

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

JOSÉ MAURI DA SILVA JUNIOR

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO
DE MOLDES DE INJEÇÃO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MANAUS

2023

JOSÉ MAURI DA SILVA JUNIOR

**SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO
DE MOLDES DE INJEÇÃO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade do
Estado do Amazonas.

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del
Pino

**MANAUS
2023**

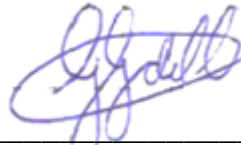
TERMO DE APROVAÇÃO

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO DE MOLDES DE INJEÇÃO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

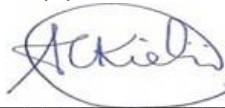
por

JOSÉ MAURI DA SILVA JUNIOR

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 31 de março de 2023 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.



Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino
Prof.(a) Orientador(a)



Prof. Dr. Antônio Claudio Kieling
Membro titular



Prof. Dr. Aristides Rivera Torres
Membro titular

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Sistema Integrado de Bibliotecas da Universidade do Estado do Amazonas.

J95ss Junior, José Mauri da Silva
Simulação computacional de sistemas de refrigeração de
moldes de injeção: uma análise comparativa / José Mauri
da Silva Junior. Manaus : [s.n], 2023.
47 f. : ; 31 cm.

Graduação em Engenharia Mecânica - Universidade do
Estado do Amazonas, Manaus, 2023.
Inclui bibliografia
Orientador: Pino, Gilberto Garcia Del

1. Injeção Plástica. 2. Simulação de Injeção. 3.
Solidworks Plastics. I. Pino, Gilberto Garcia Del (Orient.).
II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Simulação
computacional de sistemas de refrigeração de moldes de
injeção: uma análise comparativa

Elaborado por Jeane Macelino Galves - CRB-11/463

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar presente durante toda minha caminhada, ajudando a ultrapassar todos os obstáculos. Aos meus familiares por me incentivarem e não me deixarem desistir nos momentos difíceis e de desânimo, por me compreenderem quando precisei me ausentar enquanto fazia este trabalho. Aos professores pelos ensinamentos que me proporcionaram melhorar meu desempenho durante meu processo de formação profissional. Por fim a todos que contribuíram de alguma forma durante toda a minha trajetória acadêmica.

“A persistência é o caminho do êxito.”
CHAPLIN, Charles.

RESUMO

JUNIOR, José. **Simulação Computacional de Sistemas de Refrigeração de Moldes de Injeção: uma análise comparativa**. 2023. 47 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade do Estado do Amazonas. Manaus.

O processo de moldagem por injeção plástica é amplamente utilizado em diversas indústrias, mas a qualidade final do produto é influenciada por vários fatores, incluindo o projeto do molde. A simulação de injeção é uma ferramenta fundamental para garantir a eficiência e qualidade do processo de moldagem, permitindo identificar problemas comuns como linhas de solda e deformação, além de avaliar diferentes cenários, o que reduz custos e tempo de desenvolvimento de novos produtos. Nesse contexto, este trabalho visa analisar a eficiência do sistema de refrigeração em um molde de quatro cavidades, utilizando a simulação de injeção com o *software* CAE *Solidworks Plastics*. Foram testados dois sistemas de refrigeração, um em série e outro em paralelo, e verificou-se o grau de deformação causado por cada um dos sistemas na peça.

Palavras-chave: Injeção Plástica. Simulação de Injeção. Solidworks Plastics.

ABSTRACT

JUNIOR, José. **Computational Simulation of Injection Mold Cooling Systems: A Comparative Analysis**. 2023. 47 p. Undergraduate Thesis in Mechanical engineering- Universidade do Estado do Amazonas- Manaus, 2023.

The plastic injection molding process is widely used in various industries, but the final product quality is influenced by several factors, including the mold design. Injection simulation is a key tool to ensure the efficiency and quality of the molding process, allowing the identification of common problems such as weld lines and deformation, as well as the evaluation of different scenarios, which reduces costs and time for new product development. In this context, this work aims to analyze the efficiency of the cooling system in a four-cavity mold, using injection simulation with the CAE Solidworks Plastics software. Two cooling systems were tested, one in series and one in parallel, and the degree of deformation caused by each system in the part was verified..

Keywords: Plastic Injection. Injection Simulation. Solidworks Plastics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Fórmula química dos polímeros mais consumidos.	15
Figura 2- Unidades estruturais do ABS.	18
Figura 3- Máquina injetora Arburg.	19
Figura 4- Unidades da máquina injetora.	19
Figura 5- Unidade de injeção.	20
Figura 6- Unidade de fechamento.	20
Figura 7- Ciclo de injeção.	21
Figura 8- Molde duas placas.	23
Figura 9- Molde de três placas.	24
Figura 10- Molde com sistema de camara quente.	24
Figura 11- Ilustração do sistema de alimentação.	25
Figura 12- Canal de injeção.	25
Figura 13- Ponto de injeção submarina.	27
Figura 14- Posicionamento dos canais de refrigeração.	28
Figura 15- Configurações dos sistemas: (A) Série, (B) Paralelo.	28
Figura 16- Disposição das cavidades.	29
Figura 17- Configuração do sistema de refrigeração.	31
Figura 18- Dimensões do circuito de refrigeração em serie.	31
Figura 19- Dimensões do circuito de refrigeração em paralelo.	32
Figura 20- Linhas de solda fria: (A) Externo, (B) Interno.	33
Figura 21- Bolsas de ar.	34
Figura 22- Comparação da deformação entre os circuitos série e paralelo.	35
Figura 23- Molde.	35
Figura 24- Seção de corte do ponto de injeção submarina.	36
Figura 25- Detalhes internos do molde.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Propriedades do ABS a 23° C.	18
Tabela 2- Diâmetros para o canal de alimentação.	26
Tabela 3- Parâmetros do processo.	32

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Características dos principais polímeros.	16
Quadro 2- Valores de contração dos polímeros.	17
Quadro 3- Dimensões do sistema de alimentação.	30

LISTA DE SIMBOLOS

CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CA	Acetato de Celulose
CAB	Acetato – Butirato de Celulose
PA	Poliamida
PVC	Cloreto de Polivinila
PMMA	Metilmetacrilato
PS	Poliestireno
ABS	Acrilonitila – Butadieno – Estireno
SAN	Acrilonitila – Estireno
PEBD	Polietileno Baixa Densidade
PEAD	Polietileno Alta Densidade
PP	Polipropileno
PC	Policarbonato
POM	Polioximetileno
OS	Poliestireno
P.F	Fenol - Formaldeído
U.F	Ureia – Formaldeído
M.F	Melanina - Formaldeído
U.P	Poliéster
C	Carbono
H	Hidrogênio
Cl	Cloro
°C	Grau Celsius
MPa	Mega Pascal
s	Segundos
cc	Centímetro Cubico
°	Grau
%	Porcentagem
∅	Diâmetro
mm	Milímetros
m	Metro
g	Gramas

cm ²	Centímetro quadrado
ft	<i>Feet</i>
lb	Libra
in	<i>Inch</i>
psi	<i>Pound Force per Square Inch</i>
S	Espessura
D	Diâmetro
A	Distância
B	Distância

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	15
RESUMO	17
ABSTRACT	18
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	19
LISTA DE SIMBOLOS.....	21
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 MOTIVAÇÃO	12
1.2 OBJETIVO GERAL.....	13
1.2.1Objetivos Específicos.....	13
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	13
2 POLÍMEROS	15
2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS	15
2.1.1Termoplásticos.....	16
2.1.2Termofixos	16
2.2 CONTRAÇÃO DOS POLÍMEROS	17
2.3 ABS.....	18
3 MÁQUINA INJETORA	19
3.1 PARTES DA MÁQUINA INJETORA	19
3.2 CICLO DE INJEÇÃO	21
4 MOLDE	23
4.1 TIPOS DE MOLDES	23
4.2 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO	25
4.3 PONTO DE INJEÇÃO TIPO SUBMARINA.....	26
4.4 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO	27
4.4.1Sistema de refrigeração série e paralelo	28
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
6.1 LINHAS DE SOLDA FRIA.....	33
6.2 BOLSAS DE AR.....	34
6.3 DEFORMAÇÃO DO PRODUTO	34
6.4 O MOLDE	35
7 CONCLUSÃO	37
7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	39
REFERÊNCIAS.....	40
ANEXO A – DEFORMAÇÕES CIRCUITO SÉRIE.....	42
ANEXO B – DEFORMAÇÕES CIRCUITO PARALELO	44

1 INTRODUÇÃO

A moldagem por injeção plástica é um processo de produção muito comum em diversas indústrias, como a automotiva, eletrônica, brinquedos, entre outras. A qualidade final do produto depende de diversos fatores, incluindo a escolha do material, o projeto do molde e o processo de produção.

O projeto de um molde de injeção plástica é um processo complexo que requer muitos estudos e análises. Cada produto tem suas particularidades e especificidades, o que torna ainda mais desafiador o processo de dimensionamento do molde. Além disso, as peças moldadas por injeção plástica geralmente apresentam problemas comuns, como linhas de solda, aprisionamento de gases e deformação do produto, que podem comprometer a qualidade final do produto.

Nesse contexto, a simulação de injeção se torna uma ferramenta essencial para garantir a eficiência e qualidade do processo de moldagem por injeção plástica. Com a simulação, é possível analisar diferentes cenários, como a influência de diferentes parâmetros de injeção, sistemas de refrigeração e geometrias de peças, e avaliar o seu impacto na qualidade final do produto.

A simulação permite a identificação de problemas comuns na moldagem por injeção, contribuindo para a obtenção de um produto final de qualidade superior. Além disso, a simulação permite a avaliação virtual e antecipada do processo de produção de peças plásticas por moldagem por injeção, sem a necessidade de se construir moldes e peças físicas, possibilitando identificar problemas e fazer ajustes no processo antes da produção em larga escala, reduzindo custos e tempo de desenvolvimento de novos produtos.

