

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
ENGENHARIA MECÂNICA
MARCELO PINTO DE MORAES

**FLUIDODINAMICA: O comportamento de um fluido não newtoniano em uma
ferramenta de extrusão**

Varginha
2012

MARCELO PINTO DE MORAES

**FLUIDODINAMICA: O comportamento de um fluido não newtoniano em uma
ferramenta de extrusão**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de licenciatura, sobre orientação do Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes.

Varginha

2012

MARCELO PINTO DE MORAES

FLUIDODINÂMICA: o comportamento de um fluido não newtoniano em uma ferramenta de extrusão.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas – UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel, pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Ms. Alexandre de Oliveira Lopes

Prof. Esp. Joao Mario Mendes de Freitas

Prof. Esp. Nilson Antônio de Carvalho

OBS.

Dedico este trabalho a minha família, minha namorada e todos os professores que de uma forma ou de outra contribuíram para o meu crescimento profissional e intelectual.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais que me ensinaram o caminho correto da vida e sempre estiveram ao meu lado em todos os momentos.

Um agradecimento especial para meu pai, um homem de pouco estudo, mas de uma vasta sabedoria, um homem formado, pós-graduado e doutorado na universidade da vida.

Agradeço minha irmã que sempre foi uma fonte de inspiração para mim e que me deu dois sobrinhos lindos.

Agradeço a minha namorada que pacientemente sempre esteve ao meu lado dando força para superar todas as dificuldades e aguentando meu “mau humor” nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos professores que passam por minha vida acadêmica, transmitindo conhecimento e muitas vezes trocando experiências que foram muito importantes para o meu crescimento profissional e também pessoal.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

José de Alencar

RESUMO

Em uma indústria no ramo de extrusão um dos maiores responsáveis pelo scrap gerado durante o processo é o desbalanceamento do fluxo de uma ferramenta de extrusão chamada de matriz ou fieira. Este balanceamento incorreto gera perdas de matéria prima e horas de máquinas paradas onde esta perda impacta diretamente no faturamento da empresa. Nos dias de hoje estas perdas de processo são responsáveis por cerca de 6% no faturamento mensal de uma empresa. Com a finalidade de diminuir estas perdas as empresas buscam cada vez mais por processos ideais, aonde se alia a alta produtividade e o baixo refugo, é por isso que cada vez mais as empresas estão investindo em tecnologia e processos que possam auxiliar o projetista a definir o melhor conceito do ferramental. Considerando que hoje o processo de elaboração de uma ferramenta de extrusão se dá basicamente na fundamentação prática do projetista e sua assertividade é decorrente de “tentativas e erros”. Este trabalho tem como objetivo estudar o balanceamento de um fluido não newtoniano em uma ferramenta de extrusão, e com isso identificar as principais variáveis que influenciam no desbalanceamento do fluxo de extrusão podendo assim controlar e eliminar estas variáveis. Para isso analisaremos um modelo matemático de uma ferramenta de extrusão para extrudar um perfil de seção quadrada, neste caso em específico será utilizado um composto chamado elastômero classificado comercialmente como EPDM que é conhecido como borracha sintética, como referência teórica será utilizado como base de análise o modelo de fluido “Herschel-Bulkley”, com isso podemos verificar os fenômenos físico-químicos que ocorrem durante o processo de extrusão, para a validação destas informações será utilizado um software de simulação de fluxo. Com base nestes dados obtidos e resultados práticos efetuados será possível controlar as variáveis do processo e diminuir em cerca de 30% o scrap durante o processo.

Palavra-chave: Processo de Extrusão. Extrusão de polímero.

ABSTRACT

In an extrusion company most responsible for the scrap generated during the process is the imbalance of the flow of an extrusion tool called extrusion die. This causes incorrect balancing losses of raw materials and machinery parades hours where this loss has a direct impact on revenues of a company. Nowadays these losses process is responsible for about 6% of the monthly revenue of a company. In order to reduce these losses companies are increasingly seeking for ideal cases, where it combines the low vs high productivity scrap, which is why more and more companies are investing in technology and processes that can help the designer to define the best concept of the tooling. Whereas today the process of developing an extrusion tool is basically the practice in the grounds of the designer and his assertiveness is a result of "trial and error". This work aims to study the balance of a non-Newtonian fluid in an extrusion tool, and thereby identify the key variables that influence the imbalance flow extrusion and thus can control and eliminate these variables. To this end analyze a mathematical model of an extrusion tool for extruding a profile of square section in this case will use a specific compound called elastomers classified as EPDM which is commercially known as synthetic rubber, as a reference theoretical be used as the basis of analysis model Fluid "Herschel-Bulkley" and we can see the physic-chemical phenomena that occur during the extrusion process to validate this information will be used a flow simulation software. Based on these data and practical results will be made possible to control the process variables and decrease by about 30% the scrap generated in process.

Keywords: *Process Extrusion. Polymer Extrusion.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Linha de Extrusão	11
Figura 2 – Processo de Extrusão.....	12
Figura 3 – Rosca de Arquimedes.....	13
Figura 4 – Rosca de Extrusão	14
Figura 5 – Matriz de Extrusão	15
Figura 6 - Projeto de uma Matriz de Extrusão.....	16
Figura 7 - Tipos de Matrizes	16
Figura 8 - Produto de EPDM.....	18
Figura 9 - Classificação dos Fluidos	20
Figura 10 - Balanceamento de Fluxo.....	21
Figura 11 - Relação Velocidade vs Fluxo	22
Figura 12 - escoamento de Fluido.....	24
Figura 13 - Classe dos Fluidos	25
Figura 14 - Viscosidade.....	26
Figura 15 - Experiência Fluido Não Newtoniano.....	29
Figura 16 - Simulação de Fluxo	32
Figura 17 - Controle de Scrap por problemas de extrusão	35
Figura 18 - Matriz para Perfil Quadrado	36
Figura 19 - Modelo Matemático.....	37
Figura 20 - Ferramenta com Geometria Contraída.....	37
Figura 21 - Relação de Inchamento	38
Figura 22 - Fenômeno de Inchamento do Extrudado	38
Figura 23 - Ferramenta com Geometria Quadrada.....	39
Figura 24 - Ferramenta com Geometria dividida em quatro	39
Figura 25 - Ferramenta com Geometria em X.....	40
Figura 26 - Software de Simulação de Fluxo	40
Figura 27 - Banco de dados do software	41
Figura 28 - Interface do Software.....	42
Figura 29 - Primeira Simulação.....	43
Figura 30 - Segunda Simulação.....	43
Figura 31 - Terceira Simulação	44
Figura 32 - Quarta Simulação.....	44

Figura 33 - Velocidade de Escoamento do Fluido	46
Figura 34 - Exemplo para Calculo.....	46

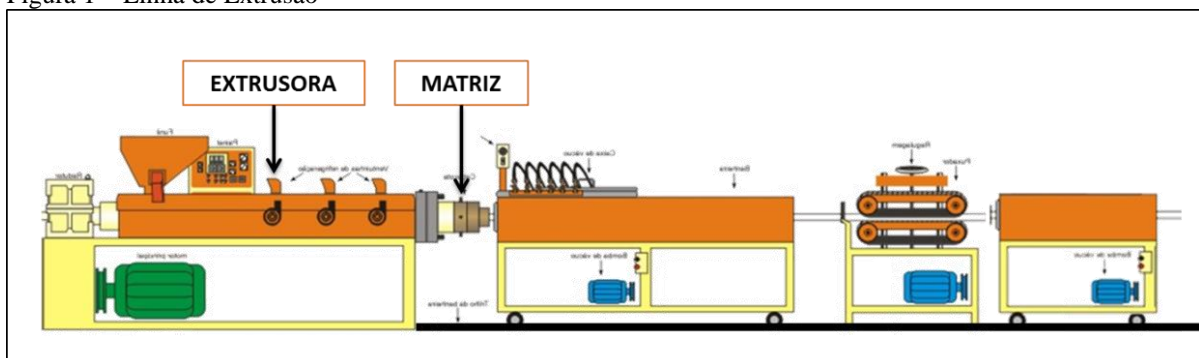
SUMARIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 PROCESSO DE EXTRUSÃO	12
2.1 Rosca De Extrusão	12
2.2 Matriz De Extrusão	14
3 BORRACHA SINTETICA (EPDM)	16
4 CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS	19
5 BALANCEAMENTO DE FLUXO	21
6 ESCOAMENTO DE FLUIDOS	22
7 PROPRIEDADES FISICAS DO FLUIDO	25
8 VISCOSIDADE DE UM FLUIDO	26
9 FLUIDO NÃO NEWTONIANO	28
10 COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS – CFD	30
11 DESENVOLVIMENTO	33
11.1 Processos Produtivos	33
11.2 Tipos De Perdas:	34
11.2.1 Perdas No Processamento.....	34
11.3 Perdas No Processo De Extrusão	35
12 METODOLOGIA	36
12.1 Objetivos Do Trabalho	36
12.2 Modelos Matemáticos	36
12.2.1 Modelo Com Geometria Com Contração.....	37
12.2.1.1 Efeito “Die Swell” Ou “Inchamento”.....	38
12.2.2 Modelo Com Geometria Quadrada.....	38
12.2.3 Modelo Com Geometria Quadrada E Divida Em Quatro.....	39
12.2.4 Modelo Com Geometria Quadrada E Divisão Tipo X.....	39
12.3 Simulações CFD	40
12.3.1 Material Usado Na Simulação	41
12.3.2 Banco De Dados	41
12.3.3 Entrada De Dados	42
13 RESULTADOS	43
13.1 Analise Nº 1	43
13.2 Analise Nº 2	43
13.3 Analise Nº 3	44
13.4 Analise Nº 4	44
14 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	47
ANEXO A – EXEMPLO PRATICO	48
ANEXO B – FLUXOGRAMA DE PROJETO	49

1 INTRODUÇÃO

O processo de extrusão é uma forma de moldagem muito antiga, cujo início não se tem muitos registros. Sabe-se que o processo de extrusão foi utilizado em escala industrial, desde o início do século XIX, na fabricação de tubos de chumbo. O uso de equipamentos de extrusão também é feito para fabricação de produtos de material cerâmico, eletrodos de carbono, grafite para lapiseira e polímeros. A palavra “extrusão” tem raiz e vai buscar significado nos vocábulos latino, em que “ex” significa força e “tudere” significa empurrar. Pode-se definir, então, a extrusão como o processo de obtenção de produtos com comprimentos ilimitados e seção transversal constante, obrigando o material a passar através de uma extrusora e de um cabeçote sobre condições de pressão e temperatura controlada. O composto depois de ser fundido e homogeneizado na extrusora passa pelo cabeçote e é direcionado através de canais para a matriz na qual tomara a forma desejada do produto final. A função da ferramenta de extrusão chamada matriz é garantir que este fluido ira escoar com uma pressão ideal e sua velocidade de escoamento seja homogêneo evitando assim variações no processo. O objetivo deste trabalho é estudar e definir parâmetros técnicos com relação ao balanceamento do fluxo nos canais da ferramenta, no caso deste trabalho será usado um material elastômero classificado como EPDM como base de estudo, será utilizado o software Solidworks para gerar modelos matemáticos das ferramentas e o software Simualtion CFD para analisar e validar o balanceamento do fluxo nos modelos estudados, com estes parâmetros o projetista poderá tomar a melhor decisão de como projetar uma ferramenta ideal.

