC-25- -

Código da peça: 543306

FESTO



Ficha técnica

Especificações técnicas gerais – os valores individuais dependem da sua configuração.

Característica	Valor
Curso	1 ... 300 mm
Diâmetro do êmbolo	25 mm
Com base na norma padrão	ISO 21287
Amortecimento	P: Anéis/placas de amortecimento elástico nas posições finais de curso
Posição de instalação	Nos dois lados
Princípio construtivo	Êmbolo Haste
Variantes	Haste prolongada com rosca externa Rosca especial na haste Haste prolongada Haste passante Vedações resistentes a temperaturas de até 120°C Haste do êmbolo unilateral
Pressão de trabalho	0,6 ... 10 bar
Modo de operação	de dupla ação
Meio operacional	Ar comprimido conforme ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Observação sobre meio operacional e do piloto	Permite operação com lubrificação (necessária para operações subsequentes)
Classe de resistência à corrosão KBK	3 – Resistência à corrosão alta
Apropriado para indústria de alimentos	Vide informações sobre materiais complementares
Temperatura ambiente	-20 ... 120 °C
Força teórica a 6 bar, retorno	247 N
Força teórica a 6 bar, avanço	247 ... 295 N
Tipo de fixação	Opcional: com furo passante com rosca interna
Conexão pneumática	M5
Material da proteção	Liga de alumínio anodizado
Material da haste do pistão	Aço alta liga, inoxidável
Material da camisa do atuador	Liga de alumínio anodizado