1.1 MOTIVAÇÃO

Dito isto, este presente trabalho tem como motivação, utilizar a simulação computacional como uma ferramenta eficaz e precisa para avaliar diferentes cenários e identificar problemas que podem comprometer a qualidade da peça.

1.2 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho é utilizar a simulação computacional para analisar qual o melhor sistema de refrigeração, entre série e paralelo, para um molde de quatro cavidades garantindo sua precisão.

1.2.1 Objetivos Específicos

Dentre os objetivos específicos, estão:

- Descrever o processo de moldagem por injeção plástica, apresentando as principais etapas envolvidas no processo.
- Analisar as linhas de soldas e aprisionamento de gases formadas no produto.
- Avaliar o nível de deformação do produto causado pelos sistemas de refrigeração analisados.
- Apresentar o molde e suas principais partes.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é dividido em 6 capítulos, conforme estruturado abaixo:

- Capítulo 1 – Apresentação da motivação para a escolha do tema abordado, exposição dos objetivos do trabalho e descrição de sua estruturação.
- Capítulo 2 – Será apresentada uma introdução sobre polímeros, sua classificação, contração e algumas características específicas do polímero ABS, uma vez que se trata do material que será utilizado na simulação de injeção.

- Capítulo 3 – Este capítulo abordará a introdução sobre a máquina injetora, suas partes constituintes e ciclo de injeção, explicando as diferentes fases do processo e a função de cada componente da máquina.
- Capítulo 4 – Neste capítulo, será feita uma abordagem sobre moldes, explicando os principais tipos de moldes, o sistema de alimentação e o sistema de refrigeração.
- Capítulo 5 – Esse capítulo tratará dos principais parâmetros utilizados para a realização da simulação de injeção.
- Capítulo 6 – Apresentação dos resultados obtidos da simulação de injeção e comentários.

2 POLÍMEROS

Os polímeros são materiais amplamente utilizados na indústria para a fabricação de diversos produtos, desde embalagens e utensílios domésticos até peças automotivas e eletrônicas. A moldagem por injeção é uma das técnicas mais comuns para a produção em massa de peças de polímeros.

Manrich (2013), define os polímeros como materiais que podem ser orgânicos ou inorgânicos, sintéticos ou naturais, com estruturas repetidas e de elevado peso molecular. Na figura, encontra-se a fórmula química de alguns polímeros.

Figura 1- Fórmula química dos polímeros mais consumidos.

Polímero	Monômero	Unidade repetidora
Poliétileno Polipropileno	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH}_2 \\ \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$	$\begin{array}{c} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \\ - \text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{CH}_3 \end{array}$
Poliestireno	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$	$\begin{array}{c} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
Poli (cloreto de vinila) "PVC"	$\begin{array}{c} \text{CH}_2 = \text{CH} \\ \\ \text{Cl} \end{array}$	$\begin{array}{c} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \\ \\ \text{Cl} \end{array}$

Fonte: HARADA (2004).

Pode-se dizer que os polímeros são extremamente importantes para as indústrias devido as suas grandes utilidades em abrangentes áreas. Neste contexto, fica claro que desde a sua descoberta as suas funcionalidades se expandem cada vez mais. Isso se deve ao fato de que os polímeros quando passam por processos como: extrusão, injeção e termoformagem conseguem adquirir a forma de diversos produtos para as mais variadas aplicações. (LIRA, 2017).

2.1 CLASSIFICAÇÃO DOS POLÍMEROS

Em suma, os polímeros podem ser classificados de diversas formas, dependendo dos objetivos de quem os classifica. As formas mais comuns são em relação à estrutura química, características tecnológicas, método de preparo e

comportamento mecânico. Para Harada (2004), em relação as características tecnológicas os polímeros podem ser classificados entre dois grupos, os termoplásticos e os termofixos.

Quadro 1- Características dos principais polímeros.

	Nome genérico	Abreviatura	Peso específico (g/cm ³)	Temperatura de transformação (°C)	Temperatura máxima de resistência no serviço (°C)
Termoplásticos	Acetato de Celulose	CA	1,34	184 - 230	60
	Acetato - Butirato de Celulose	CAB	1,22	160 - 200	70
	Poliâmida (Nylon)	PA	1,15	180 - 290	100
	Cloreto de Polivinila rígido	PVC	1,45	175 - 200	65
	Cloreto de Polivinila flexível	PVC	1,45	175 - 200	65
	Poliimetilmetacrilato	PMMA	1,18	180 - 230	80
	Poliestireno	OS	1,04	180 - 210	80
	Acrlonitrila - Butadieno Estireno	ABS	1,05	180 - 250	80
	Acrlonitrila - Estireno	SAN	1,08	220 - 240	85
	Poliétileno Baixa Densidade	PEBD	0,92	150 - 175	90
	Poliétileno Alta Densidade	PEAD	0,96	185 - 220	105
	Polipropileno	PP	0,91	200 - 220	140
	Policarbonato	PC	1,2	240 - 290	130
Polióximetileno (Acetal)	POM	1,4	175 - 190	95	
Termofixos	FenoI - Formaldeído (Baquelita)	P.F	1,37	149 - 177	160
	Uréia - Formaldeído (Baquelita)	U.F	1,45 - 1,55	135 - 188	135
	Melamina - Formaldeído (Melamina)	M.F	1,4 - 1,55	135 - 188	100
	Poliéster (com Fibra de Vidro)	U.P	1,6 - 2,1	120 - 180	120

Fonte: HARADA (2004).

2.1.1 Termoplásticos

Uma afirmação segura é de que os termoplásticos são materiais plásticos que se tornam maleáveis quando aquecidos e solidificam novamente quando esfriam, tornando-os uma escolha popular na indústria de plásticos, como bem nos assegura Manrich (2013). Sua grande importância para a indústria decorre das várias vantagens em relação a outros materiais, tais como resistência, versatilidade, facilidade de moldagem, entre outros.

2.1.2 Termofixos

Como bem nos assegura Ashby e Johnson (2013), pode-se dizer que os termofixos são materiais plásticos que, diferentemente dos termoplásticos, não podem ser moldados novamente após serem conformados. Entre os pontos positivos dos termofixos, destaca-se a sua alta resistência térmica e mecânica, o que os torna uma escolha comum em aplicações que requerem alta durabilidade e estabilidade dimensional. Já como ponto negativo, pode-se citar que os termofixos têm baixa

flexibilidade e, portanto, não são indicados para aplicações em que é necessário um certo grau de deformação, como em peças que precisam ser dobradas ou torcidas.

2.2 CONTRAÇÃO DOS POLÍMEROS

A contração dos polímeros ou encolhimento é um fenômeno comum que faz com que ocorra diferenças nas dimensões entre peça injetada e o tamanho da cavidade após o resfriamento. Segundo Harada (2004), esse processo ocorre porque, quando um polímero é aquecido para a moldagem, suas moléculas se expandem e se tornam menos densas. Quando o polímero é resfriado alcançando o equilíbrio térmico, as moléculas perdem energia térmica e começam a se agrupar novamente, resultando em uma redução no volume do material. Abaixo segue um quadro com os principais valores de contrações de alguns polímeros.

Quadro 2- Valores de contração dos polímeros.

Materiais	Abreviaturas	% de contração
Acetato de celulose	CA	0,3 – 0,7
Acetato- Butirato de Celulose	CAB	0,2 – 0,5
Poliamida (Náilon)	PA	1 – 2,5
Cloreto de Polivinila (Rígido)	PVC	0,1 – 0,2
Cloreto de Polivinila (Flexível)	PVC	0,2 – 2
Metilmetacrilato	PMMA	0,2 – 0,8
Poliestireno	PS	0,2 – 0,6
Acrilonitila – Butadieno – Estireno	ABS	0,3 – 0,8
Acrilonitila – Estireno	SAN	0,2 – 0,5
Polietileno Baixa Densidade	PEBD	1,5 – 3
Polietileno Alta Densidade	PEAD	1,5 – 3
Polipropileno	PP	1,5 – 2,5
Policarbonato	PC	0,5 – 0,7
Polioximetileno (Acetal)	POM	2,5

Fonte: HARADA (2004).

A contração pode variar dependendo da estrutura do polímero e das condições de moldagem. Além disso, a contração pode causar distorções ou defeitos na peça moldada. Em sua obra Santos (2021), afirma que a estrutura dos polímeros influencia no processo, pois os termoplásticos geralmente apresentam uma contração maior do que os termofixos.

2.3 ABS

ABS é a sigla para acrilonitrila-butadieno-estireno, é um polímero termoplástico amplamente utilizado em diversas aplicações devido às suas excelentes propriedades mecânicas, térmicas e químicas. O ABS é um material que pode ser economicamente vantajoso em relação a outros materiais, como metal e madeira, devido ao seu baixo custo, facilidade de processamento, boa resistência ao impacto e capacidade de reciclagem. (LEFTERI, 2018).

Figura 2- Unidades estruturais do ABS.



Fonte: SMITH; HASHEMI (2013).

Pode-se dizer que as diversas propriedades utilizadas na engenharia que o ABS possui, é devido a combinação de seus componentes. Neste contexto, acrilonitrila, butadieno e estireno são componentes utilizados na produção do ABS, onde a acrilonitrila contribui para melhorar a resistência química e aumentar a tenacidade, o butadieno melhora a resistência ao impacto e reduz a propriedade de retenção, enquanto o estireno fornece rigidez e facilidade de processamento ao material. (SMITH; HASHEMI, 2013).

Tabela 1- Propriedades do ABS a 23° C.

	Alto impacto	Médio impacto	Baixo impacto
Resistência ao impacto (Izod) em ft.lb/in	7-12	4-7	2-4
Resistência ao impacto (Izod) em J/m	375-640	215-375	105-320
Resistência à tração × 1.000 psi	4,8-6,0	6,0-7,0	6,0-7,5
Resistência à tração MPa	33-41	41-48	41-52
Alongamento (%)	15-70	10-50	5-30

Fonte: SMITH; HASHEMI (2013).

