

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA – CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SISTEMA REMOVEDOR DE GALHOS NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES
PLÁSTICOS MOLDADOS POR INJEÇÃO

por

Guilherme Silva de Mello

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Porto Alegre, Maio de 2022

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO

Mello, Guilherme Silva de
Sistema removedor de galhos na fabricação de
componentes plásticos moldados por injeção / Guilherme
Silva de Mello. -- 2022.
30 f.
Orientador: Fabiano Disconzi Wildner.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de
Engenharia, Curso de Engenharia Mecânica, Porto
Alegre, BR-RS, 2022.

1. Automação industrial. 2. Sistemas pneumáticos.
3. Fabricação de polímeros. 4. Projeto de moldes de
injeção. 5. Remoção de galhos. I. Wildner, Fabiano
Disconzi, orient. II. Título.

Guilherme Silva de Mello

SISTEMA REMOVEDOR DE GALHOS NA FABRICAÇÃO DE COMPONENTES
PLÁSTICOS MOLDADOS POR INJEÇÃO

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS
REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
ENGENHEIRO MECÂNICO
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Heraldo José de Amorim
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Área de Concentração: Processos de Fabricação

Orientador: Prof. Fabiano Disconzi Wildner

Comissão de Avaliação:

Prof. Heraldo José de Amorim

Prof. Fabiano Disconzi Wildner

Prof. Patrick Daniel Neis

Porto Alegre, Maio de 2022

DEDICATÓRIA

Aos Professores Paulo, Alessandro, Vanessa e Valéria, cujo exemplo e dedicação ao lecionar me possibilitaram ingressar no Ensino Superior.

E à Professora Silvana, primeira e maior professora da minha vida, cujo amor e carinho tornou possível a minha permanência na universidade enquanto aluno de graduação.

AGRADECIMENTOS

A todos os professores que passaram pela minha educação básica.

Ao laboratório ViD, que possibilitou a minha iniciação científica e o meu desenvolvimento enquanto membro da universidade.

Aos meus primos, cujas brincadeiras sempre eram mais elaboradas e despertaram ainda cedo o sonho de ser engenheiro.

Aos meus pais e irmãos, que nunca desistiram de me apoiar durante os anos de graduação.

E à minha namorada, Karla, minha maior companheira e que sempre me ergueu nos momentos onde eu pensei em desistir.

APOIO FINANCEIRO

O autor agradece ao apoio dado pela empresa Infortel Telecom, custeando cursos extracurriculares e pela autorização em utilizar propriedade intelectual da empresa como base para esse estudo.

EPÍGRAFE

*Em todo o espaço há energia...
É uma questão de tempo até que os homens tenham êxito
em associar seus mecanismos ao aproveitamento desta energia.*

Nikola Tesla

Mello, Guilherme Silva de. **Sistema removedor de galhos na fabricação de componentes plásticos moldados por injeção**. 2022. 30 p. Monografia de Trabalho de Conclusão do Curso em Engenharia Mecânica – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

RESUMO

Tendo em vista que o processo de moldagem por injeção é um dos processos fabris mais utilizados na atualidade, esse estudo busca automatizar parte do processo produtivo removendo os galhos de injeção decorrentes do processo de moldagem, utilizando um dispositivo removedor de galhos de injeção, aqui chamado de desganhador, embutido no molde do produto. O desganhador consiste em um mecanismo de acionador e seguidor, acionado pneumáticamente e integrado às portas I/O da máquina injetora, que utiliza-se de tensão cisalhante para cortar o galho. Por fim, o desganhador será instalado em um molde de injeção já existente, que sofrerá adaptações para receber o sistema.

PALAVRAS-CHAVE: automação industrial, sistemas pneumáticos, fabricação de polímeros, projeto moldes de injeção, remoção de galhos.

Mello, Guilherme Silva de. **Sprue removal system for manufacturing of injection molded plastic components**. 2022. 30 p. Mechanical Engineering End of Course Monography – Mechanical Engineering degree, The Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

ABSTRACT

Considering that the injection molding process is one of the most used manufacturing processes today, this study seeks to automate part of the production process by removing the injection sprues resulting from the molding process, using an injection sprue remover device, here called desprueing device, built into the mold of the product. The desprueing device consists of an actuator and follower mechanism, pneumatically driven and integrated into the I/O ports of the injection molding machine, which uses shear tension to cut the sprue. Finally, the desprueing will be installed in an existing injection mold, which will undergo adaptations to receive the system.

KEYWORDS: industrial automation, pneumatic system, polymer manufacturing, injection mold design, sprue removal.

NOMENCLATURA

Símbolos

A_{TG}	Área de contato entre superfícies	[mm ²]
F_{AA}	Força de acionamento do atuador	[N]
F_{CG}	Força de corte no galho	[N]
F_{ACS}	Força de atrito cinético sobre seguidor	[N]
F_{ACC}	Força de atrito cinético sobre a cunha de corte	[N]
F_{RS}	Força de reação no seguidor	[N]
F_{RC}	Força de reação na cunha de corte	[N]
M_S	Massa do seguidor	[kg]
M_C	Massa da cunha de corte	[kg]
S	Coefficiente de segurança	adimensional
P_I	Pressão de injeção	[MPa]
T_I	Temperatura de injeção da matéria-prima fundida	[°C]
T_R	Temperatura de resfriamento do molde	[°C]
t_r	Tempo de recalque	[s]

Símbolos gregos

μ_c	Coefficiente de atrito cinético	adimensional
σ_{XXR}	Tensão de ruptura à tração	[MPa]

Abreviaturas e Acrônimos

ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
CTO	Caixa de Terminação Óptica
DCL	Diagrama de Corpo Livre
PP	Polipropileno
UV	Ultravioleta

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.....1
Figura 2.....3
Figura 3.....4
Figura 4.....5
Figura 5.....6
Figura 6.....7
Figura 7.....7
Figura 8.....8
Figura 9.....8
Figura 10.....9
Figura 11.....10
Figura 12.....11
Figura 13.....12
Figura 14.....12
Figura 15.....13
Figura 16.....13
Figura 17.....16
Figura 18.....17
Figura 19.....17
Figura 20.....18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO.....	2
2.1. Polímeros termoplásticos.....	2
2.2. Processo de Injeção.....	2
2.3. Injetora para polímeros termoplásticos.....	2
2.4. Molde de Injeção.....	2
2.4.1. Mecanismos de gavetas.....	3
3. CASO DE ESTUDO.....	4
3.1 Problemas experimentais.....	5
3.2. Desganhador.....	6
3.2.1 Componentes e movimentação do desganhador.....	7
3.3. Equacionamento do acionamento do desganhador.....	9
4. RESULTADOS.....	11
4.1. Descrição técnica do desganhador.....	11
4.2. Programação lógica do desganhador.....	11
4.3. Simulação do circuito eletropneumático.....	12
5. CONCLUSÃO.....	14
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15
ANEXO 1 – Especificações técnicas da injetora Haitian MA 3600.....	16
ANEXO 2 – Resultados de ensaio de tração para polipropileno.....	16
APÊNDICE A – Desenho técnico da cunha e do seguidor.....	17
APÊNDICE B – Cavidade do molde adaptada.....	17
APÊNDICE C – Placa porta cavidade do molde adaptada.....	18

1. INTRODUÇÃO

A fabricação de componentes plásticos utilizando moldagem por injeção foi uma verdadeira revolução dentre os processos fabris, quando se popularizou após a II Guerra Mundial, com a demanda por fabricação em massa. Comparado aos sistemas de usinagem, soldagem e conformação de metais ou outros materiais, a injeção permite a fabricação de múltiplos componentes em poucos segundos, necessitando de poucos operadores.