Figura 1 – Linha de Extrusão

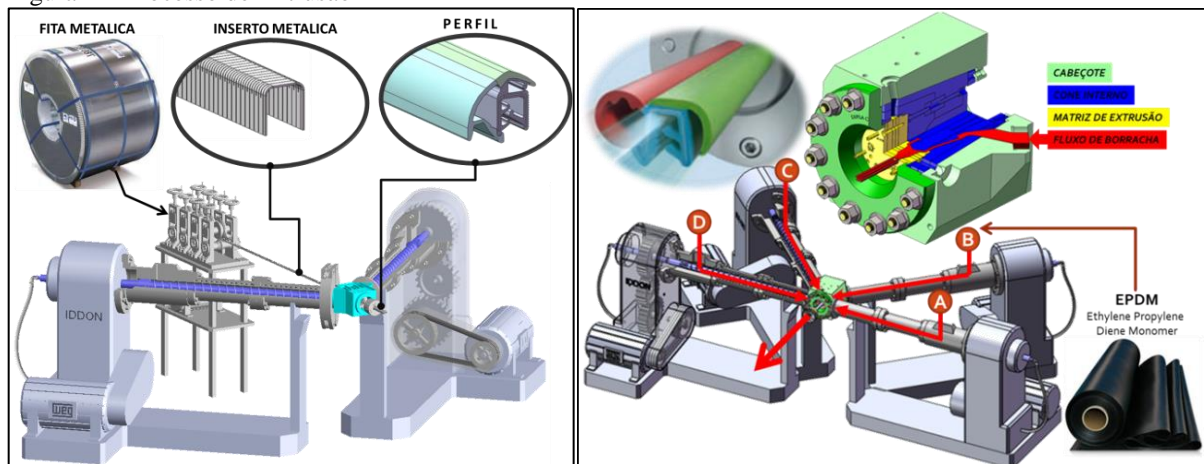


Fonte: (O Autor)

2 PROCESSO DE EXTRUSÃO

Segundo Giler, Wagner e Mount (2005) pode-se definir a extrusão como um processo de transformação de termoplásticos, um processo de obtenção de produtos com comprimentos ilimitados e seção transversal constante, obrigando o material a passar através de um cabeçote e uma fieira ou matriz. Desta maneira, a moldagem por extrusão apresenta característica essencial, que a distingue de todos outros processos de conformação de polímeros. Esse processo é contínuo e por isso é usado para fabricação de produtos acabados, como por exemplo: barras, fitas, mangueiras e tubos, como também para produtos semimanufaturados, que devam, posteriormente, sofrer novo processamento. A extrusão também é usada para incorporação de aditivos, e em alguns casos podem ser usada como reatores de modificação de polímeros, também conhecida como extrusão reativa. O processo de extrusão é realizado em um equipamento conhecido como extrusora.

Figura 2 – Processo de Extrusão



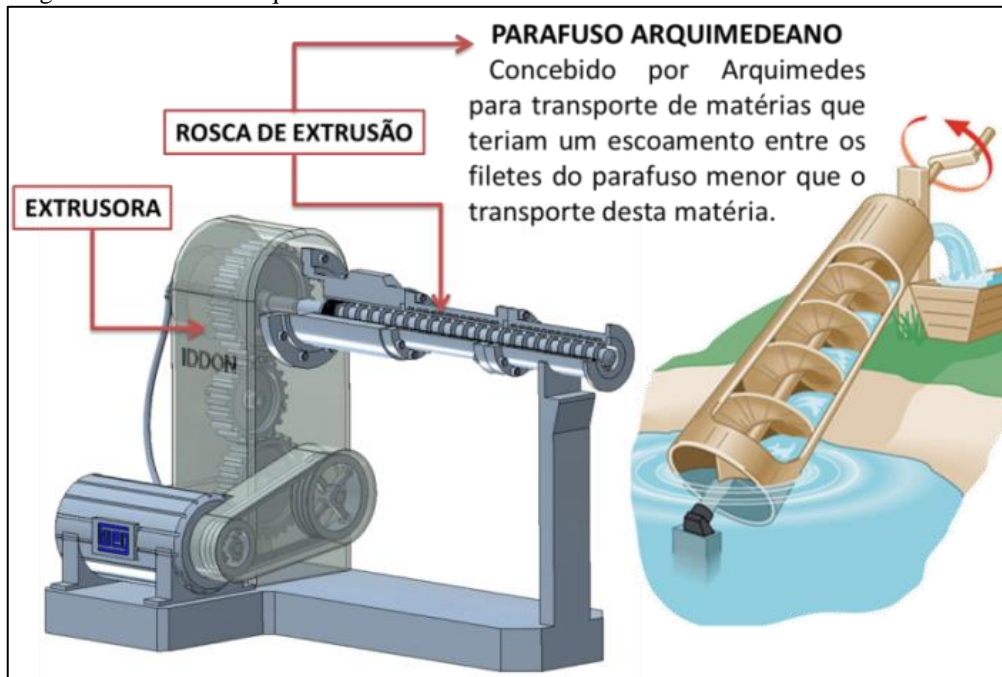
Fonte: (O Autor)

2.1 Rosca de extrusão

Segundo White (1995) uma extrusora é composta por um conjunto de motor, redutor e principalmente por uma rosca que é construída em aço-liga com excelente resistência térmica, corrosão, torsão e flexão. A rosca é a parte principal de uma extrusora, tendo a função de: fazer que o material polimérico avance para a matriz; misturar convenientemente o material polimérico; ter comprimento suficiente para fundir (amolecer) e reduzir a viscosidade do material. A geometria da rosca muda para cada polímero. Esta diferença de geometria ocorre, porque os termoplásticos diferem entre si, tanto nas propriedades térmicas (capacidade

calorífica, calor latente de fusão, temperatura de fusão cristalina e temperatura de transição vítrea), quanto nas propriedades reológicas (curvas de fluxo e viscosidade) e propriedades mecânicas (dureza, resistência à compressão, etc.). A extrusora utilizada para o processamento de polímeros consiste essencialmente de um cilindro em cujo interior gira um parafuso (rosca) que segue a teoria do parafuso arquimedeano.

Figura 3 – Rosca de Arquimedes



Fonte: (O Autor)

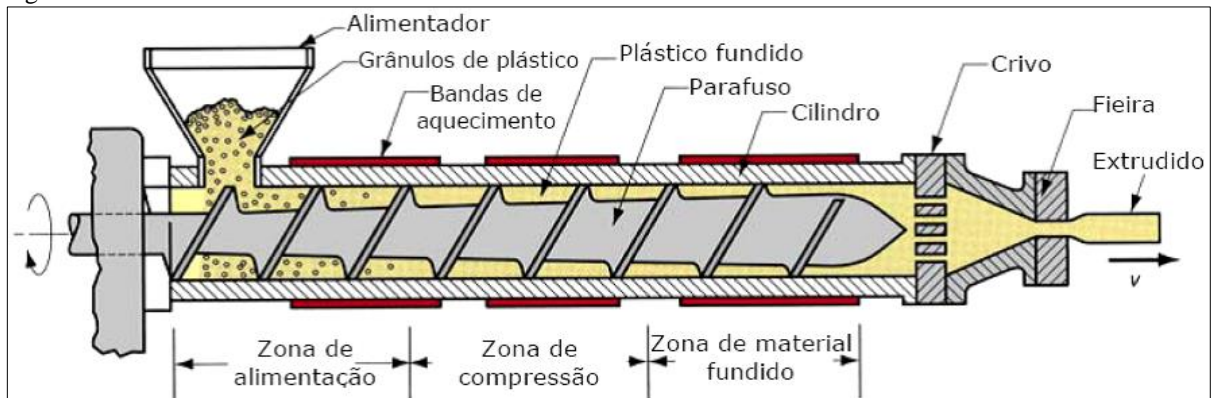
Segundo White e Potente (2002) conclui-se que é quase impossível ter-se uma mesma rosca capaz de trabalhar satisfatoriamente para qualquer tipo de material. Dentro dos canais da rosca, o polímero passa por diversos estágios, começando a partir do funil a ser transportado o estado sólido ou duro e no final da rosca vai estar fundido ou amolecido. A transição sólido/fluido viscoso se dá gradativamente. A rosca de um estágio é constituída de três zonas distintas, cada qual com suas funções específicas: Zona de Alimentação – Zona de entrada do material. A profundidade dos filetes (sulcos) é maior e seu diâmetro é constante em todo seu comprimento. A taxa de cisalhamento nessa região é bem pequena e o polímero estará praticamente no estado sólido. Zona de Compressão – A seção de transição ou de compressão destina-se a iniciar e promover a compressão e a plastificação dos grânulos do polímero. Isto ocorre, porque a profundidade dos filetes é menor, diminuindo assim o espaço disponível para o material sólido passar. O material empurrado para frente é aquecido pela troca de calor com o cilindro aquecido e pela fricção. O ar que está entre o material e as

paredes da extrusora é liberado e empurrado para trás, saindo pelo funil de alimentação. Nessa região a profundidade dos filetes varia ao longo do seu comprimento. A taxa de cisalhamento desenvolvida nessa seção é maior do que a da zona de alimentação. Zona de Dosagem ou de Controle de Vazão (Calibragem) – É a parte final da rosca, geralmente possui uma profundidade dos filetes relativamente pequena e é mantida constante em toda sua seção. Sua finalidade é de dar estabilidade ao polímero e ajudar a manter constante o fluxo do material.

Esta é a seção da qual se tem relativamente mais conhecimento de como trabalha, pois é nesta em que o material está completamente viscoso e pode-se através de algumas suposições justificadas, estudá-la matematicamente e se comprovar experimentalmente.