3 MÁQUINA INJETORA

Pode-se afirmar que a máquina injetora é um equipamento utilizado na indústria para produzir peças injetadas. Em virtude de seu contexto de uso, fica claro que a principal função da máquina injetora é a de fundir o material polimérico de forma que este material possa preencher a cavidade de um molde com a forma final do produto. (SANTOS, 2014).

Figura 3- Máquina injetora Arburg.

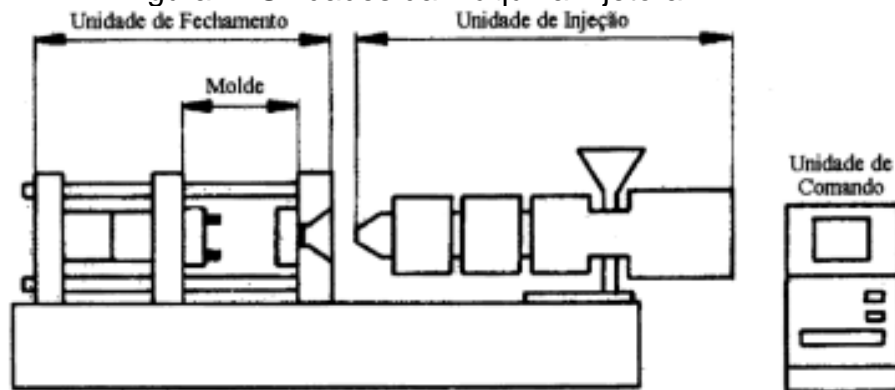


Fonte: GARCIA (2009).

3.1 PARTES DA MÁQUINA INJETORA

As funções da máquina injetora são executadas pelos seus diferentes componentes. De acordo com Michaeli et al. (1995), tais funções são realizadas pela unidade de injeção, unidade de fechamento e unidade de comando.

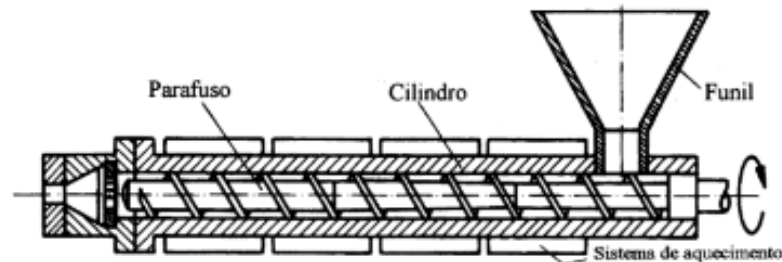
Figura 4- Unidades da máquina injetora.



Fonte: MICHAELI et al. (1995).

A unidade de injeção tem como função promover o transporte, aquecimento, plastificação e homogeneização do material plástico, que pode ser originalmente em grão ou pó, desde a base do funil até o bico de injeção. Além disso, essa unidade é responsável por realizar a injeção e pressurização do material fundido. (GARCIA,2009).

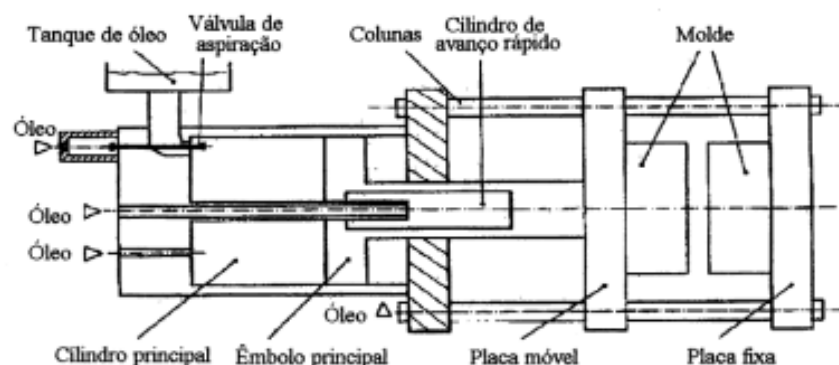
Figura 5- Unidade de injeção.



Fonte: MICHAELI et al. (1995).

A unidade de fechamento é responsável por garantir a fixação e movimentação do molde, mantendo-o fechado durante as etapas de injeção, pressurização e recalque, e também possui dispositivos para a extração das peças moldadas. Essa unidade é construída como uma prensa capaz de suportar a força gerada durante a injeção do material plástico. Existem diversas soluções construtivas disponíveis para essa unidade. (GARCIA, 2009).

Figura 6- Unidade de fechamento.



Fonte: MICHAELI et al. (1995).

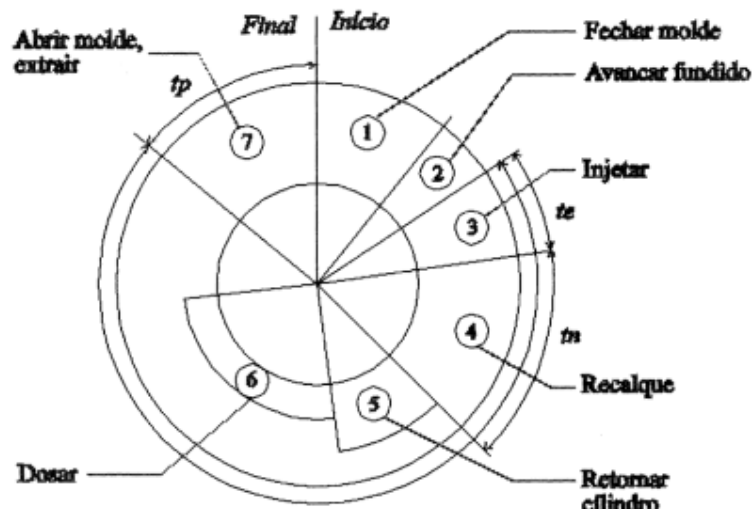
A unidade de controle é responsável por centralizar as operações e os dispositivos necessários para monitorar e controlar as diversas variáveis do processo. Além disso, essa unidade é responsável por fornecer uma interface para o operador e permitir comunicação com periféricos e sistemas de gestão de informação. As

unidades de controle são baseadas em microprocessadores que podem incluir funções de gestão da produção, diagnóstico de processo e controle auto adaptativo. (GARCIA,2009).

3.2 CICLO DE INJEÇÃO

A injeção de termoplásticos é um processo cíclico que ocorre em etapas. Tais etapas necessárias para a produção de uma peça plástica é chamada de ciclo de injeção. O processo poderá ser realizado de forma manual, em que as operações são realizadas por um operador ou de forma semiautomática, que ocorre de forma automática, porém no início há uma intervenção do operador. (GARCIA, 2009).

Figura 7- Ciclo de injeção.



Fonte: MICHAELI et al. (1995).

Abaixo segue a simplificação das etapas:

Etapa 1 - Fechamento

Na primeira etapa, a cavidade do molde é fechada, e dá-se início ao ciclo de injeção. (GARCIA,2009).

Etapa 2 - Injeção

O plástico é aquecido até que se torne líquido, e então é injetado na cavidade do molde sob alta pressão. Isso garante que o plástico preencha todos os espaços da cavidade. A injeção é feita pelo avanço do fuso que impulsiona o material fundido a fluir pela cavidade. (GARCIA,2009).

Etapa 3 - Recalque

Depois que o plástico é injetado na cavidade, ele é submetido a uma pressão adicional para compactá-lo e reduzir a ocorrência de vazios ou defeitos na peça final. (GARCIA,2009).

Etapa 4 - Resfriamento

Assim que a temperatura da peça é suficiente para permitir sua remoção sem deformação, a fase de resfriamento é concluída. Durante essa etapa do ciclo, ocorre a transferência de calor através do material, sendo principalmente influenciada pela espessura da peça moldada. (GARCIA,2009).

Etapa 5 - Extração

A peça é removida do molde. Nesta etapa, é importante garantir que a peça não seja danificada durante a extração. O uso de dispositivos auxiliares de manipulação está se tornando cada vez mais comum para assegurar um alto grau de automação no processo. (GARCIA,2009).

4 MOLDE

O molde de injeção é um equipamento utilizado na indústria para produzir peças em grande escala através do processo de injeção de plástico. Bem como nos afirma Lesko (2012), os moldes de injeção, que são essenciais para a fabricação de peças plásticas, possuem uma cavidade que é a réplica negativa da peça final desejada. O plástico derretido é injetado por meio de um canal de alimentação central, enquanto os machos são utilizados para criar formas ocas e furos. Ademais, os moldes apresentam outras características importantes, tais como canais para refrigeração, pinos de retirada e ejetores, que têm a função de separar a peça do molde.

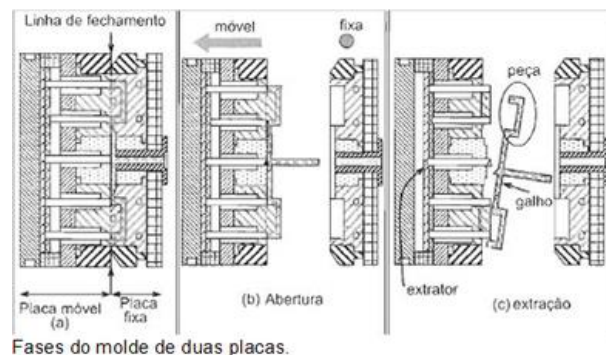
4.1 TIPOS DE MOLDES

Existem diversos tipos de moldes utilizados na indústria para a fabricação de peças plásticas. De acordo com Lesko (2012), existem basicamente três tipos principais de moldes que são: moldes de duas placas, moldes de três placas e moldes com sistema de câmara quente.

Molde duas placas

O molde de injeção de duas placas é um tipo comum e amplamente utilizado, composto por duas partes, uma móvel e uma fixa que se abrem e fecham para permitir a injeção do material. Ao movimentar a placa móvel, o sistema de extração é acionado e a peça injetada é removida, seja por robôs ou manualmente. (MARINCH,2013).

Figura 8- Molde duas placas.