Além da agilidade de produção, esse é um sistema produtivo que permite a fabricação de peças de geometrias complexas e com encaixes e junções existentes no próprio corpo do componente, permitindo baixos tempos de processamento em linhas de montagem, quando comparados à componentes metálicos ou mesmo componentes plásticos moldados por outros sistemas, que necessitam de operações de usinagem e conformação posterior para permitir a finalização do produto.

Entretanto, existem dois problemas que exigem processamento manual nestes sistemas fabris: A remoção dos galhos de injeção (provenientes da solidificação do plástico dentro dos dutos do molde) e o armazenamento das peças, visto que ao fim da injeção elas caem do molde em uma rampa que pode levar até uma caixa ou cesto, porém, de forma desorganizada e aleatória, ocupando mais espaço do que o necessário

O objetivo desse trabalho é reduzir tempo de processamento e quantidade de operações manuais necessárias, para reduzir custos e proteger trabalhadores, utilizando sistemas elétricos e pneumáticos, comumente utilizados nessas indústrias, para atingir os resultados desejados. Para isso, propôs-se o desenvolvimento de um dispositivo removedor de galhos, acionado pneumaticamente, que tem como função cortar o galho de injeção enquanto a peça ainda está na injetora. Esse dispositivo será instalado na placa fixa do molde e terá as suas cunhas de corte embutidas na cavidade, de maneira a não interferir no processo de injeção, removendo o galho pouco antes da extração do produto. Com o dispositivo desgalhador, os operadores não necessitarão cortar os galhos de injeção manualmente, podendo destinar seu trabalho para outras etapas da montagem do produto.

A base para o estudo foi a linha de produção da unidade fabril da empresa Infortel Telecom, sediada na cidade de Canoas. A empresa inaugurou a sua nova linha de produção em julho de 2021. Atualmente, essa unidade fabril produz um único produto, a Caixa de Terminação Óptica 3Network 3N0616 (Figura 1), que tem a função de terminação do cabo de fibra óptica de até 36 fibras, distribuindo essas fibras para o cliente final e para ramos menores da rede.

Figura 1: CTO produzida e comercializada pela Infortel Telecom sob a marca 3Network, modelo 3N0616.



2. FUNDAMENTAÇÃO

2.1. Polímeros termoplásticos

Segundo HARADA (2009), “Os materiais plásticos são compostos de resinas naturais ou sintéticas que, através de pressão e calor, podem fluir e adquirir uma forma determinada. (...) A maioria dos materiais plásticos é de natureza orgânica, tendo como principal componente o carbono adicionado aos elementos hidrogênio, oxigênio, nitrogênio e cloro.” O termo plástico é a nomenclatura popularmente adotada para os polímeros termoplásticos, que se diferem de polímeros termofixos justamente pela possibilidade de moldá-los quando submetidos à temperatura e pressão, enquanto os termofixos degradam-se sob calor.

2.2. Processo de Injeção

O processo de moldagem por injeção utiliza-se como princípio a injeção de material fundido para o interior de um molde. Após a fusão e homogeneização da matéria-prima (que além do polímero, ainda pode contar com aditivos antiempenamento, protetores para radiação UV e pigmentações), esse material é injetado sob alta pressão para dentro de um molde, que conta com um sistema de resfriamento próprio, a fim de solidificar o material.

Uma vez dentro do molde, o material continua sendo injetado mesmo após a cavidade ser preenchida, em uma operação conhecida como recalque, onde aumenta-se a compactação do material, assim como a sua densidade. Ao fim desse ciclo, o molde é aberto, e o produto é extraído.

2.3. Injetora para polímeros termoplásticos

A Injetora de plástico consiste em uma máquina que injeta polímero fundido para o interior de um molde usando altas pressões (entre 100 e 250 MPa). A injeção é realizada com uma rosca sem fim, aquecida através de resistores que a fazem atingir temperaturas de até 300 °C. A rosca é alimentada por um funil, onde se adiciona a matéria-prima a ser fundida junto dos seus aditivos (antiempenamento, protetores UV, fibras de reforço, pigmentações...).

O acionamento das máquinas injetoras pode ser hidráulico, elétrico, pneumático ou misto. Inicialmente, grande parte das injetoras utilizavam acionamento hidráulico, por garantir melhor ajuste de pressão e deslocamentos, porém, ofereciam baixo rendimento energético e geravam grande quantidade de resíduos no ambiente fabril. Segundo GARCIA (2009) “As máquinas elétricas têm vindo a ganhar importância comercial desde os finais da década de 80”, principalmente em injetoras pequenas (com força de fechamento abaixo de 1000 kN) e médias (com forças de fechamento entre 1000 e 4000 kN) por aliarem baixo consumo energético, respostas rápidas e maior limpeza no ambiente de trabalho. Para equipamentos de pequenas dimensões, são utilizados acionamentos pneumáticos.

A injetora também comporta subsistemas de suporte ao molde de injeção, tais como os acionadores para a extração (por mais que o extrator esteja no molde, o acionamento da extração deve ser realizado externamente) e a alimentação líquida do sistema de resfriamento do molde.

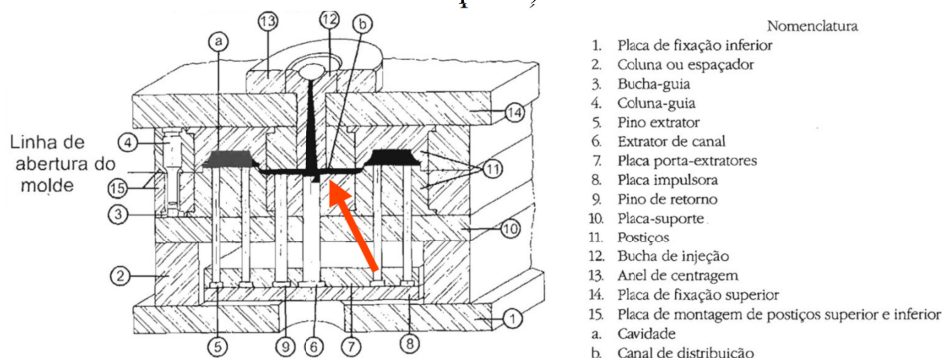
2.4. Molde de Injeção

São ferramentas que consistem basicamente em duas partes, cada uma contendo uma cavidade no formato negativo do produto a ser injetado. Esses moldes são, geralmente, fabricados usando placas metálicas e divididos em duas partes, uma fixa e uma móvel. Em ambas as partes, há placas para fixação às placas da máquina injetora, chamadas de placas base, e as placas onde encontram-se os negativos do produto a ser injetado, assim como a

devida refrigeração do molde, chamadas de placas cavidade. Essas e demais estruturas do molde de injeção podem ser vistas na Figura 2.

Geralmente a abertura desses moldes é perpendicular ao sentido de injeção e a peça não pode ter reentrâncias que impeçam o produto de cair após a abertura do molde. Quando esse tipo de reentrância é necessária, como na confecção de furos ou roscas internas, utilizam-se mecanismos conhecidos como gavetas e machos, que se movimentam paralelamente à face de abertura e retraem no momento da abertura do molde, liberando o caminho para que a peça possa ser extraída sem ser danificada por partes do próprio molde. Esses mecanismos podem ser acionados por guias existentes dentro do próprio molde ou utilizando acionadores elétricos, hidráulicos ou pneumáticos. Outra parte importante do molde é sua refrigeração, que costuma ocorrer através de um circuito de dutos que passa próxima à cavidade, por dentro das placas, por onde passa água em temperatura de resfriamento T_R que varia de 20°C à 60°C para acelerar o processo de solidificação do material fundido no interior da cavidade.

