

A FERRAMETA CAE NA SIMULAÇÃO DE MOLDES DE INJEÇÃO PLÁSTICA: UM ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

Jean Patrick da Silva Coelho¹
Patrick da Silva dos Santos²
Ana Emília Diniz Silva Guedes³

RESUMO

O referido trabalho discorre sobre a importância da adoção de um processo sistêmico para a atividade de projeto do sistema de refrigeração aplicado nos moldes para a injeção de materiais poliméricos. Um dos processos mais versáteis em transformação e processamento de polímeros é a moldagem por injeção. Para este trabalho foi realizado um levantamento teórico da ferramenta CAE, e sua interação com a concepção de projetos de moldes de injeção plástica. A metodologia adotada foi pesquisas por meio de artigos científicos já publicados e livros acadêmicos dentro do assunto abordado, fundamentando-se em fontes de pesquisas de ensino como, IEE Explorer Scielo. O objetivo desse trabalho é demonstrar as vantagens de simulação do projeto refrigeração de molde de injeção plástica. Como resultado dessa pesquisa tem-se um exemplo de simulação em um software, e a possibilidade de análise de projetos de refrigeração diferentes que possibilita a escolha do melhor projeto para o processo e para a peça que está sendo considerada. Além desse resultado, há o de conhecimento acadêmico adquirido em cada capítulo ou tópico desde artigo. É possível entender que quando se analisa previamente um projeto, se reduz tempo, custo com retrabalhos e há o benefício maior que é a satisfação do cliente final.

Palavras-Chave: CAE, Injeção Plástica, Refrigeração

¹Acadêmico de Engenharia Mecânica, Uninorte Laureate, E-mail: jeans_coelho@hotmail.com

²Acadêmico de Engenharia Mecânica, Uninorte Laureate, E-mail: patrick_santos91@hotmail.com

³Doutora em Engenharia Mecânica, Uninorte Laureate, E-mail: aedsguedes@gmail.com

ABSTRACT

This work discusses the importance of adopting a systemic process for the cooling system design activity applied in the molds for the injection of polymeric materials. One of the most versatile processes in processing and processing of polymers is injection molding. For this work was carried out a theoretical survey of the CAE tool, and its interaction with the design of plastic injection mold designs. The methodology adopted was research through already published scientific articles and academic books within the subject addressed, based on sources of teaching research such as IEE Explorer Scielo and Google Scholar. The purpose of this paper is to demonstrate the simulation advantages of plastic injection mold design. As a result of this research there is an example of simulation in a software, and the possibility of analysis of different refrigeration projects that allows the choice of the best project for the process and for the part being considered. Besides this result, there is the academic knowledge acquired in each chapter or topic from article. It is possible to understand that when analyzing a project in advance, it reduces time, cost with rework and there is the greater benefit that is the satisfaction of the final client.

Key Words: CAE, Plastic Injection, Refrigeration

1 INTRODUÇÃO

O processo de análise do fluxo do plástico no molde no processo de injeção plástica pode ser analisado por simulação em todo o processo de moldagem por injeção antes do projeto do molde ser concluído. É possível avaliar as fases de enchimento, embalagem, refrigeração, empenamento, fibra orientação, estresse estrutural, encolhimento e a visualização da formação de gás, assim como todo o fluxo do material no molde (SHEN, 1998).

É possível também identificar possíveis defeitos e melhorar a taxa de sucesso nos primeiros ciclos de injeção, proporciona aos fabricantes alta qualidade, baixo custo e peças de alta qualidade a curto prazo. Partindo-se do conceito do CAE, definida como uma tecnologia que utiliza o computador para dar suporte à engenharia auxiliando-a no desenvolvimento de projetos, e no processo de injeção plástica pode dar bons resultados no estudo do projeto, pois a mesma possibilita:

1) otimizar o projeto do molde de produtos de plástico, considerando a forma das peças plásticas e seus detalhes como, espessura e os requisitos da qualidade na área de superfície (geralmente a mais visível pelo cliente). A dependência apenas da experiência do engenheiro projetista, muitas vezes torna o processo mais trabalhoso e de custo mais alto. O uso de software de simulação pode ajudar a projetar rapidamente o melhor produto plástico (WU, 2000).