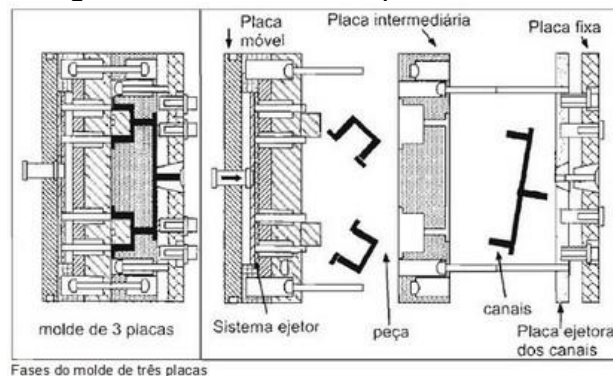
Fases do molde de duas placas.

Fonte: < <http://injecaoetermoplastico.blogspot.com/2012/07/moldes-convencionais-canal-frio-molde.html>>.

Molde de três placas

É um molde composto por três placas, sendo a placa central móvel em relação às outras duas. A primeira é a placa fixa, que é montada na base da máquina de injeção. A segunda é a placa móvel, que é montada sobre a placa fixa e se move na direção do eixo horizontal, devido à pressão hidráulica. A terceira, chamada de placa intermediária, é posicionada entre as outras duas placas. (MARINCH, 2013).

Figura 9- Molde de três placas.

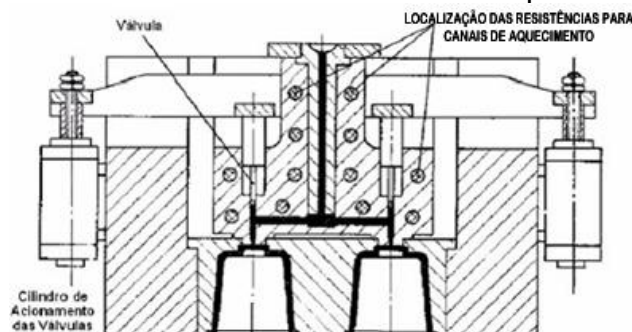


Fonte: < <https://blogdainjeaoplastica.blogspot.com/2017/05/o-que-e-molde-de-placas-flutuantes.html>>.

Molde com sistema de câmara quente

O molde de câmara quente é um tipo de molde, que permite a produção de peças plásticas de alta qualidade com maior eficiência. Diferente do molde de câmara fria, onde o canal de injeção é externo ao molde e precisa ser resfriado, no molde de câmara quente o canal de injeção é interno e aquecido, permitindo a injeção de plástico derretido diretamente na cavidade do molde. O molde de câmara quente é composto por um sistema de aquecimento, que fica contido dentro de bloco distribuidor conhecido como *manifold*. (MARINCH, 2013).

Figura 10- Molde com sistema de camara quente.

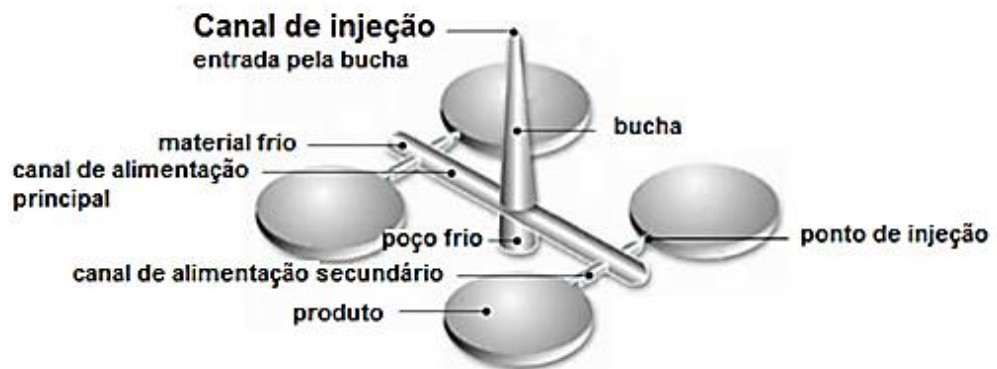


Fonte:< <http://moldesinjeaoplasticos.com.br/o-sistema-de-camara-quente-apropriado-ao-molde-e-produto-permite-automatizacao-do-ciclo-e-aumento-de-productividade/>>.

4.2 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO

Durante o processo de injeção, o sistema de alimentação tem a finalidade de transportar o material plástico fundido até o interior do molde, garantindo assim a formação da peça final. Conforme explicado por Harada (2004), ele é constituído por quatro elementos: canal de injeção, canal de distribuição, poço frio e ponto de injeção.

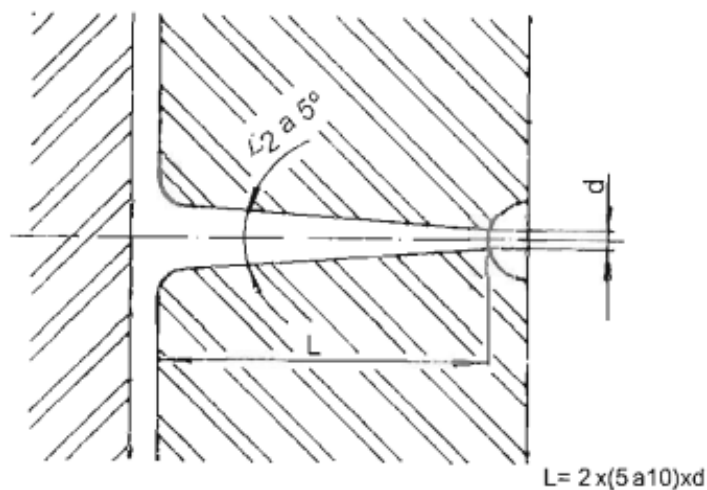
Figura 11- Ilustração do sistema de alimentação.



Fonte: <<http://moldesinjecaoplasticos.com.br/sistema-de-alimentacao-em-moldes/>>.

O canal de injeção ou bucha de injeção é encarregado pelo fluxo de material vindo da máquina injetora. O seu diâmetro menor deve ser no mínimo 3mm e sua conicidade varia entre 2° e 5°. Geralmente o comprimento do canal de injeção é de 5 a 10 vezes o dobro do seu diâmetro menor, porém o comprimento deve ser no máximo 100 mm. (HARADA, 2004). A figura abaixo ilustra o canal de injeção.

Figura 12- Canal de injeção.



Fonte: HARADA (2004).

Os canais de distribuição levam o material derretido do canal de injeção até os pontos de injeção. Conforme Harada (2004), eles são divididos em principal e secundário. O canal secundário deve ter no máximo 80% do diâmetro do canal principal. Na tabela abaixo são mostrados os valores para o diâmetro dos termoplásticos mais usuais.

Tabela 2- Diâmetros para o canal de alimentação.

Material	Diâmetro típico do canal de alimentação (em mm)
Polipropileno	4,8 - 9,5
Polietileno	1,6 - 9,5
ABS, SAN	4,8 - 9,5
Poliestireno	3 - 9,5
Poliamida	1,6- 9,5
PVC Rígido	4,8- 9,5
Polioxifenileno	6,3- 9,5
Policarbonato	4,8- 9,5

Fonte: HARADA (2004).

O poço frio é uma pequena cavidade localizada no molde, que armazena uma quantidade adicional de material mais frio que se encontra na frente de fluxo, evitando que este bloqueie o sistema de alimentação ou entre na cavidade. É obrigatório ter um poço frio em todas as intersecções de canais e seu comprimento deve ser igual ao diâmetro do canal. (GARCIA, 2009).

O ponto de injeção é o elemento responsável por conectar o canal de distribuição à cavidade do molde. Conforme indicado por Harada (2004), sua posição deve ser escolhida de modo a causar o mínimo impacto visual na peça final, visto que ele deixa marcas após a injeção. O ideal é que o ponto de injeção seja posicionado o mais próximo possível do centro da peça, pois isso reduz as distâncias percorridas pelo material plástico. Existem diversos tipos de ponto de injeção, tais como circular, retangular, em forma de leque, submarina, capilar, entre outros.

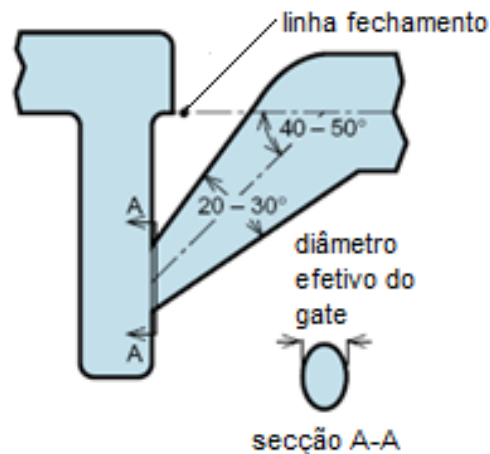
4.3 PONTO DE INJEÇÃO TIPO SUBMARINA

Na injeção tipo submarina a entrada do plástico localiza-se abaixo da linha de abertura do molde, portanto o polímero injetado preenche a cavidade de baixo para

cima o que evita a formação de marcas na superfície da peça proporcionando uma aparência mais homogênea e uniforme. Geralmente tem o formato circular com seu diâmetro de entrada recomendado variando de 0.25 a 2 mm. (GARCIA, 2009).

Na figura abaixo é ilustrado o ponto de injeção submarina com os ângulos recomendados.

Figura 13- Ponto de injeção submarina.



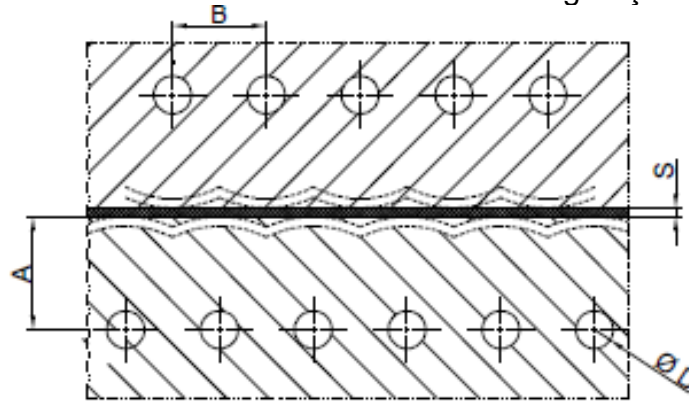
Fonte: < <http://moldesinjecaoplasticos.com.br/sistema-de-alimentacao-em-moldes/>>.