Figura 2: Placas e componentes de um molde de injeção (HARADA, 2004. Adaptado).



Entretanto, existe um problema decorrente da própria natureza do processo de injeção, que é a solidificação do polímero dentro dos dutos que levam o material fundido até a cavidade. Quando o material se solidifica nesses dutos, esses rejeitos são chamados de galho ou ramos de injeção (conforme pode ser observado destacado ao centro da representação do molde na Figura 2) por conta da sua semelhança com as ramificações existentes em plantas. Esses galhos precisam ser posteriormente cortados manualmente por um operador, ou, deve-se recorrer a um projeto de moldes que utilize de bicos aquecidos e sistemas de câmaras quentes para impedir a solidificação do material dentro dos dutos (sistemas esses que além de exigir elevado investimento inicial, ainda apresentam elevados custos de operação).

2.4.1. Mecanismos de gavetas

É um tipo de mecanismo usado em moldes quando a peça plástica exige a confecção de furos, alças e reentrâncias que trancariam a peça no molde em condições normais. São acionados usando colunas e seguidores, um em cada lado do molde. Quando fechados, deixam a cavidade do molde com o perfeito formato negativo da peça, quando abertos, retraem-se para dentro das placas do molde, liberando a peça para ser extraída sem danos. As gavetas são muito utilizadas quando a peça exige a passagem de alças, cabos ou encaixes perpendiculares ao sentido de extração do molde.

3. CASO DE ESTUDO

Nesse trabalho, será estudada a unidade fabril da empresa Infortel Telecom, fabricante de produtos para telecomunicação com fibra óptica, sediada em Canoas – RS. A empresa já tinha experiência em fabricação metalúrgica e desenvolvia produtos plásticos. Porém, desde Julho de 2021, iniciou a produção da Caixa de Terminação Óptica (vendida sob a marca 3Network, modelo CTO 3N0616) na nova fábrica de Canoas.

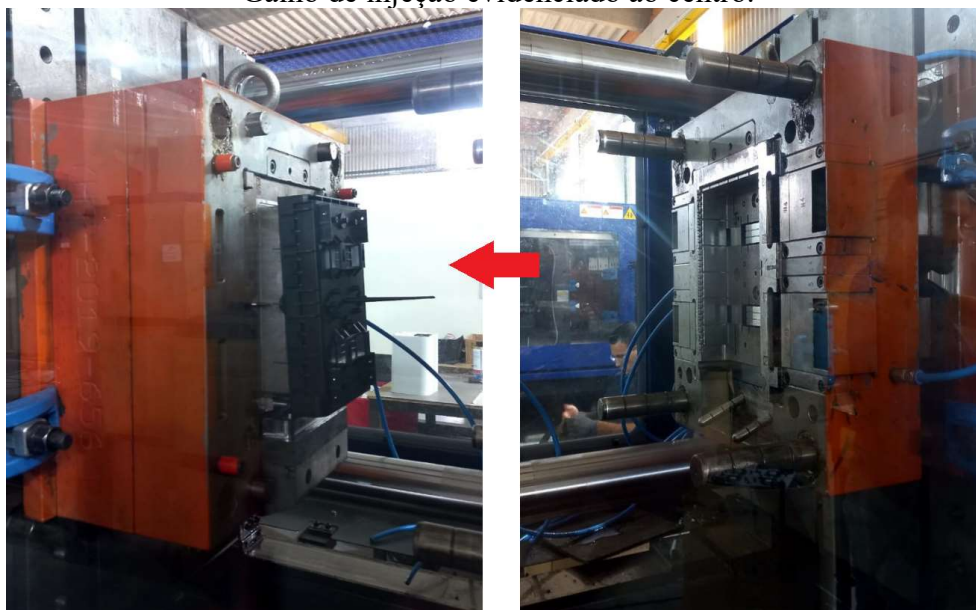
Hoje a empresa conta com três máquinas injetoras da linha MARS da fabricante Haitian, com capacidades de 1600, 2500 e 3600 kN de força de fechamento (e o projeto dos sistemas de alimentação elétrica e pneumática e de refrigeração permite a instalação de mais quatro injetoras), utilizando um total de nove moldes para a fabricação de todos os componentes desse produto.

A fim de simplificar a realização desse estudo, estipularam-se duas limitações propostas ao projeto: Primeiramente, limitou-se a proposta de alteração ao molde utilizado para a fabricação da base traseira da CTO (cujos molde e produto podem ser vistos na Figura 3). A segunda limitação foi o uso exclusivo da injetora com capacidade de fechamento de 3600 kN.

As razões da escolha do molde se deram pelas seguintes questões:

- Trata-se de um molde monocavidade, ou seja, com um único galho, logo torna mais simples a implantação de um sistema removedor de galhos;
- É um molde com cinco mecanismos de gavetas (duas em cada lateral e uma na parte inferior), assim a solução proposta deve ser compatível com todos os moldes usados para a fabricação do produto, com ou sem o mecanismo;
- É um molde no qual usa-se polipropileno (PP) como matéria-prima, polímero bastante macio e que facilita cortes deixando poucos vestígios decorrentes da estrição do material (rechupes e manchas esbranquiçadas);

Figura 3: Molde da base da CTO 3Network. À esquerda está a placa móvel do molde e à direita a placa fixa, onde ficam os mecanismos de gavetas. Galho de injeção evidenciado ao centro.



Já a escolha da máquina se deu pelo seguinte motivo:

- É a máquina com maior capacidade mássica de injeção (1127 g) e maior pressão de injeção (180 MPa) dentre os equipamentos da empresa (Vide Figura 17, no Anexo 1);

Essas duas limitações facilitaram o desenvolvimento do sistema proposto, necessitando de poucas adaptações para adequá-lo aos outros moldes e injetoras.

3.1 Problemas experimentais

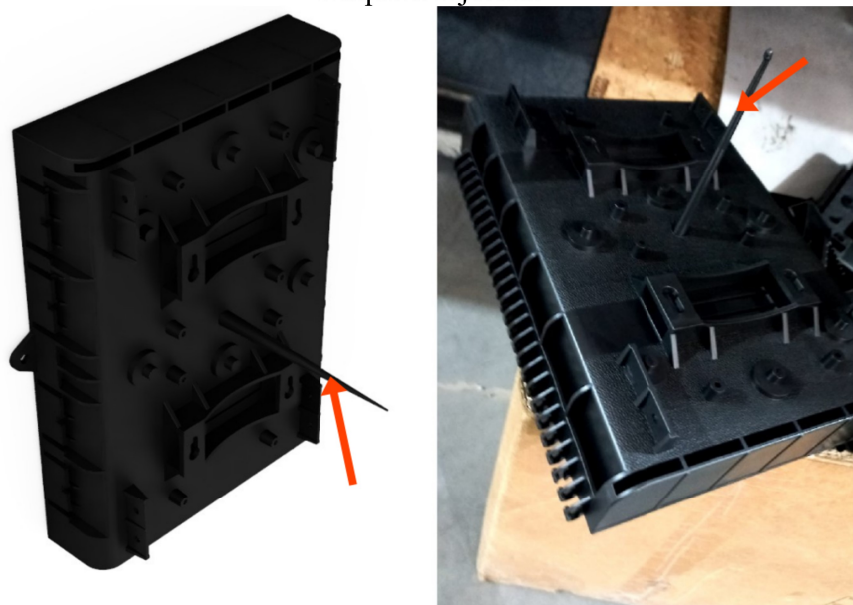
O principal problema atualmente existente nessa linha de produção é o manuseio das peças com galho remanescente do processo de injeção (como pode ser visto na Figura 4). Após o fim da moldagem, a peça cai do molde para uma rampa que a direciona para uma caixa.