Existem extrusoras com uma única rosca e extrusoras de dupla rosca. A extrusora utilizada para o processamento de polímeros consiste essencialmente de um cilindro em cujo interior gira um parafuso (rosca). O polímero, na forma de grãos ou em pó, é alimentado, através do funil de alimentação, para o canhão ou cilindro que está aquecido. O movimento da rosca promove o transporte do polímero, levando-o até a feira também chamada matriz de extrusão. Durante este deslocamento, o material é progressivamente aquecido, plastificado, homogeneizado, comprimido e finalmente é forçado a sair, através do orifício da feira ou matriz de extrusão.

Figura 4 – Rosca de Extrusão



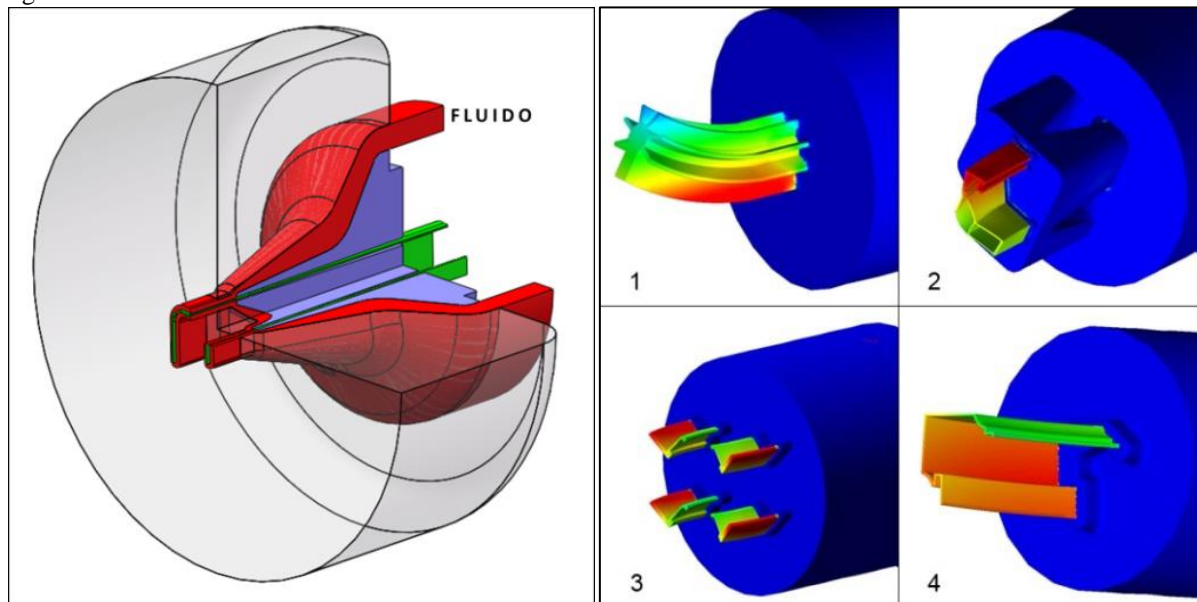
Fonte: (O Autor)

2.2 Matriz de Extrusão

Segundo Michaeli (1992) é de fundamental importância o projeto da matriz de extrusão bem como as complexidades inerentes à tarefa. Embora os tipos de produtos extrudidos feitos podem variar drasticamente de forma, há um conjunto de regras que governam comuns projetos básico. Por exemplo, é importante para otimizar o fluxo da

entrada para a saída, e como uma medida prática, para ajustar o equilíbrio do fluxo e as dimensões do produto, dispositivos de regulação de fluxo podem ser incluídos no projeto da matriz. Vários produtos exclusivos são feitos por extrusão e as matrizes necessárias para fazer esses produtos são classificadas como: matriz de filme, matriz de tubo, matriz de perfil e matriz de co-extrusão. Prever o perfil da matriz necessária para atingir as dimensões do produto desejado é uma tarefa muito complexa e requer conhecimento detalhado das características dos materiais e do fluxo e fenômenos de transferência de calor, e uma vasta experiência com o processo de extrusão.

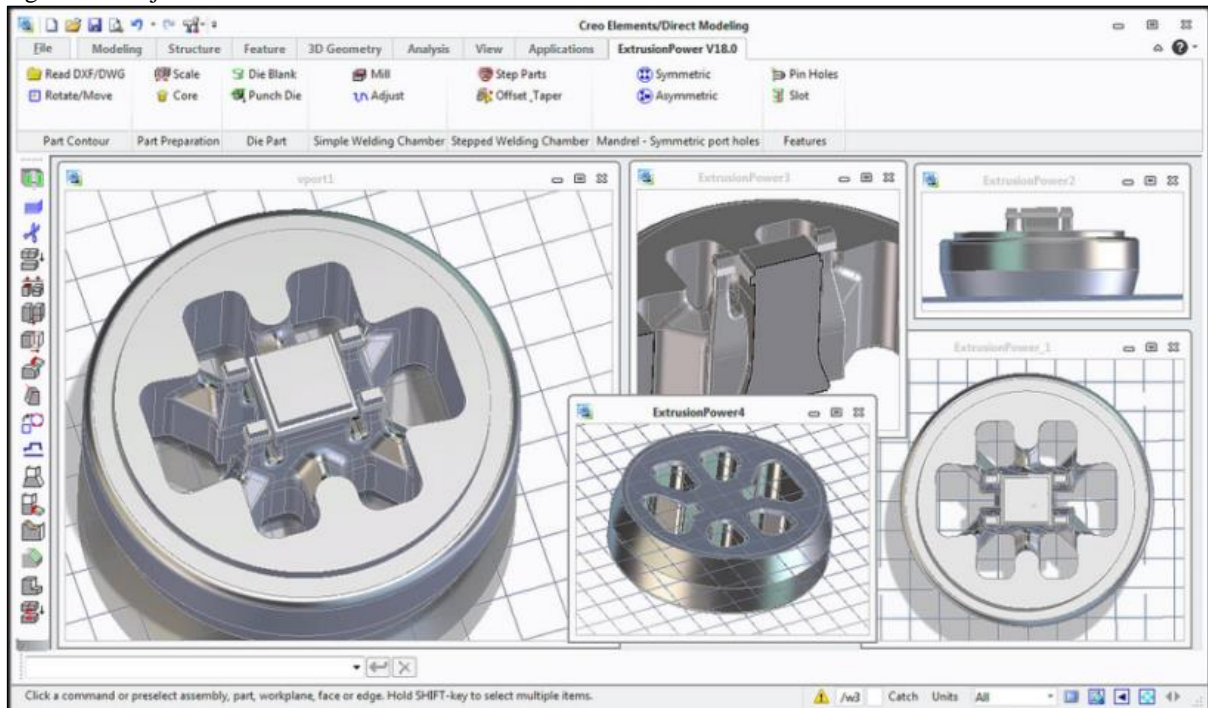
Figura 5 – Matriz de Extrusão



Fonte: (O Autor)

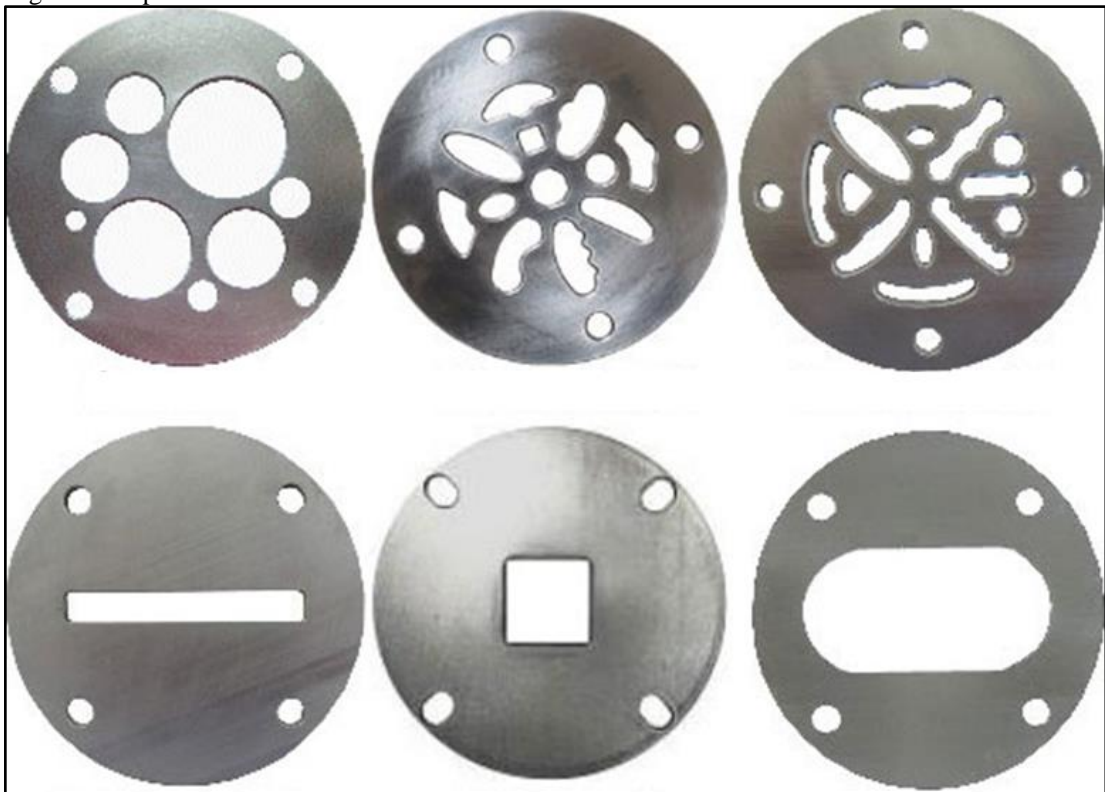
Segundo Crowther (1998) o projeto de uma matriz de extrusão ainda é mais uma arte que uma ciência, embora este último esteja se tornando cada vez mais relevante para a otimização do projeto por causa do avanço recente na computação poderosa e modelagem de fluxo complexo e os processos de transferência de calor, antes, por meio, e após a matriz.