4.4 SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO

A função do sistema de refrigeração é a de retirar calor do molde, possibilitando dessa forma que o polímero fundido resfrie e solidifique-se no formato do produto. Garcia (2009), afirma que o processo de resfriamento é mais ou menos 50% do tempo de ciclo e para facilitar a troca térmica são usinados furos na cavidade e no macho para passagem do fluido refrigerante a fim de controlar a temperatura do molde.

Para o dimensionamento do sistema de refrigeração, Ferreira (2004, apud Ahrens et al., 2009), diz que o diâmetro dos canais deve variar entre 6 e 18 mm e a localização dos canais dever ser de tal forma que para uma espessura S , a distância A deve ser 0.8 a $2.5D$ e a distância B entre os canais de 2.5 a $3.5D$, onde D é o diâmetro do canal conforme ilustrado na figura abaixo.

Figura 14- Posicionamento dos canais de refrigeração.

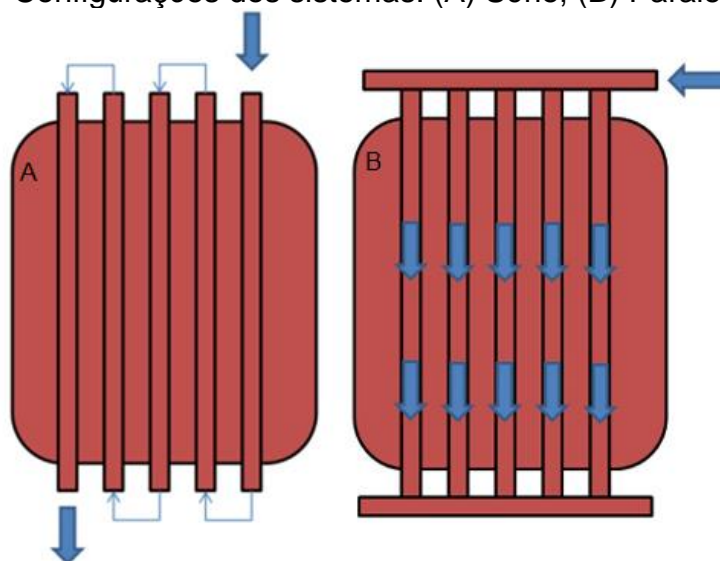


Fonte: AHRENS et al. (2009).

4.4.1 Sistema de refrigeração série e paralelo

Os canais em série permitem que o líquido de resfriamento passe por cada cavidade em sequência, sendo conectados em um único ciclo da entrada do refrigerante até a sua saída. Já os canais em paralelo são canais retos perfurados, nos quais o refrigerante flui do coletor de alimentação para o coletor de coleta. Devido às características de fluxo dos canais em paralelo, a taxa de fluxo pode variar em cada um deles, o que pode afetar a eficiência da transferência de calor. No entanto, um circuito em paralelo balanceado pode fornecer uma extração uniforme de calor. (MARQUES et al.,2015).

Figura 15- Configurações dos sistemas: (A) Série, (B) Paralelo.



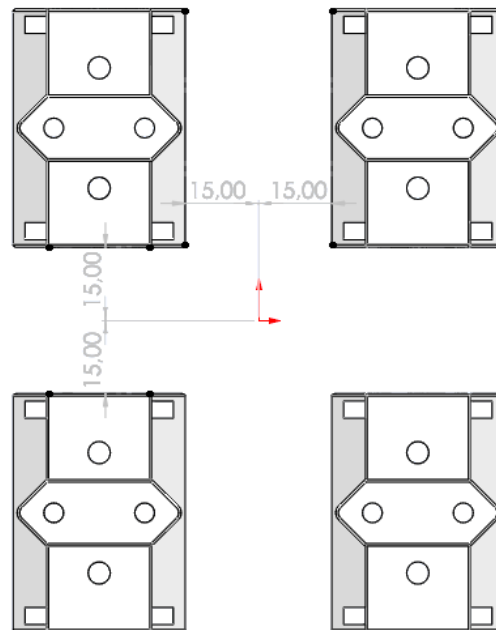
Fonte: MARQUES et al. (2015).

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foi utilizado o *software* CAE *solidworks plastics*. O *solidworks plastics* é um software de simulação de injeção de plásticos, que permite simular o comportamento do plástico durante o processo de injeção, ajudando a identificar possíveis problemas e aperfeiçoar o projeto para uma produção mais eficiente e com menos erros.

O experimento foi realizado com uma das partes de um adaptador de tomada tipo T com uma espessura de 1.5 mm e o polímero utilizado foi o ABS com um fator de contração utilizado de 0.6%. O trabalho utiliza quatro cavidades como mostrado na figura abaixo.

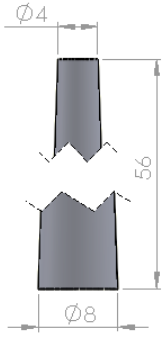
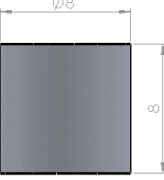
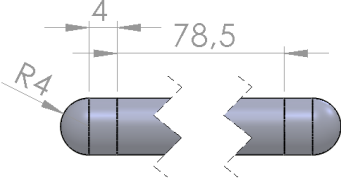
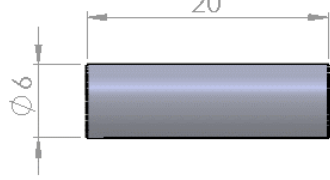
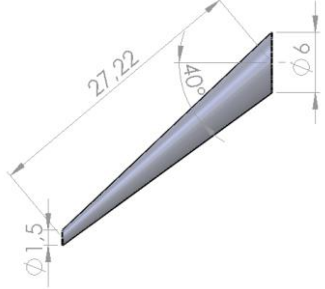
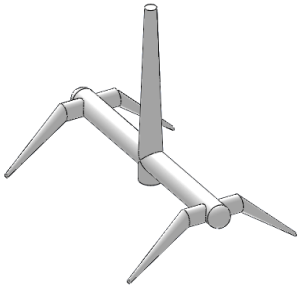
Figura 16- Disposição das cavidades.



Fonte: Autor.

Foram realizadas duas simulações, uma com um circuito em série e outra com um circuito em paralelo. Para ambas as propostas a única coisa que mudou foi o sistema de refrigeração e os demais parâmetros permaneceram os mesmos. No quadro abaixo podemos ver as dimensões utilizadas no sistema de alimentação.

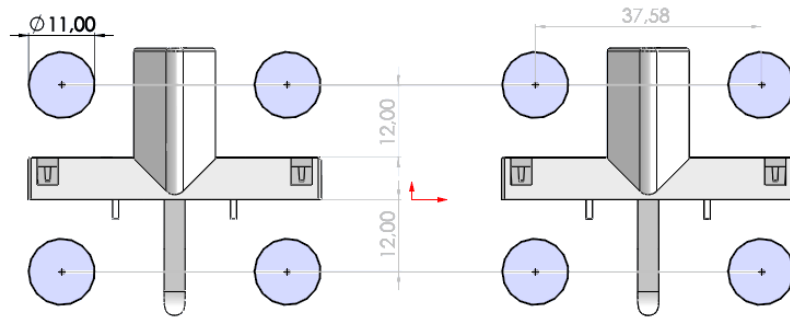
Quadro 3- Dimensões do sistema de alimentação.

Elementos	Dimensões (mm)
Canal de injeção	
Poço frio	
Canal principal	
Canal secundário	
Ponto de injeção	
Sistema de alimentação	

Fonte: Autor.

Para o sistema de refrigeração tanto o diâmetro do canal, quanto as distâncias do centro do canal da parte do macho e da parte da cavidade para o produto foram os mesmos como ilustrado na figura a seguir.

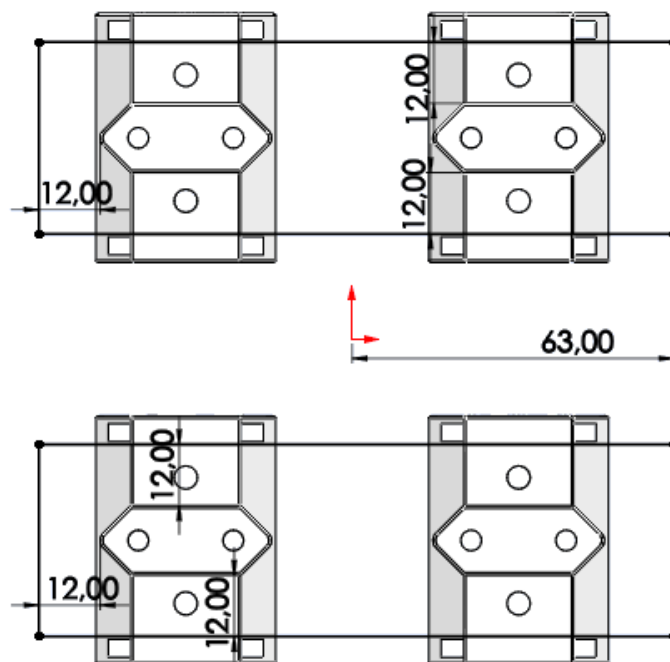
Figura 17- Configuração do sistema de refrigeração.



Fonte: Autor.

A proposta 1 trata-se de um sistema de refrigeração em série. Na figura abaixo podemos ver o posicionamento do centro do canal de refrigeração para as superfícies do produto.