A primeira desvantagem, dentre as várias que o galho traz, é a necessidade de um operador para a sua remoção usando dispositivos cortantes, como alicates, por exemplo. É um processo de simples operação, porém, ainda é um processo repetitivo e manual, que pode acarretar lesões por esforço repetitivo ao operador. Também podem ocorrer defeitos decorrentes do processamento manual, como diferenças de altura no corte ou manchas brancas causadas pela estricção do material durante o manuseio do galho.

Além disso, o galho dificulta armazenamento e logística das peças, pois nem sempre o operador consegue acompanhar o ritmo de produção da máquina, seja por necessidades de saída (tais como intervalos ou idas ao banheiro) ou mesmo pelo fato de que em alguns produtos o operador é o primeiro montador da linha, montando componentes aos produtos saídos da injetora.

Além dos problemas previamente citados, é interessante notar que para qualquer automação futura que possa vir a ser feita na linha de produção (uso de robôs para manuseio dos produtos, esteiras para movimentação e armazenamento), se faz necessária a remoção do galho de injeção, para que esses sistemas possam ser utilizados com maior eficiência.

Figura 4: Tampa traseira da CTO 3Network. À esquerda uma imagem computacional do componente com o galho (apontado pelas setas) e, à direita, imagem do produto recém saído da máquina injetora.



3.2. Desganhador

Para solucionar o problema do galho, foi desenvolvido um dispositivo para remoção de galhos (Figura 5), embutido na cavidade do próprio molde do produto, que aqui será chamado de desganhador, a ser instalado na placa fixa da injetora.

O desganhador consiste em um mecanismo composto por atuador e seguidor, acionados pneumaticamente. Os dois seguidores do desganhador, quando em posição de injeção, ficarão alinhados com a superfície do molde, sem interferir no processo de injeção ou mesmo na estética do produto. Eles estão posicionados um de cada lado do bico de injeção, e correm por dentro de uma guia de 45° que os impulsiona para frente quando acionados pelo atuador pneumático, realizando um movimento de corte (Figura 6).

Complementando o sistema, haverá uma válvula de extração pneumática no bico de injeção, para remover qualquer parte do galho que possa ter ficado alojada dentro dele, impossibilitando o processo de injeção do próximo ciclo.

O desganhador somente atuará após o fim do processo de moldagem. Antes do desganhador atuar, a injetora abrirá as placas em uma posição intermediária, enviando um sinal I/O para o desganhador. Nesse momento, o desganhador atua, cortando o galho que estará fora da placa fixa do molde enquanto a válvula pneumática sopra para fora qualquer resquício de galho. Ao fim do corte, a placa móvel volta a movimentar-se concluindo o processo de injeção com a extração da peça.

Todos os componentes do desganhador, assim como as adaptações nos moldes foram desenhados utilizando o *software Fusion 360*, da Autodesk. A escolha se deu pelo fato de o programa dispor de versão estudantil gratuita.

Figura 5: Da esquerda para a direita: Desganhador alojado na cavidade, em sua posição de repouso, para o processo de injeção; Desganhador acionado em seu fim de curso, em posição de corte do galho; Exposição dos atuadores e seguidores do desganhador em posição de repouso e por fim, exposição dos mecanismos do desganhador em sua posição de corte.

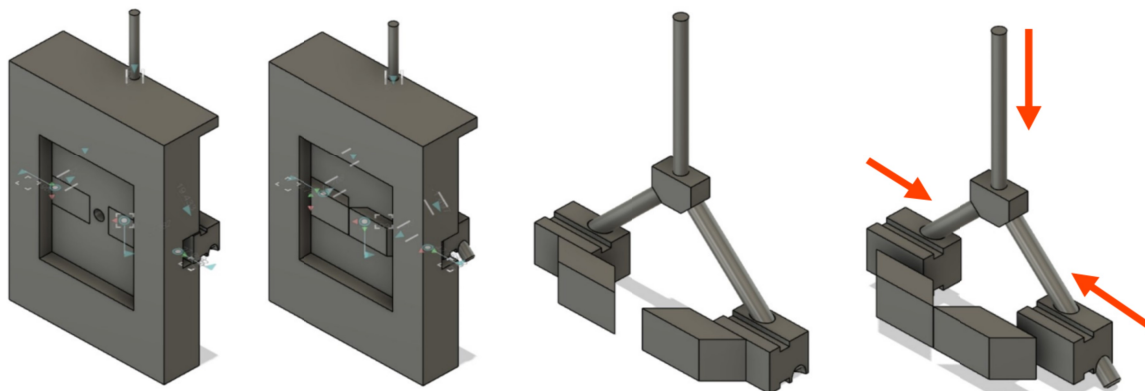
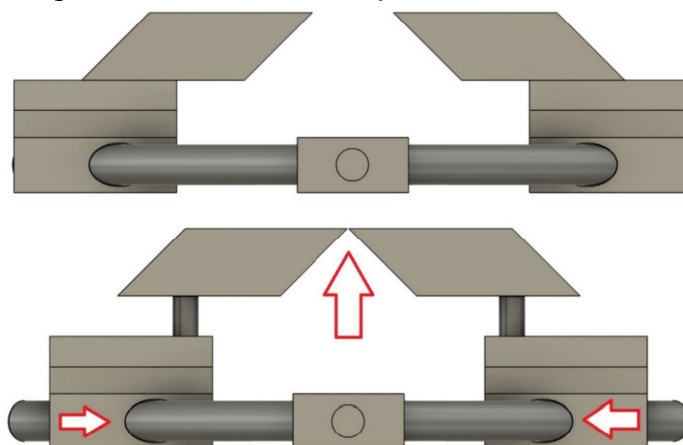


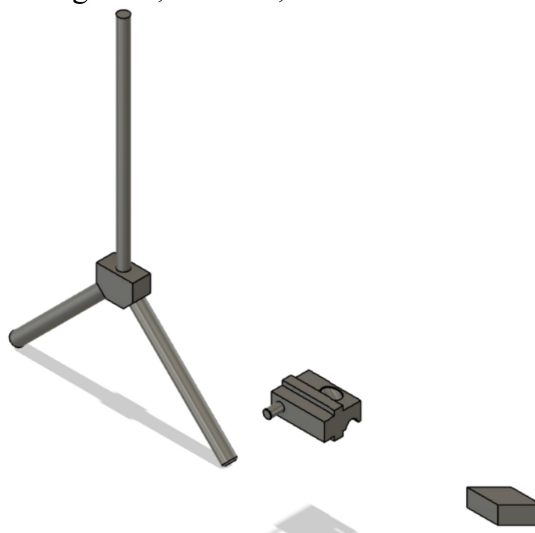
Figura 6: Movimento do desgalhador, em vista superior, mostrando o avanço das cunhas de corte.



3.2.1 Componentes e movimentação do desgalhador

O desgalhador, será composto por três componentes desenvolvidos para o dispositivo (acionador, seguidor e cunha de corte, conforme podem ser vistos na Figura 7), e outros dois componentes padrões no mercado (atuador pneumático e válvula extratora pneumática). A seguir serão apresentados os componentes que formam o projeto do dispositivo desgalhador.