Figura 6 - Projeto de uma Matriz de Extrusão



Fonte: (O Autor)

Figura 7 - Tipos de Matrizes



Fonte: (O Autor)

3 BORRACHA SINTETICA (EPDM)

Segundo Kear (2003) os copolímeros são geralmente referidos como borrachas “EPM”, em que as letras “E” e “P” significam respectivamente, etileno e propileno, enquanto que a letra “M” significa que a borracha tem uma cadeia saturada do tipo polimetileno. O EPM, outrora designado por APK ou EPR, é, portanto uma borracha obtida através da copolimerização do etileno e do propileno. Tem elevado peso molecular, é amorfa e saturada e, por ser saturada, só pode ser vulcanizada com peróxidos orgânicos. À temperatura ambiente, o polietileno é um plastómero cristalino, mas aquecendo-o, ele passa através de uma fase “elastomérica”. Se interferirmos na cristalização do polietileno, ou seja, se incorporarmos na cadeia do polímero elementos que impeçam a cristalização, a temperatura de fusão e a fase elastomérica podem ser reduzidos para valores inferiores à temperatura ambiente. Estes materiais amorfos e vulcanizáveis são os EPMs, sendo completamente amorfos e não auto-reforçantes aqueles que possuem entre 45 a 60% de etileno. Se o conteúdo em etileno for da ordem de 70 a 80%, os polímeros contêm longas sequências de etileno, que são particularmente cristalinas, sendo por isso referido como grau “*sequencial*” e o seu comportamento em processamento difere muito do apresentado pelos polímeros amorfos. Uma vez que a vulcanização da borracha de EPM com peróxido, a única possível, apresenta algumas desvantagens, foi desenvolvida a reação do etileno-propileno com um dieno para ser possível a vulcanização com enxofre e aceleradores convencionais. O produto da polimerização assim obtido é, como já referido, o EPDM, terpolímero composto por três unidades de monómeros: etileno, propileno e dieno. Nos terpolímeros, usualmente referidos como borracha de “EPDM”, as letras “E”, “P” e “M” têm o mesmo significado que anteriormente referido, designando a letra “D” o terceiro monómero, um dieno, que introduz insaturação na cadeia. Os EPDMs são, portanto, EPMs insaturados. Os dienos mais utilizados são 1,4 hexadieno (1,4 HD), o dicitlopentadieno (DCPD) e o etilidene norbornene (ENB), este o mais usado devido à sua fácil incorporação e à sua maior aptidão para a vulcanização com enxofre, embora seja o mais caro. Nos três casos referidos a dupla ligação polimerizável é a representada no lado esquerdo da cadeia.

Figura 8 - Produto de EPDM



Fonte: (O Autor)

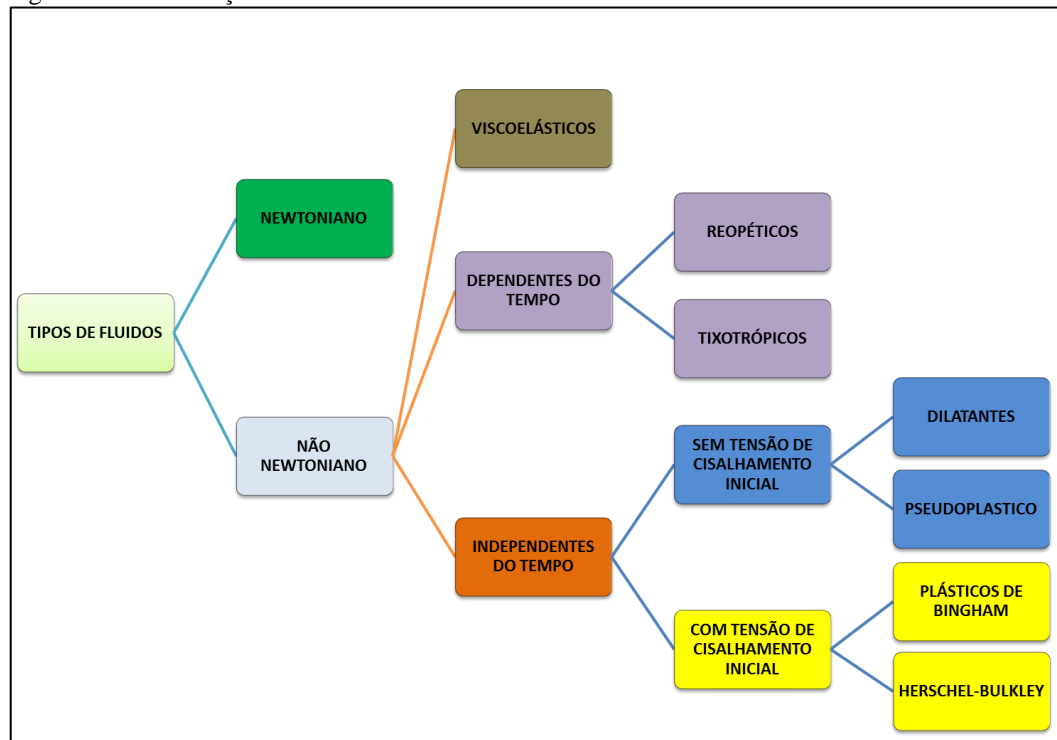
Segundo Johnson (2001) os compostos de EPDM extrudam normalmente bem, exibindo superfícies lisas e sem colapso. Normalmente requerem pouco aquecimento antes da extrusão (40°C). Se o composto entrar muito quente na extrusora, há uma tendência para que o material deslize em volta da rosca, resultando em uma extrusão lenta e desuniforme. Compostos altamente carregados extrudam mais rapidamente que compostos levemente carregados, na mesma faixa de dureza e viscosidade. Roscas longas para alimentação a frio proporcionam maior velocidade na extrusão e melhor uniformidade no perfil, muito embora apresentem maior consumo de energia. As composições de EPDM podem ser curadas no intervalo de temperatura de 150 a 200°C, dependendo do tipo de EPDM e sistema de cura utilizado. As temperaturas mais altas são utilizadas para artigos pouco espessos, e normalmente com ciclos de cura bastante curtos.

4 CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS

No século 18, Isaac Newton identificou as propriedades de um líquido ideal. Água e outros líquidos que têm as propriedades que Newton identificou são chamados de fluidos Newtonianos. E aqueles que não agem como um fluido ideal de Newton. É um fluido não-Newtoniano. Existem muitos fluidos não-Newtonianos. O Ketchup, por exemplo, é um fluido não-Newtoniano. (O termo científico para esse tipo de fluido não-Newtoniano é tixotrópico. Essa palavra vem do grego, tixis que significa "o ato de manejar" e trope, que significa "mudança").

Segundo Chhabra e Richardson (2008) fluidos são substâncias que são capazes de escoar e cujo volume toma a forma de seu recipiente. Quando em equilíbrio, os fluidos não suportam forças tangenciais ou cisalhantes. Todos os fluidos possuem certo grau de compressibilidade e oferecem pequena resistência à mudança de forma. Um fluido não-Newtoniano é aquele cuja curva de fluxo (tensão de corte vs taxa de corte) é não-linear, ou não passam pela origem, ou seja, em que a viscosidade aparente, tensão de corte dividido pela velocidade de corte, e não é constante a uma dada temperatura e pressão, mas é dependente de condições de fluxo, tais como a geometria do fluxo, da velocidade de corte, etc, e, por vezes, até mesmo sobre a história da cinemática do fluido do elemento em questão. Esses materiais podem ser convenientemente agrupados em três categorias gerais: fluidos para o qual a taxa de cisalhamento, em qualquer ponto é determinada apenas pelo valor da tensão de corte em que o ponto em que instante estes fluidos são diversamente conhecido como “tempo independente”, “puramente viscoso”, inelástico” ou generalizados fluidos newtonianos”, (GNF). “Fluidos mais complexam para as quais a relação entre a tensão de cisalhamento e velocidade de corte depende, além disso, a duração do cisalhamento e da sua história cinemática; eles são chamados ‘dependentes do tempo de fluidos’, e finalmente. “As substâncias que apresentam características de ambos os fluidos e sólidos elásticos ideais e mostrando recuperação elástica parcial, após a deformação, as quais são classificadas como” visco-elásticas fluidos.

Figura 9 - Classificação dos Fluidos



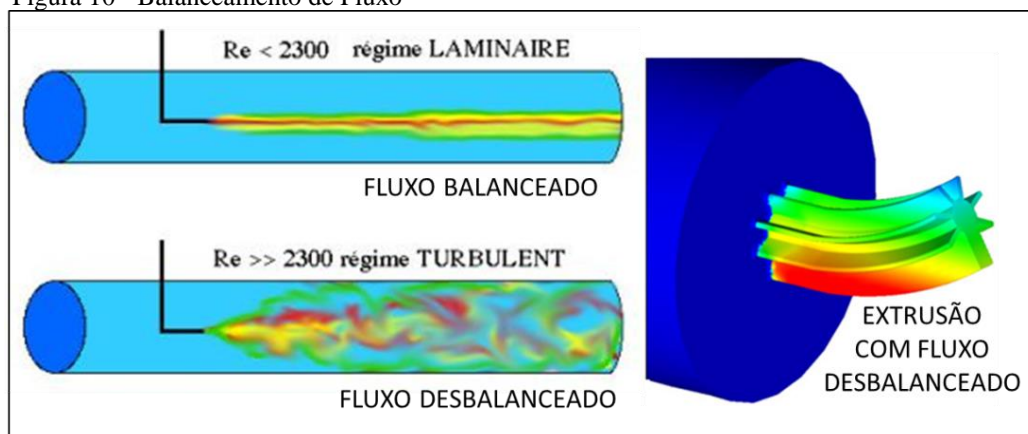
Fonte: (www.glossary.oilfield.slb.com)

Este sistema de classificação é arbitrário no sentido de que a maioria dos materiais reais exibe frequentemente uma combinação de dois ou mesmo os três tipos de características não newtonianas. Geralmente, é, no entanto, possível identificar a característica não newtoniana dominante e tomar esta como a base para os cálculos subsequentes do processo. Além disso, como mencionado anteriormente, é conveniente definir uma viscosidade aparente destes materiais como a razão entre tensão de cisalhamento a velocidade de corte, embora a relação última é uma função da tensão de corte ou da velocidade de corte e / ou de tempo. Cada tipo de comportamento não newtoniano do fluido será agora tratado com algum detalhe.