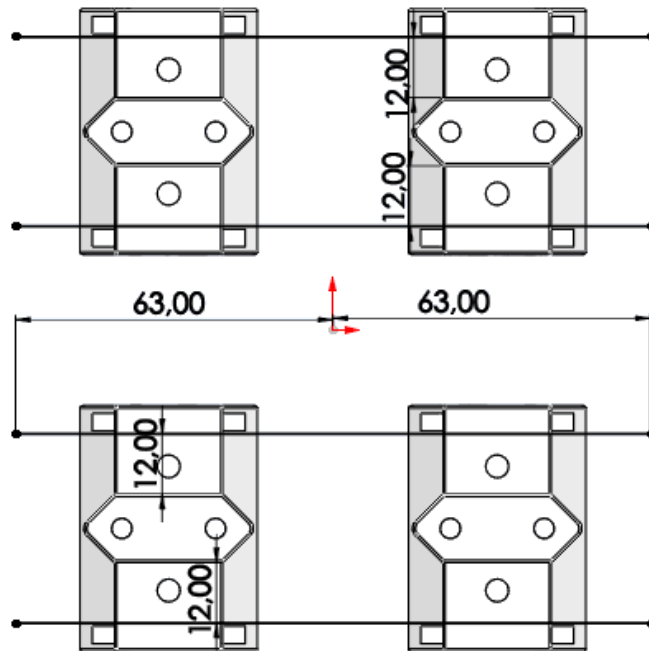
Figura 18- Dimensões do circuito de refrigeração em série.



Fonte: Autor.

Já a proposta 2 utiliza um sistema de refrigeração em paralelo, as dimensões do circuito são mostradas na figura a seguir.

Figura 19- Dimensões do circuito de refrigeração em paralelo.



Fonte: Autor.

Um resumo dos parâmetros utilizados durante as simulações pode ser encontrado na tabela seguinte.

Tabela 3- Parâmetros do processo.

Material injetado	ABS
Material do molde	P20
Temperatura de fusão (°C)	230
Limite de pressão de injeção (Mpa)	100
Tempo de preenchimento (s)	1.7
Temperatura ambiente (°C)	30
Líquido de arrefecimento	Água
Temperatura mínima do líquido de arrefecimento (°C)	25
Vazão média do líquido de arrefecimento (cc/s)	150

Fonte: Autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

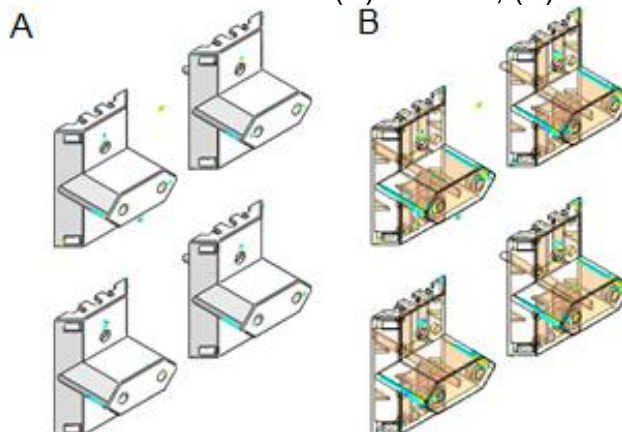
O objetivo deste capítulo é apresentar e analisar os resultados obtidos por meio das simulações realizadas no software de moldagem por injeção. O capítulo está organizado em três subcapítulos, que abordam os seguintes temas: linhas de solda fria, bolsas de ar e deformação do produto.

O primeiro subcapítulo discute as linhas de solda fria, que podem ocorrer quando o material fundido se encontra com um obstáculo no molde, formando uma linha de junção visível na peça final. O segundo subcapítulo aborda as bolsas de ar, que podem ser causadas pela retenção de ar na cavidade do molde durante o processo de injeção. Por fim, o terceiro subcapítulo trata sobre a deformação do produto, um problema que pode ocorrer durante o resfriamento da peça e afetar sua qualidade final.

6.1 LINHAS DE SOLDA FRIA

As linhas de solda fria são um problema comum em moldes de injeção, que ocorrerem quando as frentes de fluxo do material derretido injetado que possuem direções diferentes se encontram e não conseguem se fundir completamente, formando uma linha de junção de material sólido. A presença de linhas de solda fria pode ter um impacto negativo na qualidade da peça final e pode levar à formação de trincas ou falhas.

Figura 20- Linhas de solda fria: (A) Externo, (B) Interno.



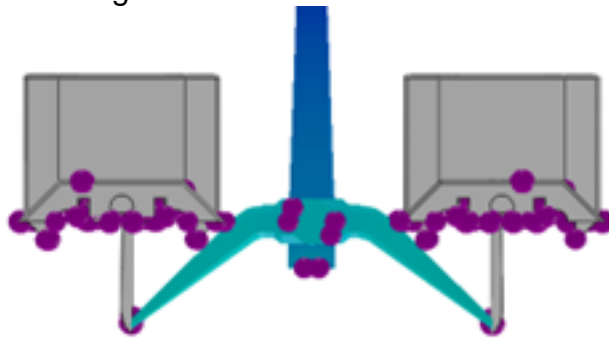
Fonte: Autor.

A figura exhibe linhas de solda fria no exterior do produto que são relativamente pequenas. No entanto, na parte interna do produto, há linhas de solda maiores que podem ter um efeito significativo na qualidade da peça.

6.2 BOLSAS DE AR

As bolsas de ar são formadas quando o gás fica preso dentro do material durante o processo de injeção. Essas bolsas de ar podem ter um efeito negativo na qualidade da peça final, tornando-a mais fraca e menos durável. Os pontos em roxo mostrados na figura 21 apresentam os prováveis locais onde ocorrerá as bolsas de ar. A observação desses pontos é muito importante pois permite identificar os locais onde deveram ter saídas de gases.

Figura 21- Bolsas de ar.

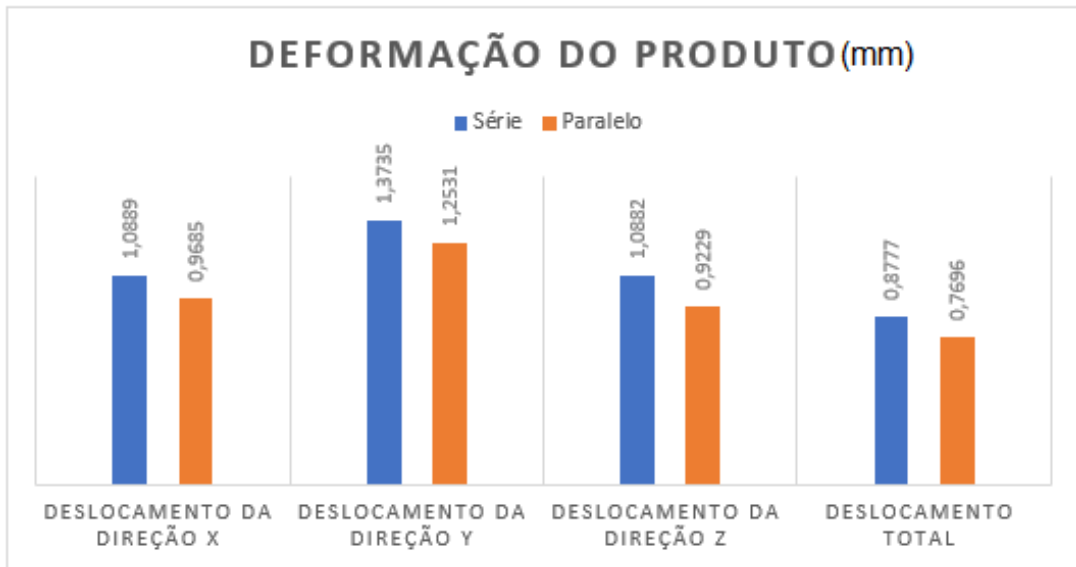


Fonte: Autor.

6.3 DEFORMAÇÃO DO PRODUTO

A contração é um efeito comum do processo de injeção de plástico. Ela ocorre devido à variação do volume do material desde a temperatura de processamento até o endurecimento completo. No entanto, se a contração for desbalanceada devido a problemas com a geometria do molde ou ao sistema de refrigeração, pode resultar em tensões internas que causam deformações no produto final, como o empenamento. Esse tipo de deformação pode ser influenciado por vários fatores, como a orientação molecular do material, as condições de processo e o projeto do molde.

Figura 22- Comparação da deformação entre os circuitos série e paralelo.



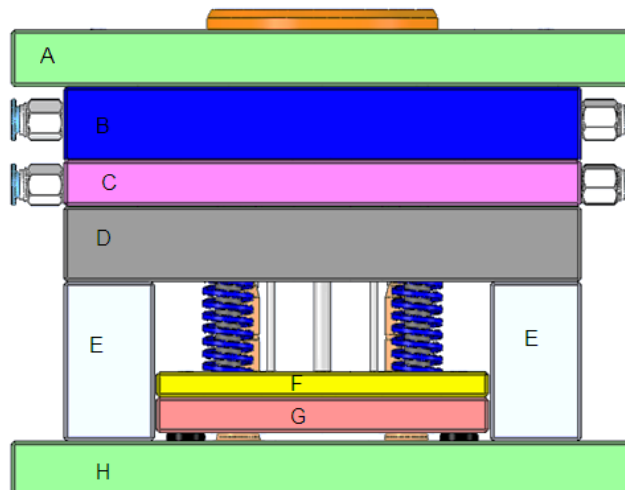
Fonte: Autor.

Conforme ilustrado na figura acima, o circuito em paralelo demonstrou ser mais eficiente na redução da deformação do produto em todas as direções.

6.4 O MOLDE

Para o projeto do molde, foi utilizado um porta molde de duas placas da Polimold 25.30, com dimensões de 246x296mm, utilizando o sistema de refrigeração em paralelo. A concepção adotada foi do tipo monobloco, em que a matriz e o macho são usinados diretamente nas placas P1 e P2 respectivamente. A figura abaixo apresenta o molde e suas principais partes.

Figura 23- Molde.