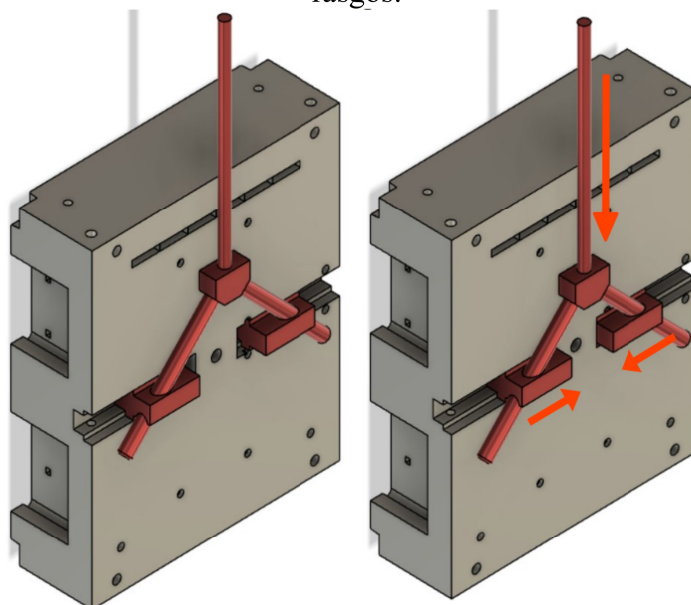
Figura 7: Componentes do desgalhador. À esquerda, o acionador; Ao centro, o seguidor; à direita, a cunha de corte.



- Acionador: composto de três hastes cilíndricas unidas por uma junta. Sua haste superior é ligada ao atuador pneumático, que o faz se movimentar verticalmente, e as duas hastes inferiores, inclinadas em 135° em relação à haste superior, são responsáveis pela movimentação dos seguidores.
- Seguidores: Componente intermediário do sistema, responsável por converter o movimento vertical do acionador em movimento horizontal para movimentar as cunhas de corte. Essa conversão ocorre por conta de o seguidor estar enclausurado em

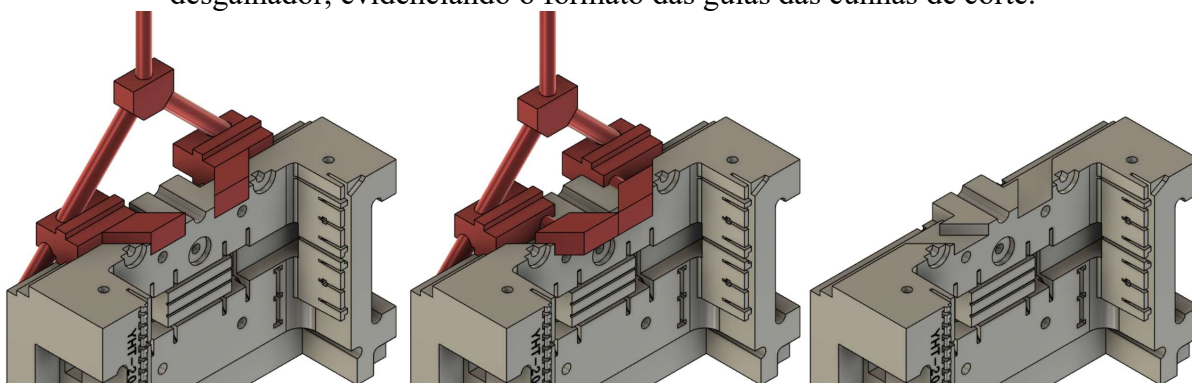
uma cavidade em formato de rasgo horizontal, que só permite movimentos nessa direção (exemplificado na Figura 8);

Figura 8: Perspectiva isométrica posterior da cavidade, evidenciando o movimento dos seguidores ao longo dos rasgos.



- Cunhas de corte: Componentes responsáveis pelo corte do galho. São ligadas aos seguidores através de um pino e estão alojadas em uma cavidade com paredes à 45° em relação à superfície do molde, de maneira a deslocar-se para a frente e com as duas arestas de corte se encostando, em um movimento similar ao de uma tesoura (como pode ser visto na Figura 9).

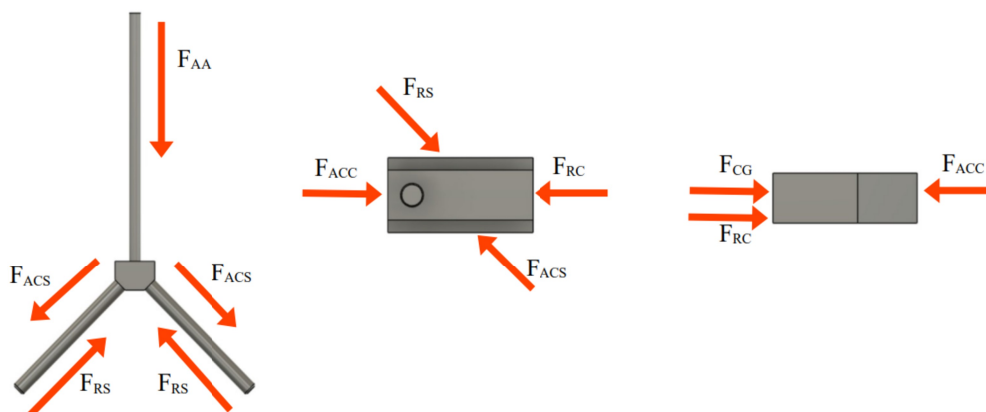
Figura 9: Perspectiva isométrica anterior da cavidade, em corte, equipada com o desganhador. À esquerda, imagem das cunhas de corte em posição de repouso. Ao centro, as cunhas estão avançadas, em posição de corte, movimentadas ao centro pelos pinos do seguidor e para a frente pelo formato da cavidade onde está alojada. À direita, cavidade em corte sem o desganhador, evidenciando o formato das guias das cunhas de corte.



3.3. Equacionamento do acionamento do desganhador

Para o dimensionamento da força necessária para o acionamento do atuador, são considerados basicamente dois esforços: A tensão de ruptura ao cisalhamento do material plástico a ser cortado e a força de atrito a ser vencida pelos seguidores e cunhas ao sair do repouso. Para isso, foram elaborados os seguintes diagramas de corpo livre (Figura 10):

Figura 10: Diagramas de corpo livre dos três componentes do desganhador.



É importante notar que as hastes guia do acionador estão à 45° em relação à sua haste principal. Dessa maneira, tem-se as seguintes equações que regem os esforços nos componentes do desganhador.

Para a cunha de corte, calculou-se o somatório de forças na direção X, F_x , a partir da força de reação da cunha, F_{RC} , da força de corte do galho, F_{CG} e da força de atrito cinética na cunha, F_{ACC} , como pode ser visto na equação 1. É interessante notar que cada cunha de corte vai sofrer metade da reação da força de corte necessária para o galho.

$$\sum F_x = F_{RC} + F_{CG}/2 - F_{ACC} = 0 \quad \text{Eq. 1}$$

Para o seguidor, as forças atuam nos dois sentidos. Dessa maneira, o resultado do somatório de forças na direção x, F_x , é dado pelas forças de atrito cinético na cunha, F_{ACC} , pela força de reação da cunha sobre o seguidor, F_{RC} , e pela decomposição na direção X das forças de atrito cinético sobre o seguidor, F_{ACS} e pela força de reação do seguidor F_{RS} , conforme equação 2. Já as forças atuantes na direção Y, F_y , são a decomposição das forças F_{ACS} e F_{RS} , conforme equação 3.

$$\sum F_x = F_{ACC} - F_{RC} + F_{ACS} \cos(45^\circ) - F_{RS} \cos(45^\circ) = 0 \quad \text{Eq. 2}$$

$$\sum F_y = F_{ACS} \sin(45^\circ) - F_{RS} \sin(45^\circ) = 0 \quad \text{Eq. 3}$$

Para o acionador, como as forças horizontais são simétricas, anulam-se, e para o somatório de forças na direção Y, F_y , restam as forças de acionamento do atuador, F_{AA} , e a decomposição das forças F_{ACS} e F_{RS} , conforme equação 4.