5 BALANCEAMENTO DE FLUXO

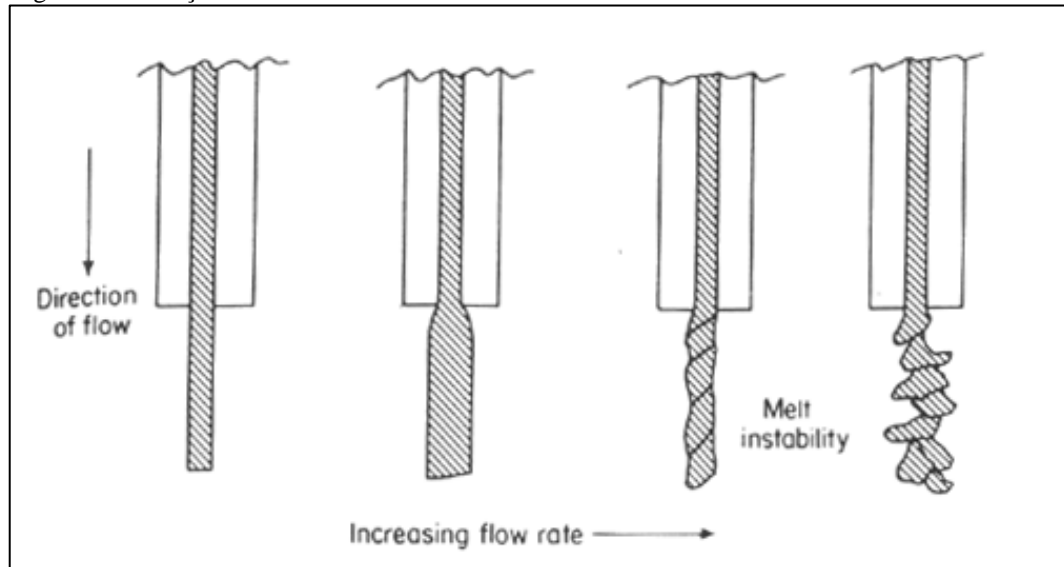
Segundo Michaeli (1992) para conseguir uma geometria especificada para um perfil de extrusão, com um grau mínimo de tensões internas, o fluxo de equilíbrio da fieira é necessário. Para atingir este objectivo, o fluxo ao longo de um canal da matriz deve ser descrito com precisão. No passado, o projeto de matrizes de extrusão foi baseado em experiências de tentativa e erro, essencialmente na experiência dos projetistas e geralmente é gasto muito tempo, material e equipamento. Actualmente, devido ao desenvolvimento de pacotes de software para a modelação matemática do escoamento de polímeros fundidos este procedimento de tentativa e erro, vai sendo progressivamente transformada a partir de uma abordagem experimental para a operação numérico. No entanto, a geração de sucessiva solução e a decisão necessariamente envolvida neste processo ainda está comprometida com o projetista. Para obter a geometria especificada por um perfil de extrusão, com um grau mínimo de tensões internas, o fluxo de equilíbrio da fieira é necessário. Estes requisitos dependem essencialmente da geometria do canal de fluxo e as propriedades reológicas do polímero fundido e tanto a sua dependência da taxa de deformação e temperatura. Portanto, o fluxo ao longo de um canal da matriz deve ser descrito com precisão, exigindo um código computacional capaz de prever os complexos padrões de fluxo envolvidos e as correspondentes variações de temperatura do fluido locais promovidos pela dissipação de calor viscoso e / ou específicas condições de contorno térmicas, especialmente no caso dos complexos finas da secção transversal de geometrias que abrangem diferentes restrições de fluxo locais.

Figura 10 - Balanceamento de Fluxo



Fonte: (O Autor)

Figura 11 - Relação Velocidade vs Fluxo



Fonte: (O Autor)

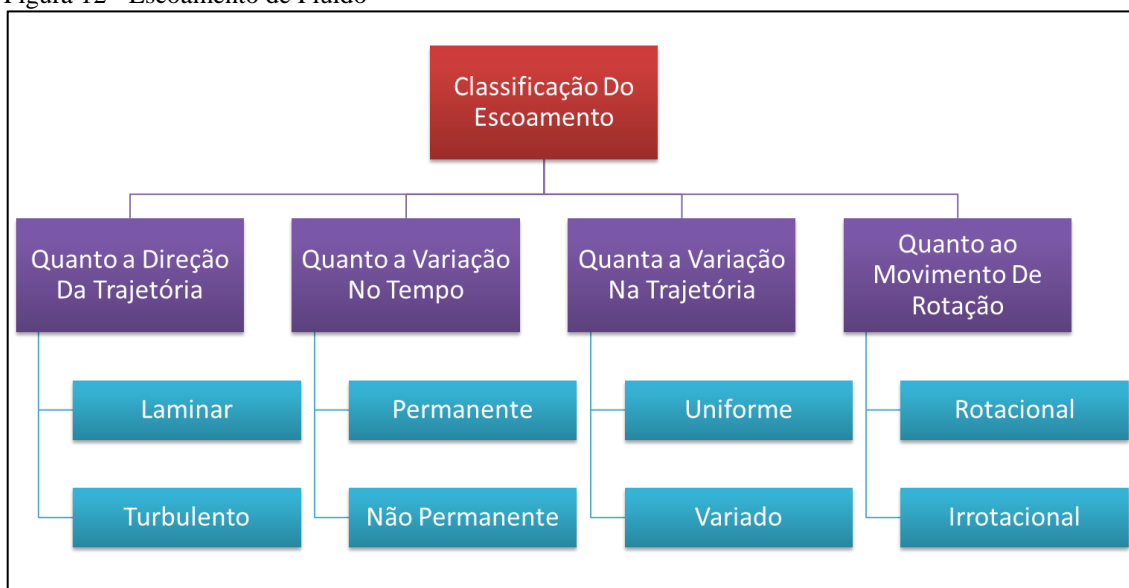
Portanto, o equilíbrio de fluxo tem um papel muito importante, sendo uma das etapas de uma metodologia mais ampla concepção global de matrizes de extrusão de perfis que tenham sido desenvolvidos.

6 ESCOAMENTO DE FLUIDOS

Segundo Fox, McDonald e Pritchard (2006) o escoamento de fluidos pode ser permanente (estável) ou não permanente (instável); uniforme ou não uniforme (variado); laminar ou turbulento; uni, di ou tridimensional; rotacional ou não rotacional. O escoamento unidimensional de um fluido incompressível ocorre quando a direção e a intensidade da velocidade é a mesma para todos os pontos. O escoamento bidimensional ocorre quando as partículas do fluido se movem em planos ou em planos paralelos e, suas trajetórias são idênticas em cada plano. As grandezas do escoamento variam em 2 dimensões. Escoamento laminar. Neste tipo as partículas do fluido percorrem trajetórias paralelas. O escoamento laminar é também conhecido como lamelar ou tranquilo. Escoamento turbulento. As trajetórias são curvilíneas e irregulares. Elas se entrecruzam, formando uma série de minúsculos remoinhos. O escoamento turbulento é também conhecido como “turbilhonário” ou “hidráulico”. Na prática, o escoamento dos fluidos quase sempre é turbulento. É o regime encontrado nas obras e instalações de engenharia, tais como adutoras, vertedores de barragens, fontes ornamentais etc. Escoamento permanente. Neste tipo, a velocidade e a pressão em determinado ponto, não variam com o tempo. A velocidade e a pressão podem variar do ponto 1 para o ponto 2, mas são constantes em cada ponto imóvel do espaço, a qualquer tempo. O escoamento permanente é também chamado de “estacionário” e diz que a corrente fluida é “estável”. Nele a pressão e a velocidade em um ponto $a(x,y,z)$ são funções das coordenadas desse ponto (não dependem do tempo). Escoamento não-permanente. Neste caso, a velocidade e a pressão, em determinado ponto, variam com o tempo. Variam também de um ponto a outro. Este tipo é também chamado de “variável” (ou transitório), e diz-se que corrente é “instável”. A pressão e a velocidade em um ponto $a(x,y,z)$ dependem tanto das coordenadas como também do tempo t . Escoamento uniforme. Neste tipo, todos os pontos da mesma trajetória têm a mesma velocidade. É um caso particular do escoamento permanente: a velocidade pode variar de uma trajetória para outra, mas, na mesma trajetória, todos os pontos têm a mesma velocidade, ou seja, de um ponto a outro da mesma trajetória, a velocidade não varia (o módulo, a direção e o sentido são constantes). Ex. Este tipo ocorre em tubulações longas, de diâmetro constante. No escoamento uniforme, a seção transversal da corrente é invariável. Escoamento variado. Neste caso, os diversos pontos da mesma trajetória não apresentam velocidade constante no intervalo de tempo considerado. O escoamento variado ocorre, por exemplo: nas correntes convergentes, originárias de orifícios e também nas correntes de seção. Escoamento rotacional. Cada partícula está sujeita à velocidade angular w ,

em relação ao seu centro de massa. Por exemplo, o escoamento rotacional é bem caracterizado no fenômeno do equilíbrio relativo em um recipiente cilíndrico aberto, que contém um líquido e que gira em torno de seu eixo vertical. Em virtude da viscosidade, o escoamento dos fluidos reais é sempre do tipo rotacional. Escoamento irrotacional. Para simplificar o estudo da mecânica dos fluidos, é usual desprezar a característica rotacional do escoamento, passando-se a considerá-lo como irrotacional, através dos princípios clássicos da fluidodinâmica. No tipo irrotacional, as partículas não se deformam, pois se faz uma concepção matemática do escoamento, desprezando a influência da viscosidade.

Figura 12 - Escoamento de Fluido



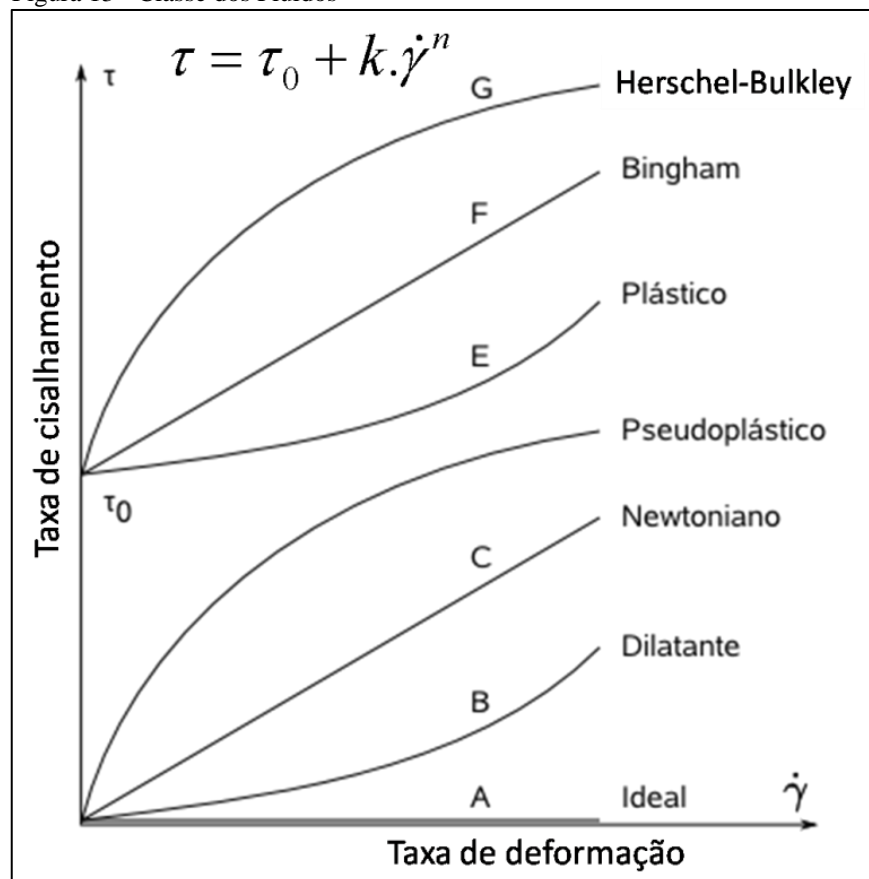
Fonte: (O Autor)

7 PROPRIEDADES FÍSICAS DO FLUIDO

Segundo Brunetti (2008) considere um elemento de volume de um fluido, com a forma de um cubo e a resposta do fluido a uma força externa aplicada. Desenvolver-se-á uma força interna, agindo a partir dessa área, que é denominada tensão (τ_{yx}). Existem dois tipos básicos de tensão que podem ser exercidas sobre esse elemento de volume: Tensões normais: agem perpendicularmente à face do cubo; Tensões de cisalhamento: agem tangencialmente à face do cubo. Os conceitos de tensão de cisalhamento (força aplicada) e taxa de deformação (gradiente de velocidade) são usados para descrever a deformação e o escoamento do fluido.