2) contribuir para a estabilidade dimensional, que é um fator dos mais importantes na moldagem de peças por injeção, principalmente aquelas que passarão por processos de montagem, colagem ou encaixe; são analisados em equipamentos apropriados, e determinam se a peça está dentro dos parâmetros dimensionais projetados.

Através desse trabalho será possível obter conhecimento acadêmico, conforme o estudo realizado da ferramenta CAE no processo de injeção plástica desde o projeto do molde. E, principalmente, demonstrar exemplos práticos de utilização da mesma.

Justifica-se esse estudo pelo conhecimento que será abordado acerca da união do teórico prático de injeção plástica, alinhado a simulação que a tecnologia CAE oferece atualmente aos projetistas de moldes. A solução de problemas onde poucas variáveis estão envolvidas são mais simples; na injeção, um grande número de variáveis interfere na moldagem, sendo difícil relacionar a causa específica que está provocando um determinado problema. Através da simulação em software específico essas variáveis podem ser reduzidas e até eliminadas.

O trabalho desenvolvido seguiu os preceitos do estudo exploratório, por meio de uma pesquisa bibliográfica, que, segundo Gil (2008, p.50), “é desenvolvida a partir de material já elaborado, constituído de livros e artigos científicos”.

Nesta perspectiva, a proposta de Gil (2008) destaca-se as principais pesquisas conforme abaixo:

a) Foram utilizados 02 livros, divididos em Moldes para Injeção Plástica e Moldes para Plásticos, disponibilizados na biblioteca da empresa Pastore da Amazônia e na escola SENAI, unidade Manaus – AM;

b) 06 Artigos Científicos sobre a temática foram acessados, sendo 05 desses internacionais, disponibilizados em sites como IEEE Xplore, SHEN, WU, SCHUBERT, publicados entre (1998 e 2008);

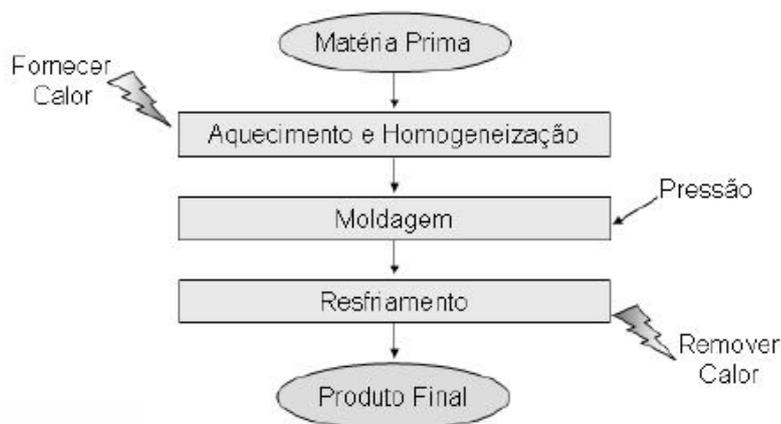
c) 01 Tese de Doutorado e 01 Dissertação de Mestrado, ambas da UFSC, que abordam a utilização de ferramentas como CAE na simulação em softwares, aplicada no processo de materiais plásticos.

O estudo realizado tem como objetivo, entender que uma ferramenta como a CAE pode prevenir problemas de qualidade em um processo, desde a concepção do projeto até os procedimentos e controles necessários para que se obtenha êxito quanto as metas de qualidade e produtividade. E como resultado, através da simulação no software *MoldFlow*, este artigo demonstra a simulação do sistema de resfriamento dentro de um molde de injeção plástica, e proporciona aos projetistas, através da observação de resultados, a melhor opção de projeto para o molde, que garanta alta qualidade no processo e custo baixo para a empresa.