$$\sum F_y = 2F_{ACS} \sin(45^\circ) + 2F_{RS} \sin(45^\circ) - F_{AA} = 0 \quad \text{Eq. 4}$$

Isolando as forças de reação F_{RC} e F_{RS} nas equações 1 e 2, e aplicando-as à equação 4, chega-se à equação 5:

$$F_{AA} = 4 F_{ACS} \text{sen}(45^\circ) + F_{CG} \text{tg}(45^\circ) \quad \text{Eq. 5}$$

A Força de corte do galho F_{CG} é dado pelo produto da Área transversal do galho, A_{TG} e da tensão de ruptura do material, σ_{xx} , conforme equação 6. Já a força de atrito cinético no seguidor F_{ACS} é dada pelo produto entre o coeficiente de atrito cinético, μ_c , e a normal, N , que é o produto da massa do seguidor, M_s , pela gravidade, g , conforme equação 7.

$$F_{CG} = A_{TG} \sigma_{xx} \quad \text{Eq. 6}$$

$$F_{ACS} = \mu_c N = \mu_c M_s g \quad \text{Eq. 7}$$

A base da CTO da Infortel é produzida em polipropileno, segundo PAIVA (2005) como é possível ver na Figura 18 do Anexo II, a tensão de ruptura à tração deste material é de 17,4 MPa. É interessante notar que esse valor é para polipropileno em temperatura ambiente, quando se conclui o processo de injeção, o produto ainda está quente, o que diminui a resistência mecânica do material, portanto, usar esse valor para a tensão de ruptura vai resultar em um sistema superdimensionado.

Já o coeficiente de atrito estático, segundo TEIXEIRA (2022), para aço sobre aço, lubrificado, é de 0,1. E os valores de massa do seguidor, assim como o diâmetro do galho, foram tomados usando o *AutoDesk Fusion 360*, que retornou valores de massa do seguidor $M_s = 0,417$ kg (considerando aço SAE 1045) e de diâmetro do galho $\varnothing_G = 10,253$ mm. Assim, aplicando as equações 6 e 7 na equação 5 e utilizando os dados informados, chega-se ao resultado da força de acionamento do atuador:

$$F_{AA} = 4 \mu_c M_s g \text{sen}(45^\circ) + (A_{TG} \sigma_{xx}) \text{tg}(45^\circ)$$

$$F_{AA} = 4 \cdot 0,1 \cdot 0,417 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot \text{sen}(45^\circ) + \left(\frac{\pi \cdot (10,253 \text{ mm})^2}{4} \cdot 17,4 \text{ MPa} \right) \cdot \text{tg}(45^\circ)$$

$$F_{AA} = 1436 \text{ N}$$

Analisando o catálogo da Festo, encontra-se o atuador DSNU-63-25-P-A (Figura 11), cuja haste tem curso de 25 mm, diâmetro de 16 mm e exerce força teórica de retorno e avanço de 1870N e 1681 N, respectivamente, o que o torna compatível com o problema proposto.

Figura 11: Atuador Festo DSNU-63-25-P-A, com dupla ação.



Utilizando este atuador, onde a média das forças de avanço e retorno, F_m é de 1776 N, obtém-se um coeficiente de segurança, S , de 1,24, conforme equação 8.

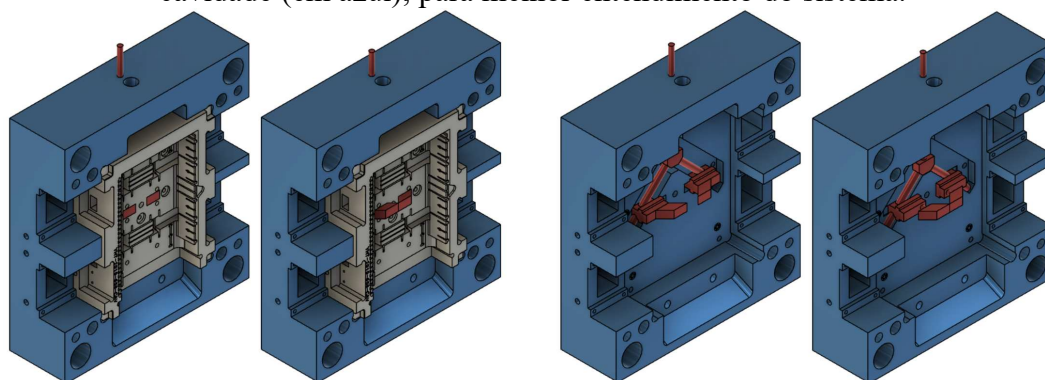
$$S = F_m / F_{AA} = 1776 \text{ N} / 1436 \text{ N} = 1,24 \quad \text{Eq. 8}$$

4. RESULTADOS

4.1. Descrição técnica do desganhador

O desganhador ficará alojado na placa porta cavidade. Nesse molde, a cavidade não é usinada diretamente na placa, ficando inserida em um alojamento retangular na placa porta cavidade. O atuador ficará posicionado na placa porta cavidade, com os seus acionadores alojados em seu interior, contornando a bucha de injeção, de maneira a não colidir com este. Os seguidores também ficarão alojados na placa porta cavidade enquanto as cunhas de corte se posicionam na cavidade, ficando alinhados com a superfície da cavidade em sua posição de descanso (Figura 12).

Figura 12: Molde da Base da CTO equipado com o desganhador. À esquerda, desganhador(em vermelho) alojado na cavidade (em cinza), em suas posições de descanso e de corte, e à direita, as mesmas posições somente com a placa porta cavidade (em azul), para melhor entendimento do sistema.



4.2. Programação lógica do desganhador

O desganhador seguirá o fluxograma lógico da Figura 13, na qual interage com as portas I/O da injetora. Enquanto a injetora transmite os sinais output de ações como abertura de molde, o controlador do desganhador enviará sinais de input para a injetora, a fim de controlar as etapas do ciclo de injeção. Este ciclo pode ser visto também no diagrama de fluxo de sinais do sistema, presente na Figura 14, seguindo a dada sequência de ações:

1. Molde está fechado e finalizou os processos de recalque e resfriamento do produto;
2. A injetora inicia a abertura do molde e para em posição intermediária, enviando sinal output ao CLP do desganhador;
3. O atuador do desganhador avança, realizando o movimento de corte;
4. O atuador do desganhador recua, finalizando o corte e enviando um sinal input para o controlador da injetora;
5. A injetora finaliza a abertura do molde;
6. O extrator Pneumático realiza a expulsão de possíveis galhos que estejam obstruindo o bico de injeção;
7. A injetora realiza a extração da peça injetada através da placa extratora do molde;
8. O molde fecha para realizar novo ciclo de operação;

Figura 13: Fluxograma lógico da atuação do desgalhador

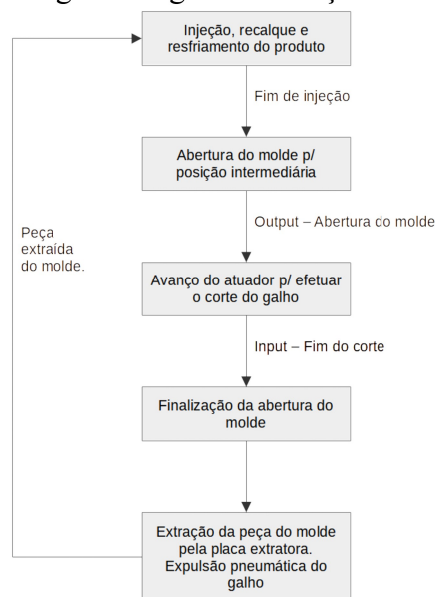
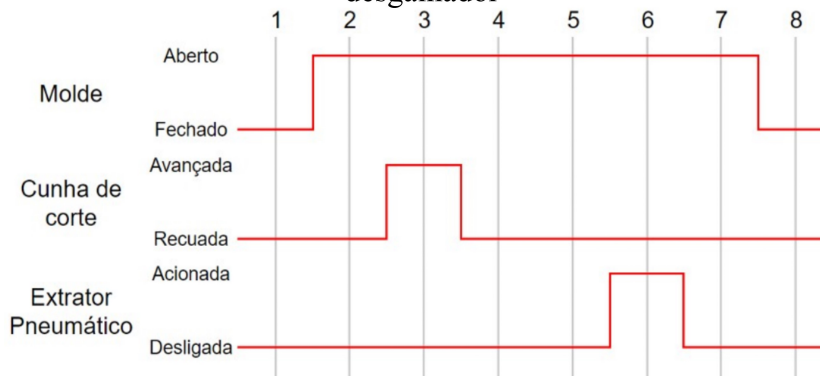