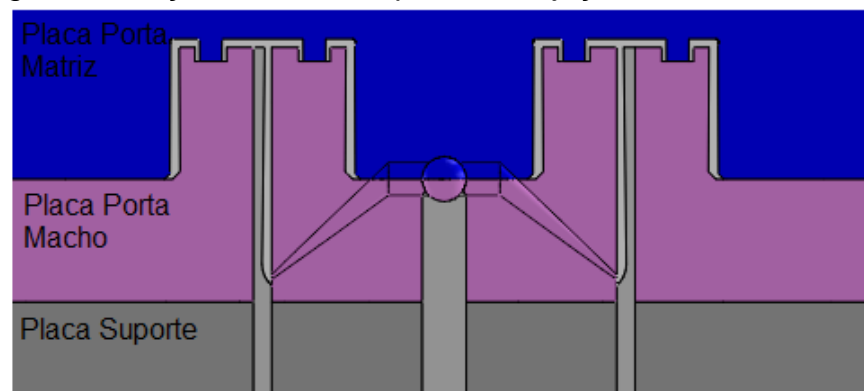


Fonte: Autor.

- A- Placa base superior.
- B- Placa P1 ou placa porta matriz.
- C- Placa P2 ou placa porta macho.
- D- Placa suporte.
- E- Espaçadores.
- F- Contra placa extratora.
- G- Placa extratora.
- H- Placa base inferior.

A figura a seguir apresenta uma seção de corte do molde, na qual é possível observar o ponto de injeção submarina. Esse ponto injetará o polímero na cavidade do molde por meio do pino extrator, tal como realizado na simulação da injeção.

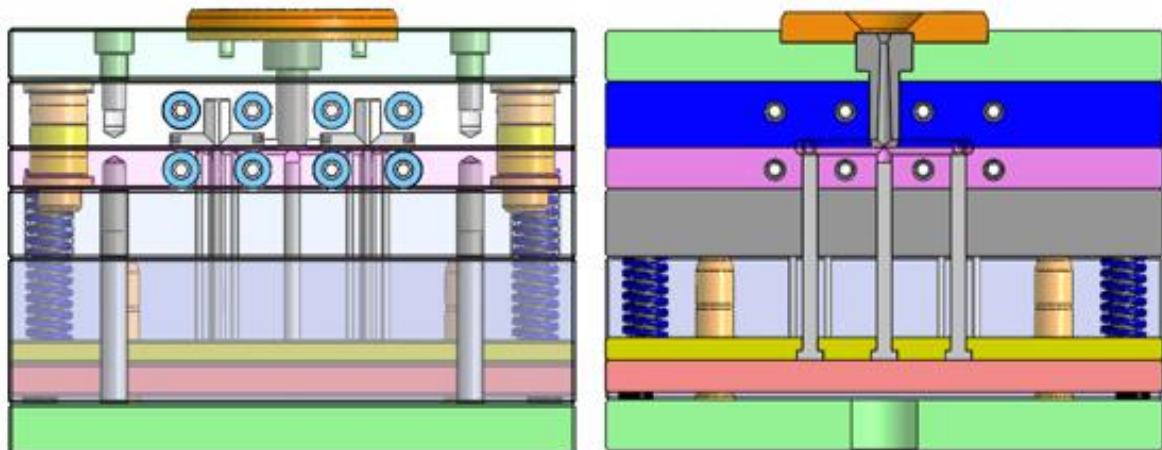
Figura 24-Seção de corte do ponto de injeção submarina.



Fonte: Autor.

Na imagem a seguir, é apresentada uma vista lateral em transparência e em corte do molde, permitindo visualizar com mais detalhes seu interior, incluindo a bucha, o produto, os canais de refrigeração e os pinos extratores.

Figura 25- Detalhes internos do molde.



Fonte: Autor.

7 CONCLUSÃO

Em relação às linhas de solda fria, o fato de apresentarem linhas menores no exterior do produto pode ser considerado uma vantagem estética, já que essas linhas são mais discretas e podem interferir menos na aparência do produto final. No entanto, a presença de linhas maiores no interior potencializa uma possível fragilidade na estrutura do produto, uma vez que as linhas de solda fria podem ser pontos de tensão, dessa forma podendo comprometer a resistência da peça. Possíveis soluções para esse problema seria o uso de outro ponto de injeção, a alteração na localização do ponto de injeção, de forma a minimizar o impacto das linhas de solda fria ou a mudança nos parâmetros de injeção.

Quanto às bolsas de ar, sua presença concentrada na parte inferior do produto pode ser atribuída ao preenchimento realizado de cima para baixo. Essa técnica pode aproximar as bolsas de ar da linha de partição, o que facilita a colocação das saídas de gases. Contudo, é crucial destacar que as bolsas de ar podem prejudicar a qualidade da peça, visto que sua presença pode gerar porosidades e afetar a resistência e a durabilidade do produto final. Portanto, é essencial estar atento à sua ocorrência durante o processo de injeção.

Os resultados mostraram que o sistema de refrigeração em paralelo apresentou uma maior eficiência na redução da deformação do produto. Isso se deve, em parte, ao fato de que o circuito em paralelo é mais eficiente do que o circuito em série na transferência de calor, uma vez que a distância percorrida pelo fluido refrigerante é menor. Com isso, a temperatura do molde é mantida mais uniforme, o que contribui para uma melhor estabilidade dimensional da peça moldada e reduz a deformação. No entanto, é importante lembrar que um sistema de refrigeração muito eficiente pode causar resfriamento excessivo do molde, gerando fissuras e trincas na superfície da peça. Portanto, é fundamental encontrar um equilíbrio entre a eficiência do sistema de refrigeração e a prevenção de defeitos na peça final, considerando as características do molde e do material utilizado.

Por fim, a construção do molde e a realização do *tryout* são fundamentais para avaliar sua eficácia e identificar possíveis melhorias no projeto. Através dessas etapas, será possível verificar se o molde atende aos requisitos do produto e se as

características das peças produzidas estão de acordo com as especificações. Além disso, eventuais ajustes no projeto poderão ser realizados para otimizar o processo produtivo e garantir a qualidade das peças injetadas.

7.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas sugestões de temas para trabalhos futuros na área de simulação de injeção:

- Aprofundar-se sobre os diferentes tipos de sistema de refrigeração com o intuito de analisar a eficácia desses sistemas na produção de peças com mínima deformação.
- Investigar a influência de diferentes parâmetros de processo, como a pressão de injeção, a taxa de fluxo e a temperatura do molde, na qualidade final das peças.
- Avaliar a aplicação de técnicas de otimização para encontrar as melhores configurações de processo para produzir peças com alta qualidade e eficiência.

REFERÊNCIAS

ASHBY, Michael; JOHNSON, Kara. **Materiais E Design A Arte E Ciência Da Seleção de Materiais No Projeto Do Produto**. Brasil: Elsevier, 2013. 360 p.

AHRENS, Carlos H.; FERNANDES, Everson J.; SALMORIA, Gean Vitor. Dimensionamento de Canais de Refrigeração no Projeto de Moldes de Injeção: Avaliação Comparativa Através de Sistemas CAE Visando Aplicação em Processos de Fabricação Rápida de Moldes-Protótipos. V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação - Belo Horizonte – MG - 14 a 17/04/ 2009. Disponível em < <https://www.abcm.org.br/anais/cobef/2009/busca/artigos/142001230.pdf> >. Acesso em 20 mar. 2023.

GARCIA, Mauro César Rabuski. **FUNDAMENTOS DE PROJETO DE FERRAMENTAS MOLDES DE INJEÇÃO PARA TERMOPLÁSTICOS**. Rio Grande do Sul: [s. n.], 2009. 232 p.

HARADA, Júlio. **Moldes para injeção de termoplásticos: Projetos e Princípios Básicos**. São Paulo: Artliber, 2004. 310 p.

LEFTERI, Chris. **Materiais em design 112 materiais para design de produtos**. Brasil: Blucher, 2018. 256 p.

LESKO, Jim. **Design industrial guia de materiais e fabricação**. Brasil: Blucher, 2012. 350 p.

LIRA, Valdemir Martins. **Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros**. São Paulo: Blucher, 2017. 240 p.

MANRICH, Silvio. **Processamento de termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. 2 ed. São Paulo: Artliber, 2013. 485 p.

MARQUES, S. et al.. Design of conformal cooling for plastic injection moulding by heat transfer simulation. *Polímeros*, v. 25, n. *Polímeros*, 2015 25(6), p. 564–574, nov. 2015. Disponível em < <https://www.scielo.br/j/po/a/fkpWNPCCnfrTM5MGM85XHjP/?lang=en#> >. Acesso: 21 mar. 2023.