A gradiente de velocidade entre as camadas laminares gera um fluxo de força mecânica (tensão de cisalhamento). No caso de líquidos, as maiores partes das medidas reológicas são feitas com base na aplicação de tensões de cisalhamento.

Figura 13 - Classe dos Fluidos

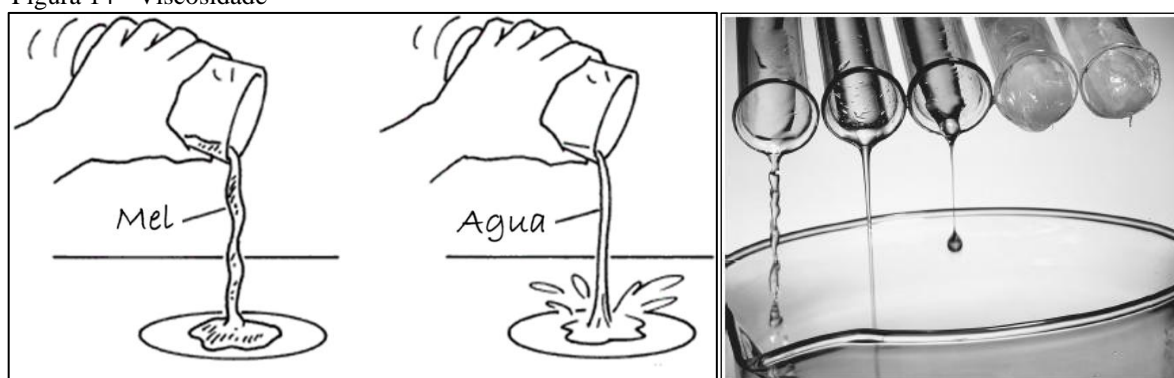


Fonte: (O Autor)

8 VISCOSIDADE DE UM FLUIDO

Segundo Oliveira e Lopes (2006) viscosidade de um líquido (inverso da fluidez) mede a resistência interna oferecida ao movimento relativo de diferentes partes desse líquido. Em um fluxo laminar, diferentes “lâminas” do líquido movem-se com velocidades diferentes. Em um viscosímetro capilar, o líquido em contato com a parede do capilar tem velocidade igual a zero, atingindo uma velocidade máxima no centro do capilar. Em um líquido muito viscoso, a velocidade varia pouco da parede para o centro do capilar e o líquido escoar lentamente. Note que a viscosidade é inversamente proporcional a este gradiente de velocidade, ou taxa de cisalhamento. A viscosidade mede a resistência de um líquido em fluir (escoar) e não está diretamente relacionada com a densidade do líquido, que é a relação massa/volume. Por exemplo, o óleo de soja utilizado para cozinhar é mais viscoso que a água, embora seja menos denso. Apesar da nítida diferença entre viscosidade e densidade, é comum ouvir a frase “este líquido é muito denso” para se referir a um líquido que tem dificuldade em escoar. A frase correta deveria ser “este líquido é muito viscoso”. Em algumas situações é conveniente usar a viscosidade cinemática que é o coeficiente de viscosidade dividido pela densidade do líquido. Em um viscosímetro capilar, é a viscosidade cinemática que é medida. Se o gráfico da tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento à temperatura e pressão constantes for linear, a viscosidade será constante e igual ao coeficiente angular da reta.

Figura 14 - Viscosidade



Fonte: (O Autor)

A maioria dos líquidos puros e muitas soluções e dispersões apresentam este tipo de comportamento e são denominados líquidos newtonianos, pois foi Newton quem primeiro observou esta relação. No caso de sistemas newtonianos, é a viscosidade absoluta. Em um viscosímetro de Stormer, se o líquido é newtoniano, quando dobramos o peso de

acionamento, a velocidade angular do cilindro interno também dobra. Muitas soluções de polímeros (especialmente se forem concentradas) e dispersões (especialmente se contiverem partículas assimétricas, por exemplo, nas formas de disco ou bastão) apresentam desvio deste comportamento e são denominadas de sistemas não newtonianos. As principais causas do fluxo não newtoniano em sistemas coloidais são a formação de uma estrutura organizada através do sistema e a orientação de partículas assimétricas na direção do fluxo provocadas pelo gradiente de velocidade. A quantidade $d\tau/d\dot{\gamma}$, no caso de sistemas não newtonianos, é a viscosidade aparente, pois seu valor depende da tensão de cisalhamento aplicada ao líquido.

9 FLUIDO NÃO NEWTONIANO

Segundo Çengel e Cimbala (2007) os sistemas não newtonianos apresentam dois tipos de fenômenos que os distinguem de sistemas newtonianos: fenômenos independentes do tempo e fenômenos dependentes do tempo. Fenômenos de estado estacionário (independentes do tempo) Três classes de líquidos apresentam este comportamento e são denominados pseudoplásticos, plásticos e dilatantes. Diminuição da viscosidade aparente com o aumento da tensão de cisalhamento. Os líquidos que apresentam este comportamento são denominados pseudoplásticos. Para uma dada tensão de cisalhamento, a taxa de cisalhamento é menor que a do comportamento newtoniano extrapolado. As causas mais comuns desse comportamento em suspensões coloidais são o fracionamento de agregados de partículas e a orientação de partículas assimétricas provocadas pelo aumento da taxa de cisalhamento. Muitas tintas apresentam pseudoplasticidade. Em tensões de cisalhamento pequenas o fluido tende a um comportamento newtoniano. Existência de uma tensão de cisalhamento mínima para iniciar o escoamento. Os líquidos que apresentam este comportamento são denominados plásticos. A taxa de cisalhamento é zero (o líquido não escoar) até que uma tensão de cisalhamento mínima seja aplicada ao sistema (tensão mínima de escoamento, τ_0). Para tensões de cisalhamento maiores que τ_0 , os fluidos plásticos apresentam um comportamento semelhante aos fluidos pseudoplásticos, ou seja, apresentam uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da tensão de cisalhamento. Quando a tensão mínima de escoamento é muito pequena, torna-se difícil determinar se o sistema é plástico ou pseudoplástico. A plasticidade é devida à existência de um retículo estrutural contínuo na amostra em repouso e que deve ser rompido para que o fluido possa escoar. Massas de modelagem e dispersões de algumas argilas são exemplos de dispersões plásticas. Aumento da viscosidade aparente com o aumento da tensão de cisalhamento. Os líquidos que apresentam este comportamento são denominados dilatantes por apresentarem um efeito de dilatação. Esses fluidos se comportam como um líquido (escoam) a baixas tensões de cisalhamento, mas podem se tornar tão rígidos (não escoam) quanto um sólido quando submetidos a tensões de cisalhamento elevadas. Esse efeito é observado particularmente em pastas de partículas defloculadas densamente empacotadas.

Quando a taxa de cisalhamento é aumentada, esse empacotamento deve ser quebrado para permitir que as partículas se movam umas em relação às outras. A expansão resultante faz com que o líquido seja insuficiente para preencher os vazios criados. À essa expansão se opõe forças de tensão superficial do líquido “aprisionado” entre as partículas. Isso explica porque é fácil empurrar com o pé a areia úmida da praia se fazemos isso lentamente. Mas

podemos machucar o pé se chutarmos (aplicarmos uma tensão de cisalhamento elevada) à areia, pois nessa situação ela se comporta como um sólido. Em tensões de cisalhamento pequenas o fluido tende a um comportamento newtoniano.

Figura 15 - Experiência Fluido Não Newtoniano



Fonte: (O Autor)

10 COMPUTACIONAL FLUID DYNAMICS – CFD

Segundo Versteeg e Malalasekera (2007), Fluidodinâmica Computacional ou CFD é a análise de sistemas envolvendo o escoamento de fluidos, transporte de calor e fenômenos associados, como reações químicas, por meios de simulação computacional.

Segundo Niyogi, Chakrabarty e Laha (2006), a necessidade de controlar e prever a circulação de fluidos é um problema comum. O estudo desta área é chamado de dinâmica de fluidos e os sistemas que são estudados variam de padrões climáticos globais, através de aerodinâmica da aeronave para a forma como o sangue circula. Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD) tem esses problemas e resolve-los usando um computador. CFD e sua aplicação são uma disciplina em rápido desenvolvimento, devido ao desenvolvimento contínuo das capacidades do software comercial e o crescimento da energia do computador. CFD já é amplamente utilizado na indústria e sua aplicação está definida para se espalhar.

A física que governa fluido é relativamente simples, as leis do movimento e da termodinâmica com um pouco de química. No entanto, as soluções são muito complexos, o que torna os métodos de análise (lápiz e papel) em grande parte não utilizável para aplicações industriais. Uma abordagem comum para engenharia tais dilemas complexos é substituir o problema com certo número de pequenos problemas menos complexos. Com o advento dos computadores tornou-se esta abordagem prática e no final de 1960 Computational Fluid Dynamics nasceu. Para explicar a ideia por trás CFD vamos dar um exemplo de um avião. Quando o avião move-se ao longo do ar deve mover-se para fora do caminho. A maneira em que o ar flui depende da forma do avião. O fluxo pode ser liso, mas mais provavelmente ele irá conter vórtices, ondas de choque e outros distúrbios. Para modelar o comportamento do fluido (neste caso, o ar), o volume é dividido em muitas pequenas sub-volumes, chamada de malha (ou grelha). A malha pode ser simplesmente o volume de sub-mesmo repetido por todo o espaço ou, mais usualmente, pode ser moldado em torno do objeto que está a ser modelados e por isso pode ser complicado.