2 O PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS

O processo de injeção de termoplásticos obedece a uma rotina cíclica conforme, figura 1, envolvendo sequencialmente as seguintes etapas: aquecimento do material (fornecimento de calor) até adquirir viscosidade suficientemente baixa necessária para, na sequência, ser moldado na cavidade do molde sob pressão e, após o produto moldado, ocorre a etapa de resfriamento (remoção do calor) para que o material injetado recupere sua rigidez (CUNHA, 2004).

Figura 1- Fluxo de Processo de Transformação de Termoplásticos



Fonte: (CUNHA, 2004)

Segundo Michaeli (1992), Cruz (2002), Provenza (1993), Harada (2004) e Manrich (2005), a moldagem por injeção é um dos principais processos industriais no que tange a processos de fabricação de peças à base de polímeros. Como vantagens competitivas do processo, ocorrem:

- elevados níveis de produtividade, com excelente repetibilidade de dimensional;
- Produto pronto para uso imediato;
- Grande flexibilidade no que tange à configuração das peças quanto à forma, às dimensões e precisão dimensional do produto moldado.

3 MOLDES DE INJEÇÃO

Segundo Menges (1993), Rees (1995) Pötsch (1995), Costa et al (1999), Beamont (2002), Harada (2004) e Manrich (2005), um molde de injeção, pode ser definido como ferramenta construída individualmente que, adaptadas a uma máquina de injeção, possibilitam produzir componentes de forma variada, com pouca ou grande complexidade, através de um ciclo produtivo, possuindo boa repetibilidade no que se refere à forma, acabamento e tolerâncias dimensionais do produto moldado.

A tecnologia empregada nos moldes, permite que cada vez seja necessária uma menor intervenção do operador, possibilitando maior segurança ao mesmo em termos de proteções de máquinas com falhas (CHEN, 2005).

O molde é uma das partes mais complicadas de se projetar neste processo, devido a sua complexidade, pois ele é o responsável por dar a forma final ao polímero fundido. Existem dois tipos básicos: o molde de duas ou três placas, sendo que a utilização de um ou de outro, irá depender da peça que será injetada e do projeto do molde como um todo.

Os moldes de duas placas possuem uma placa fixa e a outro móvel, sendo que a placa móvel irá promover a extração da peça injetada. Nos moldes de três placas, além da placa fixa e móvel, existe uma intermediária, cuja função é a extração e separação dos canais de injeção do moldado.

As placas cavidades do molde são responsáveis por dar a forma ao produto e aos canais. Os canais são necessários para o polímero fundido fluir até a cavidade

do molde. Os canais de injeção são os situados logo na entrada do molde. Os canais de alimentação e de distribuição.

Basicamente são canais feitos nas placas onde o polímero fundido é levado até as cavidades; pontos de injeção, onde o polímero sofre um estrangulamento antes de entrar na cavidade, sendo que a cavidade do molde é onde o polímero é comprimido para formar o produto final. O molde é composto ainda de: canais de refrigeração, onde circulam líquidos para trocar calor com o polímero injetado, pinos extratores, que extraem as peças moldadas, entre outros componentes.

Este trabalho irá abordar com mais detalhe o projeto de canais de refrigeração através de simulação por software.

4 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO

Segundo Malloy (2000), a fase de resfriamento do produto no molde é, na maioria das vezes, a mais demorada dentre todas as etapas que compõem o ciclo de injeção, tornando-se um dos sistemas mais críticos a serem projetados durante o projeto de um molde.

A velocidade do resfriamento deve ser controlada, pois é nesta fase que há garantia de condições adequadas ao fluxo do material no interior do molde, assegurando o resfriamento do componente moldado de forma uniforme, garantindo boa qualidade de recalque e formação completa de todas as partes da peça

Para Menges (1993), Rees (1995), Brito et al (2002) e Harada (2004), a velocidade de refrigeração (troca de calor) do molde é um fator decisivo no desempenho econômico de um molde de injeção, pois define as propriedades da peça e influencia diretamente no tempo do ciclo de injeção.