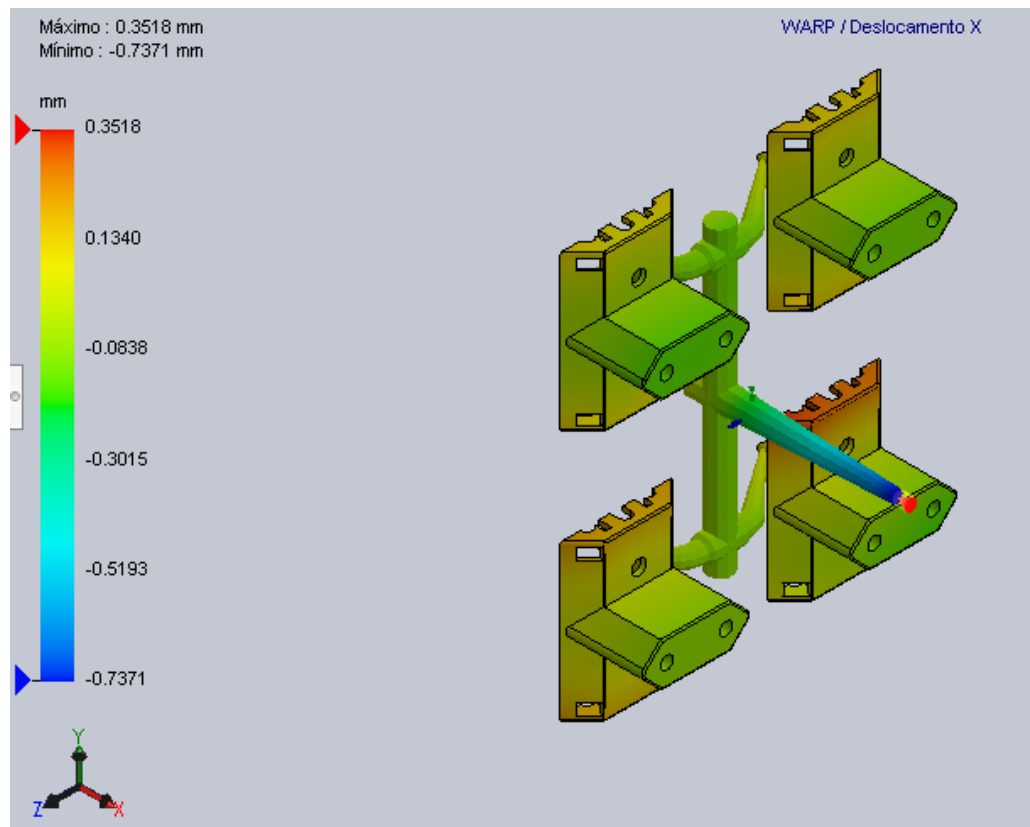
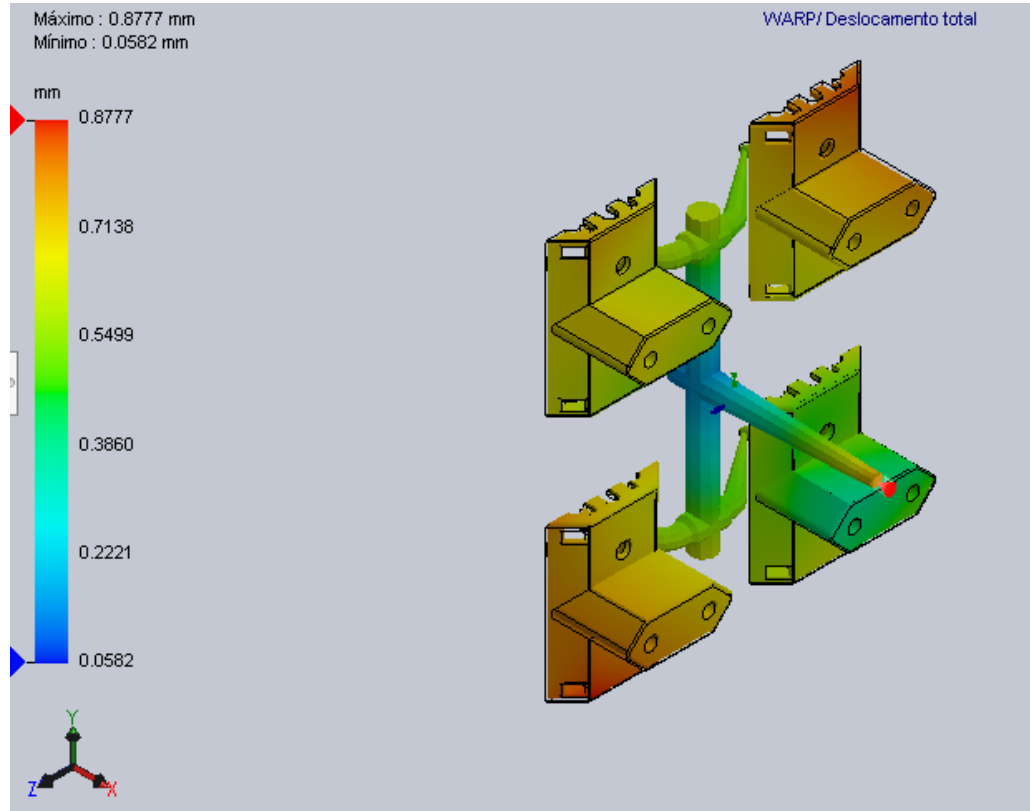
MICHAELI, Walter; GREIF, Helmut; KAUFMANN, Hans; VOSSEBÜRGER, Franz-Josef. **Tecnologia dos Plásticos**. Brasil: Blucher, 1995. 216 p.

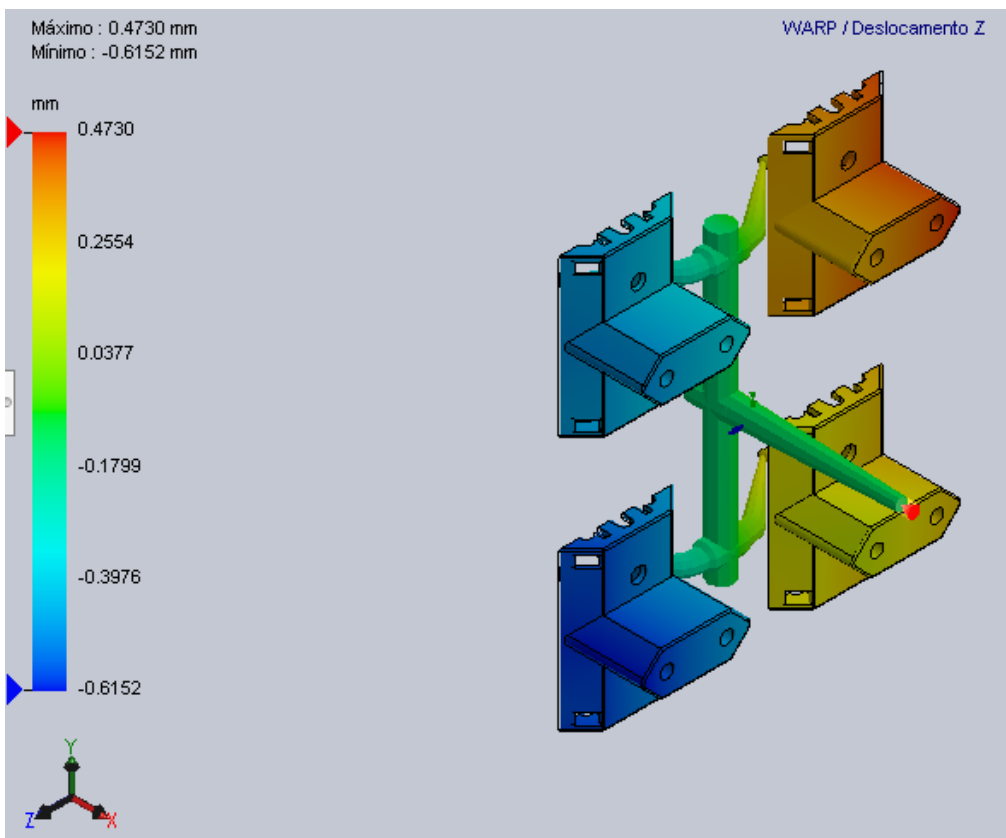
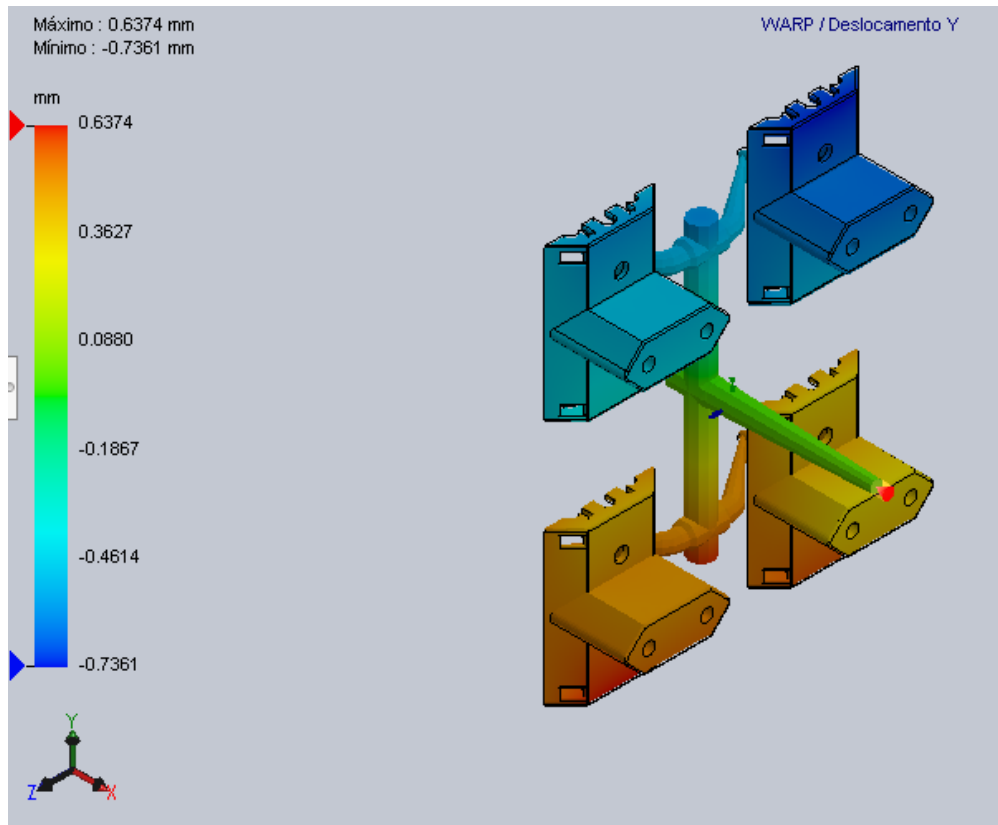
SANTOS, Givanildo Alves dos. **Tecnologias Mecânicas: Materiais, Processos e Manufatura Avançada**. São Paulo: Érica, 2021. 296 p.

SANTOS, ZORA IONARA GAMA DOS. **Tecnologia dos Materiais não Metálicos Classificação, Estrutura, Propriedades, Processos de Fabricação e Aplicações.** São Paulo: Érica, 2014.

SMITH, William F.; HASHEMI, Javad. **Fundamentos de Engenharia e Ciência dos Materiais.** Brasil: McGraw Hill Brasil, 2013. 734 p.

ANEXO A – DEFORMAÇÕES CIRCUITO SÉRIE





ANEXO B – DEFORMAÇÕES CIRCUITO PARALELO