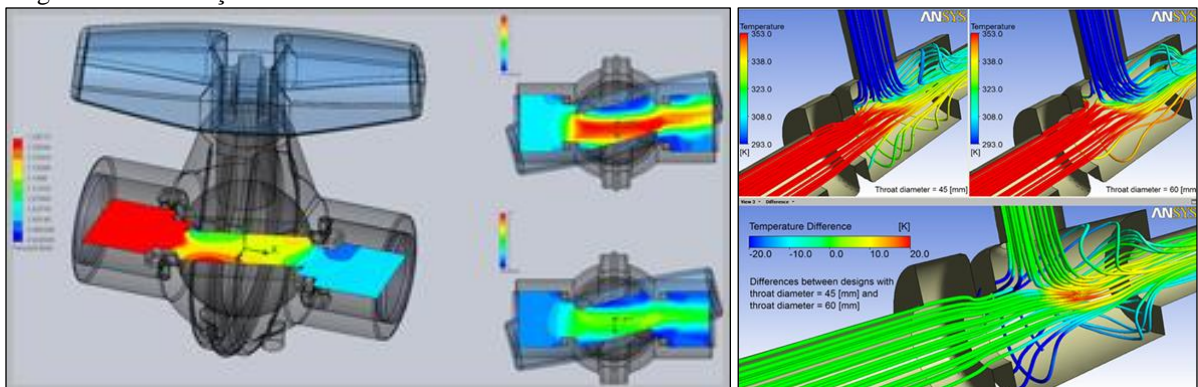
Dividindo o volume de em sub-volumes é elegante na teoria, mas difícil na prática. A arte é a de criar uma malha com exatamente às direitas sub-volumes. Se os volumes são muito grandes, então a solução terá erros, se os volumes são muito pequenos então o cálculo levará muito tempo para ser útil em um processo de design. Em 1990 CFD era uma atividade para os proprietários de Cray super-computadores, mas em 2000 os mesmos problemas poderiam ser resolvidos em uma fração do tempo em computadores pessoais. Como resultado da utilização de CFD passou de uma elite minoritária em 1990 a utilização generalizada de hoje. O fluxo de

ar dentro de cada sub-volume é simples o suficiente para que ele possa ser modelado usando apenas as equações de conservação de massa, momento e energia. Outros efeitos podem ser adicionados para tornar o modelo mais realista, se necessário, tais como reações químicas ou de permuta de calor. O fluxo de ar é analisado a partir de um fluxo inicial, que pode ser tanto um palpite na solução ou de uma condição específica inicial. Usando este fluxo inicial das equações de conservação são usados para prever o fluxo um pouco mais tarde. A nova previsão é então feita a partir do fluxo de recém-calculados. Deste modo, a evolução da corrente de ar pode ser resolvida. Alguns fluxos, tais como aqueles em torno de uma asa, são naturalmente estável. Para estes fluxos estáveis, o processo é repetido até que a solução não se alterar de um momento para o outro, isto é, a solução foi "convergente". O oposto desta situação é quando o fluxo é instável, tal como o fluxo para trás a parte de trás de um automóvel ou no interior de um motor de automóvel. Para esses fluxos, nunca a solução se estabelece e com o objetivo de CFD é rastrear como as mudanças de fluxo através do tempo. A maioria das aplicações de CFD envolvem fluxos estáveis porque requerem menos energia do computador.

Segundo Zikanov (2010), esta explicação do uso de equações de conservação como um solucionador de fluxo é uma simplificação, há outros solucionadores mais complexos. No entanto, estes métodos produzem resultados semelhantes e mais importantes, os sistemas de CFD olhar o mesmo para um utilizador, independentemente da técnica de solução. CFD sofre de uma volta grande atrativo - precisão. Na realidade, as maiorias dos problemas são muito complexas para serem resolvidos com precisão. Para uma aeronave, uma solução precisa de hoje de ponta computadores podem demorar vários séculos! A física é simples, mas o fluxo é extremamente complexo. Mais de uma asa de avião o fluxo perto da superfície é turbulento, que está constantemente a mudar com o tempo e que contém remoinhos pode ser inferior a um milímetro de tamanho. Modelagem esta complexidade é caro, por isso aproximações são usados que não se reproduzem essa complexidade na solução, mas "modelo" os efeitos de fenômenos complexos sobre o fluxo. Estes "modelos" são usados para representar as coisas como reações de turbulência e química. Eles geralmente não são muito bons e por isso a precisão absoluta de CFD tende a ser pobre devido ao uso de uma malha grossa e inadequado "modelos". Para muitas aplicações, no entanto, como o projeto de construção, o nível de precisão exigido é muito baixo e os resultados de CFD são mais que suficientes. Além disso, CFD geralmente fica a imagem qualitativa correta, o que é útil para ajudar as pessoas a entender o que está acontecendo dentro de um fluxo. Para aplicações que requerem alta precisão, tais como design de aeronaves, CFD tende a ser razoavelmente preciso para prever

as diferenças entre um projeto e outro. É desses "deltas", que impulsionam a fase de projeto e técnicas mais precisas são usadas para estimar o nível absoluto de forças no avião. Como resultado da precisão de CFD de ser relativamente fraca, a utilização altamente dependente da qualidade da malha e os modelos utilizados, eficaz de CFD depende fortemente de utilizadores experientes. Em essência, o processo exige a intervenção de especialistas CFD em cada etapa. A automatização do processo só é possível quando os cálculos são quase idênticos a ser realizado. Soluções de software, que reduzem o nível de conhecimento necessário para usar um sistema CFD, irá revelar-se um aspecto importante dos futuros sistemas de CFD. Obtendo geometrias em uma forma que um pacote de CFD pode entender ainda é um grande problema. Muitos códigos comerciais vêm com ferramentas de manipulação de geometria. No entanto, muitas vezes as empresas desejam perfeitamente unidas seu software CAD existentes com o seu sistema CFD. Infelizmente, as ferramentas disponíveis são muitas vezes insuficientes para o efeito. Em tais casos, o software específico é necessário para fornecer a ponte.

Figura 16 - Simulação de Fluxo



Fonte: (www.ansys.com)

11 DESENVOLVIMENTO

11.1 Processos Produtivos

O conceito da produção industrial no começo da Revolução Industrial dava-se de forma praticamente artesanal baseada em conceitos práticos. O mercado encontrava-se praticamente inexplorado, em franca expansão, com um grande aumento de produtividade conseguido com a produção mecanizada, em substituição ao artesanato, garantia às empresas emergentes uma posição extremamente confortável. Porém a partir da segunda década do século XX, com o advento da administração científica de Taylor e da linha de produção de Ford, a lógica da produção capitalista modificou-se, havendo enormes melhorias na produtividade industrial, devido principalmente à especialização do trabalho e à padronização dos produtos e peças chamada de produção em serie. Isto foi conseguido porque a demanda do mercado era superior à produção e, assim os produtos padronizados e similares encontravam consumidores receptivos àqueles itens. Desta maneira, a situação que se apresenta atualmente é um mercado competitivo, com produtos de baixo preço, boa qualidade, frequentes modificações de projeto, curta vida útil e muitos modelos diferentes à escolha do cliente. Para alcançar êxito neste tipo de mercado, a empresa precisa produzir eficientemente. O efetivo controle das atividades produtivas é condição indispensável para que qualquer empresa possa competir em igualdade de condições com seus concorrentes, hoje em dia. Sem este controle, ou seja, sem a capacidade de avaliar o desempenho de suas atividades e de intervir rapidamente para a correção e melhoria dos processos, a empresa estará em desvantagem frente à competição mais eficiente.

A principal diferença entre a empresa atual e a antiga é a constante procura pela melhoria de suas atividades. As empresas, hoje em dia, precisam necessariamente concentrar esforços na busca constante de seu aprimoramento, não apenas com inovações tecnológicas, mas também com eliminação de perdas existentes no processo. A empresa que "parar no tempo" com certeza será ultrapassado pelos concorrentes mais competentes, pois normalmente, todas as atividades de uma empresa podem ser aprimoradas de alguma forma, e é isto que a empresa moderna procura fazer, sem descanso. No processo de melhoria contínua, a eliminação das perdas é peça de fundamental importância. Se quiser sobreviver no mercado moderno, a empresa é obrigada a trabalhar continuamente para eliminar as perdas, entendendo-se por perda tudo que não agrega valor ao produto e custa alguma coisa, desde

materiais e produtos defeituosos até atividades não produtivas. Esta definição de perda engloba algumas atividades imprescindíveis à fabricação do produto, como a preparação de máquinas e a movimentação de materiais, as quais não podem ser eliminadas completamente. Porém podem e devem ser melhoradas, restringindo-se ao mínimo possível.

Hoje se torna fundamental a busca de novos processos e tecnologias para diminuir tempo e perdas durante o processo. Nos dias atuais torna-se cada vez mais imprescindível a mudança da velha tecnologia baseada no conceito prático da “tentativa e erro” para as soluções embasadas em teorias fundamentadas e neste caminho é fundamental a criação de métodos matemáticos e computacionais para nortear o engenheiro a adotar o melhor processo.