Ress (1995) faz referência à ocorrência de temperaturas desiguais entre as placas do molde. Essa diferença pode criar deformações nos produtos em função de uma placa quente em relação à placa fria. Essa diferença de temperatura entre as placas fixadas uma à outra, também geram consideráveis forças nas próprias placas, no sistema de alinhamento, nas guias do molde e nos extratores, que geram desalinhamento na estrutura do molde, necessitando assim, um método mais eficiente de alinhamento.

O sistema de refrigeração tem como principal função o controle da temperatura do molde. Portanto a diferença de temperatura entre as superfícies da

cavidade do molde deve encontrar-se entre 2° e 5°C. Nesses parâmetros, a refrigeração do molde torna-se eficiente, possibilitando a redução ou eliminação de possíveis tensões residuais termo-induzidas, provenientes do resfriamento desbalanceado. (MENGES, 1993; HARADA, 2004)

5 ANÁLISE DAS CARACTERÍSTICAS DO PROJETO DE RESFRIAMENTO NO MOLDE PELA TECNOLOGIA CAE

O desenvolvimento e a aplicação de softwares de simulação CAE (Computer Aided Engineering), na análise de projeto de peças fabricadas a partir do processo de moldagem por injeção, têm aumentado significativamente nos últimos anos.

De acordo com os estudos de Sacchelli et al (2007) e Carneiro (2006), o dimensionamento e a análise detalhada de um sistema de refrigeração (sistema térmico) através de um aplicativo CAE é muito útil, pois, através desse aplicativo, é possível a determinação de futuros problemas referentes: à construção do molde de injeção e ao processo de produção do componente moldado, o que possibilita uma otimização no projeto do molde e nos parâmetros aplicados durante o processo de produção. Atualmente, esse tipo de serviço, empregando-se um software de simulação, é realizado principalmente em peças de alto grau de complexidade ou quando solicitado pelo cliente.

Segundo Peixoto (1999), a utilização das ferramentas (softwares), aplicadas na simulação de injeção de materiais plásticos, está sendo cada vez mais empregada no sentido de maximizar/minimizar problemas no processo produtivo, assim partindo desde a concepção da peça a ser moldada até o projeto do molde de injeção.

De acordo com Schubert et al (2002), para diminuir os custos e reduzir o tempo despendido no desenvolvimento e na manufatura dos moldes, tornou-se essencial o emprego de softwares na simulação do processo de injeção. Tais condições são atribuídas ao aumento do número de requisitos a que os produtos desenvolvidos em materiais poliméricos têm de atender e a pressão exercida pelo mercado sobre o lançamento desses produtos, num período cada vez mais curto.

Segundo Sacchelli et al (2007), Carneiro (2006), Peixoto (1999), Schubert et al (2002), o software destinado à atividade de análise do processo de injeção, permite a simulação do preenchimento da cavidade do molde de uma forma

detalhada, o que torna possível seu uso na identificação de parâmetros de processo realistas, corroborando na preparação do processo produtivo.

Para Shen et al (2008) e Wan Abdul Rahman et al (2008), a realização de análises CAE é necessário reunir um determinado número de pré-requisitos iniciais, indispensáveis para o estudo. Para tal são necessários, os seguintes dados iniciais:

- Informação geométrica ou modelo CAD 3D, que reúne informações relevantes tais como o volume de injeção, a extensão de fluxo, variação de espessura da moldação ao longo do fluxo;
- Material de moldação, estabelecendo as condições reológicas e térmicas do fluxo de fundido;
- Material do molde, que estabelece as condições para a determinação do balanço térmico entre o fundido e o molde.

A utilização de ferramentas de CAE no projeto de peças e moldes, deverá permitir a melhoria do projeto, quer de peças, quer do molde, pela possibilidade de previsão do comportamento.

Enfatizam ainda a importância de se estabelecer quais são os parâmetros iniciais necessários para a realização da simulação. De igual modo, é também relevante a identificação das variáveis cujos valores se pretendem determinar.

Alguns dos possíveis dados de saída são:

- Força de fecho;
- Pressão de injeção;
- Pressão de manutenção;
- Perfil do caudal de injeção ótimo;
- Temperatura das águas;
- Tempo de manutenção;
- Tempo de arrefecimento.