Figura 14: Diagrama de fluxo de sinais do molde e do desgalhador



4.3. Simulação do circuito eletropneumático

O circuito pneumático, assim como os seus devidos acionamentos elétricos, foram simulados com o uso do *software FluidSIM*, conforme pode ser visto nos resultados das Figura 15 e Figura 16.

Nesse circuito simulado, o atuador “A” de Dupla Ação é ligado a uma válvula 5/2 vias controlada por solenoide, ligados em série com controladores de velocidade e está realizando o mesmo movimento que o atuador do desgalhador fará.

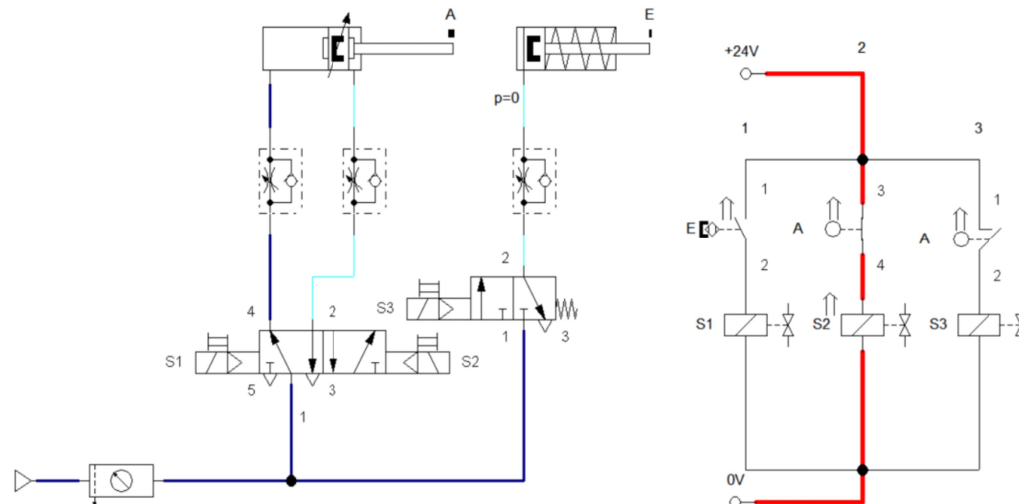
Já o cilindro B é uma adaptação, simulando a ação da válvula extratora pneumática que ficará alojada na bucha de injeção do molde, a fim de remover galhos remanescentes que possam atrapalhar o próximo ciclo de injeção.

Na simulação, o cilindro de dupla ação, A, é a representação do atuador do desgalhador, enquanto o cilindro de simples ação com retorno por mola, E, faz as vezes do extrator pneumático, que no molde será uma válvula. O solenoide S1 simula o output da injetora, enquanto os solenoides S2 e S3 simulam o input vindo do CLP do desgalhador.

Na simulação do circuito eletropneumático do desgalhador executada no FluidSIM, o cilindro avança acionado pelo solenoide S1, que simula o output da injetora. Ao concluir o

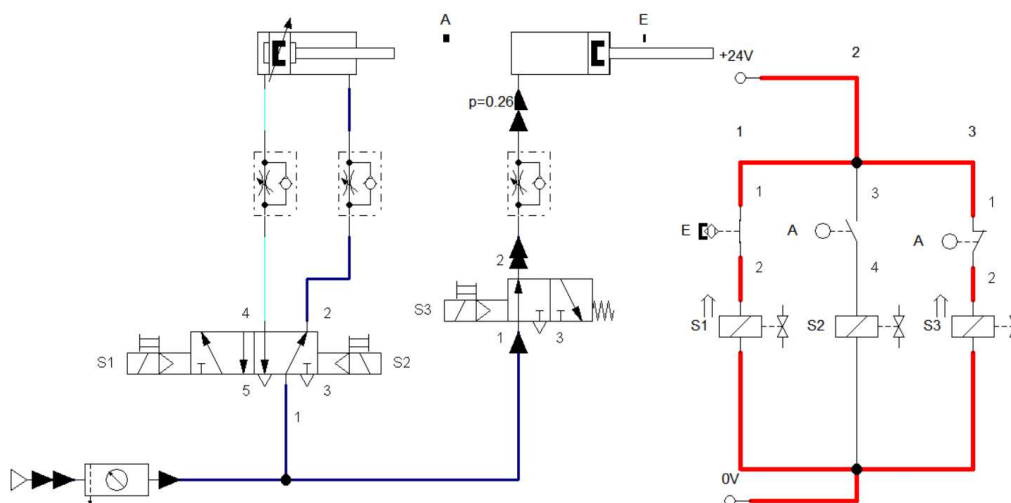
avanço, comuta o circuito elétrico, para que o solenoide S2 receba o sinal que permite o retorno do atuador A e o avanço do cilindro E que simula o extrator.

Figura 15: Simulação do avanço do desganhador no FluidSIM, onde o atuador A simula o desganhador e o atuador E simula o extrator pneumático



O atuador A retorna, enquanto o atuador E está avançado. Ao fim do retorno de A, o solenoide S3 é desativado, permitindo o retorno por mola. Ao fim do retorno do cilindro, o solenoide S1 recebe o sinal para realizar novamente o avanço do atuador A, simulando o sinal que a injetora vai receber para iniciar um novo ciclo de injeção.

Figura 16: Simulação do retorno do desganhador no FluidSIM e ativação do extrator após o corte do galho,



5. CONCLUSÃO

Este estudo propôs o desenvolvimento de um dispositivo removedor de galhos decorrentes do processo de injeção de termoplásticos, aqui chamado de desganhador.

Apesar da necessidade de um projeto de molde mais complexo e de uso de sistemas pneumáticos para a sua atuação, ele apresenta-se como uma alternativa aos sistemas de câmaras quentes, que exigem alto consumo energético para manter o polímero fundido dentro de partes do molde.

Para sua implementação, se faz necessário realizar adaptações ao molde, usinando placas e componentes para a inserção do dispositivo desganhador, assim como também exige que as máquinas injetoras da unidade tenham portas I/O para permitir a automação do sistema.

Sugere-se para trabalhos futuros, estudos do estado de tensões do material injetado, principalmente para evitar que a atuação do desganhador possa gerar manchas brancas no corte (decorrentes da estrição do plástico), rechupes ou mesmo rupturas em locais indesejados. Também fica a sugestão da adaptação desse sistema para outros tipos de materiais (para elastômeros como o TPE, ou plásticos menos dúcteis, como o ABS), ou mesmo para moldes multicavidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HARADA, Julio. “**Moldes para injeção de termoplásticos: Projetos e princípios básicos**”, ArtLiber Editora, São Paulo - SP, 1ª ed, 2004.