E reforçam quem a análise de CAE permite a análise desses parâmetros, fato que possibilita a verificação da influência de cada um deles no processo como um todo. Durante o projeto do molde observa-se muitas variáveis interligadas, onde uma é dependente da outra para que o funcionamento do conjunto possa ser de forma mais uniforme, sem desgastar a peça e forçar manutenções corretivas prematuramente

De acordo com Sacchelli (2007), uma análise da simulação de injeção de polímeros fornece dados de interesse a todo processo envolvido, seja de injeção do produto ou processo de produção, dados que podem ser o diferencial na qualidade do produto final e num processo de custos reduzidos.

A usinagem de um molde é um processo que gera alto custo para as empresas, e com isso a possibilidade de uma simulação, vem possibilitar uma visão macro do processo, de dentro para fora, possibilitando que as melhorias sejam elaboradas antes mesmo que a ferramenta seja testada.

A análise térmica feita pelo software MoldFlow no MF-Cool, permite a análise do resfriamento da peça em função do sistema de refrigeração utilizado, levando em consideração: a temperatura do material a ser injetado; o tipo de fluido refrigerante; a distribuição, dimensões, tipos e arquiteturas de sistemas de refrigeração; espessuras das paredes do produto moldado e a condutividade térmica dos materiais empregados nas cavidades do molde.

6 PROJETO E SIMULAÇÃO DO PROCESSO DE RESFRIAMENTO UTILIZANDO MOLDFLOW

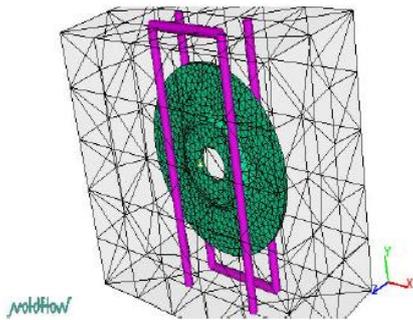
Utilizando o software CAE para análise de uma peça plástica, é necessário considerar o produto plástico, o projeto do molde e a escolha de parâmetros de injeção para se construir o processo, e obter uma boa qualidade do produto. Analisar o processo e otimizar vários parâmetros é uma questão geralmente bem complexa.

A simulação de um processo de injeção pode ser realizada, escolhendo-se um padrão de parâmetros e ferramental. Como o exemplo a seguir, tem-se uma peça plástica circular, onde os ajustes de parâmetros requerem bastante cuidado, e há uma exigência quanto a qualidade da superfície da peça. O dimensional considerado é: diâmetro externo 58mm, diâmetro interno 10mm, espessura 3,2 mm, diâmetro externo do chefe 28 mm, altura 3,2 mm. O bico de injeção está localizado na parede lateral redonda, a fim de garantir a qualidade de aparência. A peça é do tipo *flat-panel* (tela plana), a espessura é fina, e não há reforços na borda ou arestas, logo a peça está propensa a sofrer deformação por resfriamento. A fim de encurtar o tempo de refrigeração e aumentar a eficiência da produção, projeta-se canais de resfriamento no molde de injeção, para que haja troca de calor por meio de resfriamento, e com isso a temperatura das peças no molde fiquem mais

uniformes durante a, o que pode minimizar a deformação e outros defeitos causada pela temperatura irregular.

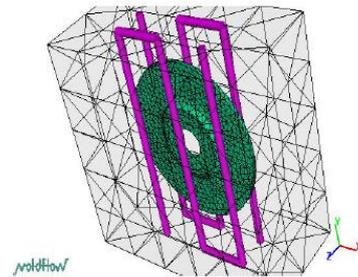
Através da ferramenta CAE e a utilização de um software, neste caso o MoldFlow é possível projetar o sistema de tubulação para resfriamento do molde.

Figura 2 – Projeto de tubos de refrigeração 1



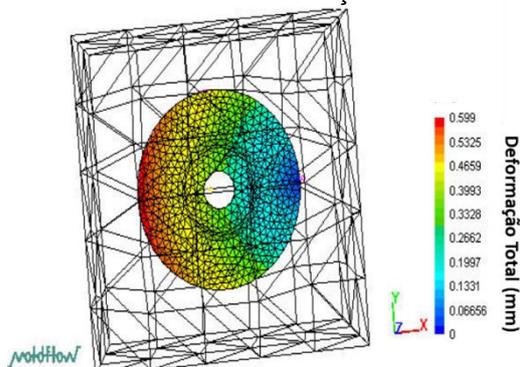
Fonte: (CHEN et al, 2003)

Figura 3 – Projeto de tubos de refrigeração 2



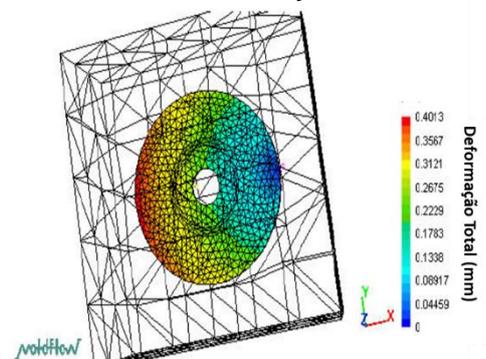
Fonte: (CHEN et al, 2003)

Figura 4 – Gráfico de deformação 1



Fonte: (CHEN et al, 2003)

Figura 5 – Gráfico de deformação 2



Fonte: (CHEN et al, 2003)

A Figura 2 e a Figura 3 mostram dois tipos de projeto de tubos de refrigeração. As diferenças nos resultados dos dois projetos são pequenas em relação a: produtividade (tempo de ciclo), pressão máxima de injeção, processo de enchimento, assim como no resfriamento e na quantidade e tipos de defeitos, tais como ar bolhas, costura de solda. Devido a característica da peça final ser como um painel plano, ela fica mais vulnerável a deformação (ou empenamento como é comumente chamado).

A diferença relevante entre os dois projetos se deu na temperatura e pressão durante o processo, e foi constatado que houve menor variação no projeto de tubos

de refrigeração 3, como mostram os gráficos de deformação da Figura 2 e da Figura 3, assim como o empenamento do projeto 3 foi menor, como mostra a Figura 4 e a Figura 5. Com este resultado de simulação, a escolha do melhor tipo de sistema foi o demonstrado na Figura 3.

O processo de desenvolvimento de projeto ideal de refrigeração, que engloba fatores como determinar o layout do resfriamento, a escolha do material mais adequado para molde, a dosagem do meio refrigerante, entrada de temperatura, taxa de fluxo, o tamanho do canal de injeção, a complexidade da peça plástica a ser produzida e outros fatores também envolvidos, pode ser considerado muito complexo. Neste caso devido à complexidade dos processos, a ausência de uma ferramenta poderia tornar a atividade mais demorada e suscetível a erros que poderiam futuramente causar o fim da vida útil do molde de forma antes do tempo estipulado.

A análise de simulação por software tem sua grande vantagem, pois avalia os mesmos fatores que seriam considerados sem o sistema, porém de forma muito mais precisa, focada, com a certeza de resultados positivos para a empresa, que pode contar com a solução de problemas de processo produtivo a partir da concepção do projeto do molde.

7 CONCLUSÃO

Atualmente para se aproveitar ao máximo uma ferramenta como o CAE, e tornar os resultados de simulação mais realistas e confiáveis, fornecendo ao engenheiro projetista uma base mais eficaz para se executar o projeto, é necessário considerar muitos fatores de processo, como o desenho da peça e todos os possíveis parâmetros que serão utilizados para se produzir a mesma.

Conclui-se, baseando-se pelas pesquisas realizadas que a ferramenta CAE para simulação de processo de moldagem é consideravelmente vantajosa na redução do tempo de se projetar um molde e garantir a qualidade da peça plástica como produto do processo. Visto que Shen et al (2008) e Wan Abdul Rahman et al (2008), consideram que a utilização de ferramentas da mesma no projeto de peças e moldes possibilita uma previsão de comportamento do fluxo de moldagem, o que possibilita correções durante o desenvolvimento do ferramental.