GARCIA, Mauro Cesar Rabuski. “**Fundamentos de projetos de ferramentas: Moldes de injeção para termoplásticos**”, Notas de aula, IFSul, 2009.

XCENTRIC MOLD & ENGINEERING, “**About the injection Molding**”, 2012. Disponível em <https://web.archive.org/web/20121122105321/http://www.xcentricmold.com/aboutinjectmold.php>. Acesso em 11 de Maio de 2022.

PRUDENTE, Francesco. “**Automação industrial pneumática: Teoria e Aplicações**”, LTC Editora, Rio de Janeiro – RJ, 1ª ed, 2013

PAIVA, Lucilene B. de; MORALES, Ana R.; GUIMARÃES, Thiago R. “” Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/YsBWdjnxbgQm7cWKsdWTQzD/?lang=pt>

LUZ, Sandra M. da; GONÇALVEZ, Adilson R.; DEL’ARCO JR, Antônio P.; “**Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana**”, Faculdade de Engenharia Química de Lorena, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/kgwzzRvZb6zKMLQzGdfrFZh/?lang=pt#>

TEIXEIRA, Mariane Mendes. “**Força de atrito**”; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/fisica/forca-atrito.htm>. Acesso em 22 de abril de 2022.

HAITIAN. “**Haitian Mars/G Series: Specifications**”. Catálogo da fabricante. 2020

FESTO. “**Cilindro redondo DSNU-63-25-P-A**” Disponível em <https://www.festo.com/br/pt/a/download-document/datasheet/196010>. Acesso em 13 de Maio de 2022.

ANEXO 1 – Especificações técnicas da injetora Haitian MA 3600

Figura 17: Especificações Técnicas da Injetora Haitian MA 3600 (Catálogo Haitian, Adaptado).

Specification		MA 3600/2250G		
		A	B	C
INJECTION UNIT				
Screw Diameter	mm	65	70	80
Screw L/D Ratio	L/D	21.5	20	17.5
Shot Size (Theoretical)	cm ³	1068	1239	1619
Injection Weight (PS)	g	972	1127	1473
Injection Rate	g/s	279	323	422
Injection Pressure	Mpa	208	180	138
Plasticizing Capacity(ps)	g/s	38.2	44.9	58.7
Screw Speed	rpm	0-185		
CLAMPING UNIT				
Clamp Tonnage	KN	3600		
Toggle Stroke	mm	660		
Space Between Tie Bars	mm	710X710		
Max.Mold Height	mm	710		
Min. Mold Height	mm	250		
Ejector Stroke	mm	160		
Ejector Tonnage	KN	110		
OTHERS				
Max. Pump Pressure	Mpa	16		
Pump Motor Power	Kw	37		
Heater Power	Kw	30.65		
Machine Dimension(LxWxH)	m	7.91X2.12X2.42		
Machine Weight	t	14.7		
Hopper Capacity	Kg	50		
Oil Tank Capacity	L	640		

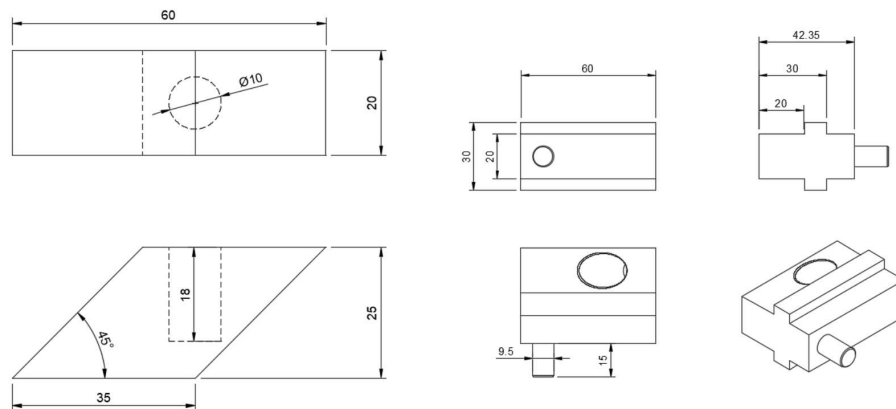
ANEXO 2 – Resultados de ensaio de tração para polipropileno

Figura 18: Resultados de ensaios de tração para polipropileno em diferentes configurações. (PAIVA, 2005)

Amostra	Módulo Elastico (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Tensão Ruptura (MPa)	Def. Força Máx. (%)	Def. na Ruptura (%)
PP	335,7 ± 4,4	34,6 ± 0,8	17,4 ± 3,9	23 ± 0,5	345 ± 42,9
P15	335,7 ± 6,1	33,9 ± 0,4	12,4 ± 5,8	23 ± 0,5	712 ± 35,5
P30	333,1 ± 6,5	33,0 ± 0,4	22,4 ± 3,8	21 ± 0,6	41 ± 8,9
N2,5	352,4 ± 4,2	35,3 ± 0,2	22,5 ± 8,0	22 ± 0,4	38 ± 4,3
N5	358,7 ± 3,7	34,4 ± 0,2	31,1 ± 0,6	20 ± 0,3	30 ± 1,8
N7,5	363,7 ± 6,7	33,1 ± 0,3	29,8 ± 10,4	18 ± 0,9	18 ± 1,0
N10	371,4 ± 8,1	29,9 ± 0,7	29,8 ± 0,7	13 ± 0,7	12 ± 0,7

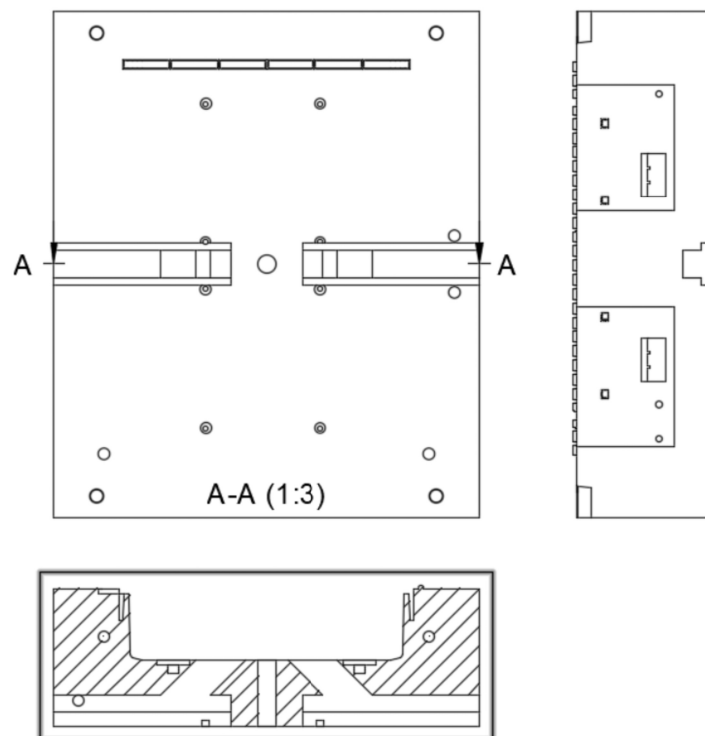
APÊNDICE A – Desenho técnico da cunha e do seguidor

Figura 19: À esquerda, dimensões da cunha de corte do desganhador e à direita, desenho do seguidor



APÊNDICE B – Cavidade do molde adaptada

Figura 20: Projeção Isométrica da cavidade do molde após as adaptações para receber o desganhador. Detalhe para o corte de seção na parte inferior.



APÊNDICE C – Placa porta cavidade do molde adaptada

Figura 21: Vista anterior da placa porta cavidade com os rebaixos ao centro da placa para receber o desganhador.