A análise térmica oferecida no software *MoldFlow*, o torna uma ferramenta computacional de simulação de fluxo que traz resultados confiáveis, e de acordo com Sacchelli (2007), é importante pois o diferencial em injeção plástica é obter o diferencial na qualidade do produto final, quando se reduz o custo de fabricação do molde.

Em suma, tem-se que o estudo veio esclarecer e reforçar que é viável unir o conhecimento teórico de injeção plástica, desde a confecção de moldes até o ajuste de parâmetros de injeção, a ferramentas tecnológicas como o CAE que pode proporcionar agilidade nas respostas quanto a escolha do melhor a ser executado, prevenindo problemas de não conformidade no processo, assim como altos custos de fabricação e manutenção de moldes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARNEIRO, M. S. **Transferência Térmica determina o bom Desempenho de moldes de injeção.** Plástico Industrial, ano VIII, p. 108-119, Março, 2006.

Chang-yu Shen, "Plastic mold Computer Aided Engineering," First edition. Zhengzhou: Henan Science and Technology Press, 1998, pp64-97.

Chong-feng Wu. "Practical injection mold CAD / CAE / CAM technology," First edition. Beijing: China Light Industry Press, 2000, pp158-171.

COSTA, C. A.; YOUNG, R. I. M. **Uma Revisão em Sistemas Baseados em Inteligência Artificial para Suporte ao Projeto de Moldes de Injeção.** Revista do Ccet, Caxias do Sul, v. 2, n. 2, 1999.

CUNHA, A. M. **Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos.** Vol. 2 - Moldação por Injeção e Materiais Plásticos. Marina Grande, Centimfe, 2004.

CHEN, Z.; TURNG, L. A review of current developments in process and quality control for injection molding, *Advances in Polymer Technology*, Vol. 24, Issue 3, pp. 165-182 (2005).

GIL, A.C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social.** 6º ed. São Paulo: Atlas, 2008.

HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos – Projetos e Princípios Básicos**. São Paulo: Artiber, 2004.

MALLOY, R. A. **Plastic Part Design for Injection Molding: an Introduction**. New York: Hanser, 2000.

MENGES, G., MOHREN, P. **How to Make Injection Molds**. 2. ed. Munich: Hanser, 1993.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artiber, 2005.

MICHAELI, W.; GREIF, H.; VOSSEBURGUER, F.J. **Introducción a la tecnología de los plásticos, Munich**: Hanser, 1992.

PEIXOTO, F. L. **Considerações Quanto ao Uso de Técnicas para Análise de Fluxo em Cavidades de Moldes de Injeção**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

PROVENZA, F. **Moldes para plástico**. São Páulo: F. Provenza, 1993.

PÖTSCH, G.; WALTER, M. **Injection Molding – Na Introduction**. Hanser/Gardner, 1995.

REES, H. **Mold Engineering**. Munich; Vienna; New York: Hanser; Cincinnati: Hanser/Gardner, 1995.

SACCHELLI, C.M. **Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

SCHUBERT, A.; SCHIEDEK, B.; HANS, C. **Como uma boa Simulação Facilita o Desenvolvimento de Peças Plásticas**. Plástico Industrial, ano V p. 88-95, dezembro, 2002.

Shen, Y.K. et al., 2008. Analysis for optimal gate design of thin-walled injection molding. International Communications in Heat and Mass Transfer, 35, pp.728–734.

Wan Abdul Rahman, W.A., Sin, L.T. & Rahmat, A.R., 2008. Injection moulding simulation analysis of natural fiber composite window frame. Journal of Materials Processing Technology, 197, pp.22–30.

Zhi-xin CHEN, Jian-xiong LIU, Yi-lin CHI. "Injection Mold CAD / CAM / CAE system integration," Kunming University of Science and Technology, Aug.2003.