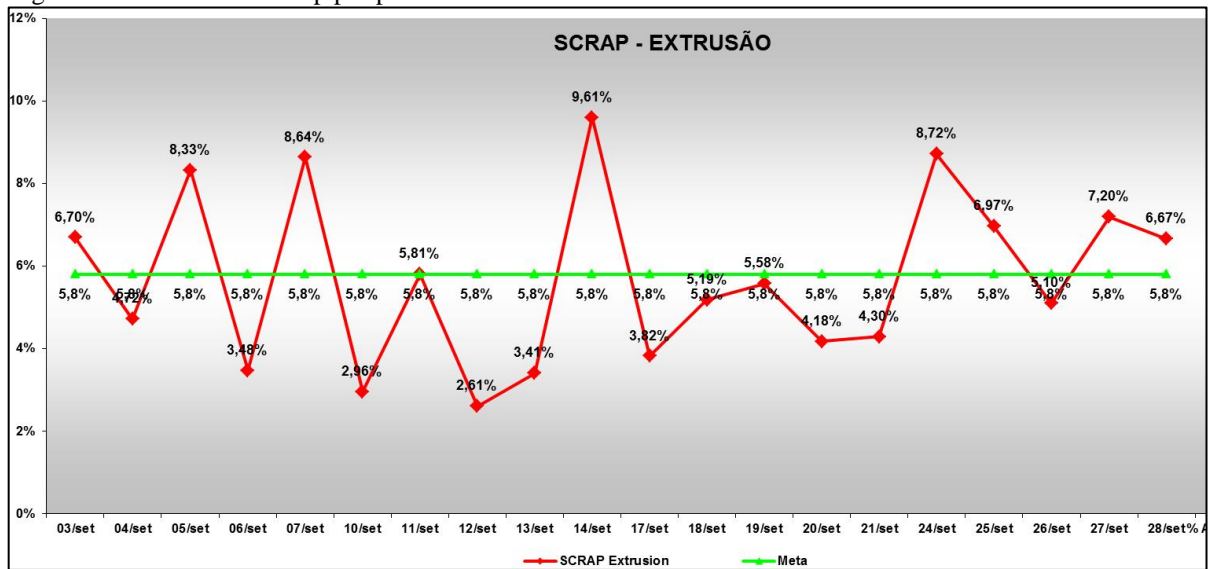
11.2 Tipos de perdas:

As perdas dentro de uma indústria podem ser classificadas em sete tipos: superprodução, transporte, processamento, fabricação de produtos defeituosos, movimento, espera e estoque. (Shingo, 1981).

11.2.1 Perdas no processamento

Estes tipos de perda propriamente ditos correspondem às atividades de transformação desnecessárias para que o produto adquira suas características básicas de qualidade, ou seja, consistem em se trabalhar fazendo peças, detalhes ou transformações desnecessárias ao produto. Evidentemente, uma transformação desnecessária no produto ou a confecção de partes dispensáveis para se conseguirem as funções básicas do artigo constitui-se em perda, por mais eficiente que seja o processo. A eliminação destas deficiências de processo (ou projeto) deve ser completa, e pode ser atingida através de técnicas de análise do valor de produto e de processo.

Figura 17 - Controle de Scrap por problemas de extrusão



Fonte: (CooperStandard)

11.3 Perdas no processo de extrusão

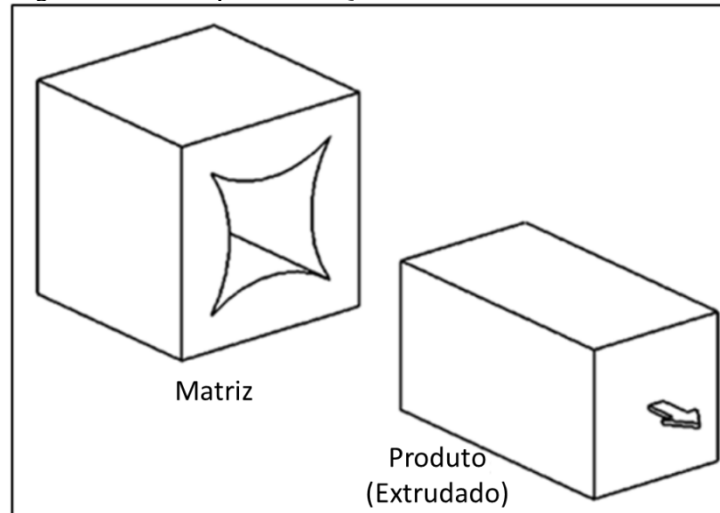
Dentro da indústria de extrusão pode ser atingidas através de técnicas de análise do comportamento do composto desde o início do processo na entrada da extrusora até a saída na ferramenta de extrusão gerando o produto final conforme geometria da ferramenta. Este desbalanceamento do fluxo na ferramenta provoca uma grande perda e conseqüentemente um prejuízo para a empresa, por este motivo, este trabalho tem por objetivo estudar o comportamento de fluido em uma ferramenta de extrusão e validar estes resultados através de análises de fluidos computacional.

12 METODOLOGIA

12.1 Objetivos do trabalho

Será tomado como referencia um exemplo didático dentro do processo de extrusão, a confecção de uma ferramenta capaz de produzir um produto “quadrado” com dimensões (50x50)mm, desta forma será possível analisar e entender o comportamento do composto na ferramenta, assim sendo, será possível aplicar estes mesmos conhecimento adquiridos em todas as outras geométricas de quais quer ferramenta.

Figura 18 - Matriz para Perfil Quadrado

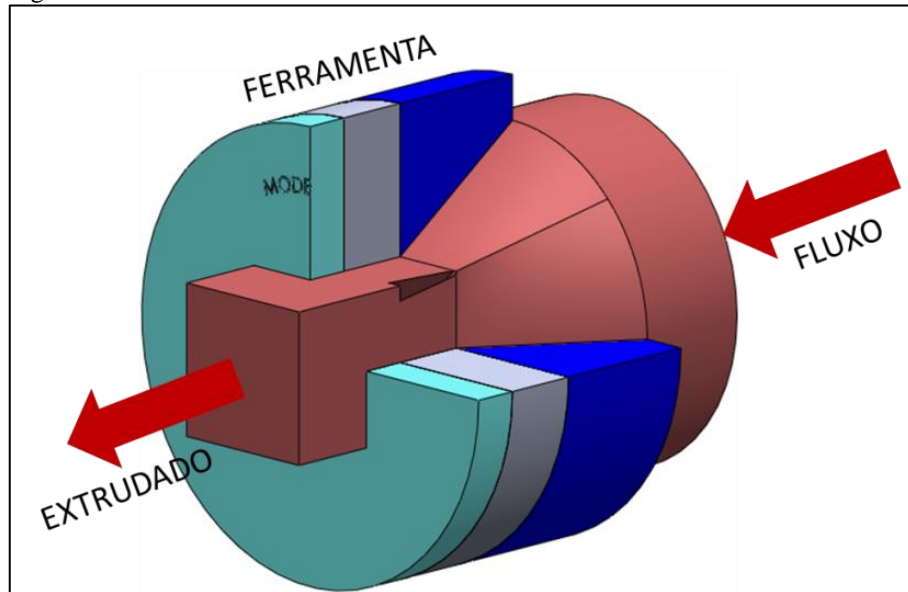


Fonte: (O Autor)

12.2 Modelos matemáticos.

Serão gerados quatro diferentes modelos de ferramenta no software Solidworks, cada qual com sua particularidade na divisão do fluido estudado.

Figura 19 - Modelo Matemático

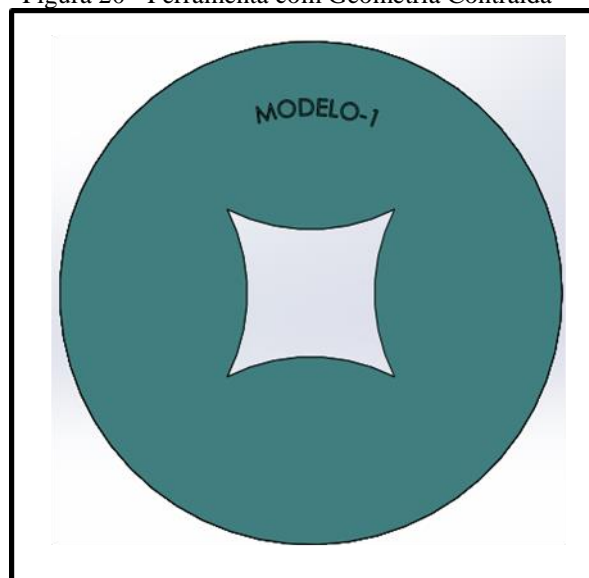


Figura; (O Autor)

12.2.1 Modelo com Geometria com Contração.

Neste caso será considerada uma ferramenta com geometria com uma contração nas paredes a fim de controlar a expansão durante o efeito chamado “die swell”.

Figura 20 - Ferramenta com Geometria Contraída

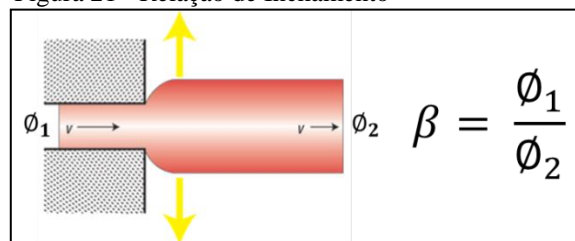


Fonte: (O Autor)

12.2.1.1 Efeito “Die Swell” ou “Inchamento”

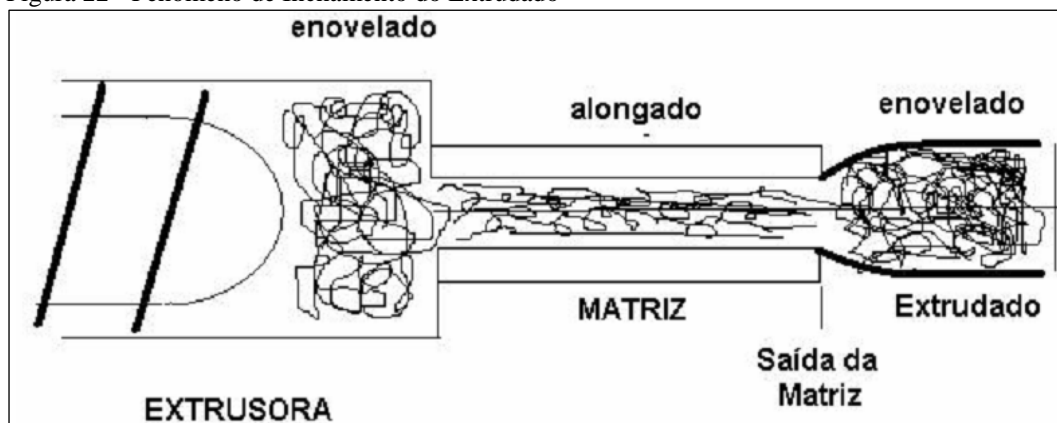
O inchamento do extrudado ou Die Swell é um fenômeno caracterizado pelo aumento do diâmetro do extrudado em relação ao diâmetro da matriz. Na região anterior à matriz as moléculas do polímero estão em sua conformação enovelada (estado equilíbrio termodinâmico). Dentro da matriz as moléculas começam a se orientar (conformação alongada) devido ao aumento da taxa de cisalhamento. Na saída da matriz, as moléculas tenderão a voltar em seu estado fundamental (conformação enovelada). Isto produz um encolhimento longitudinal e uma expansão lateral.

Figura 21 - Relação de Inchamento



Fonte: (O Autor)

Figura 22 - Fenômeno de Inchamento do Extrudado

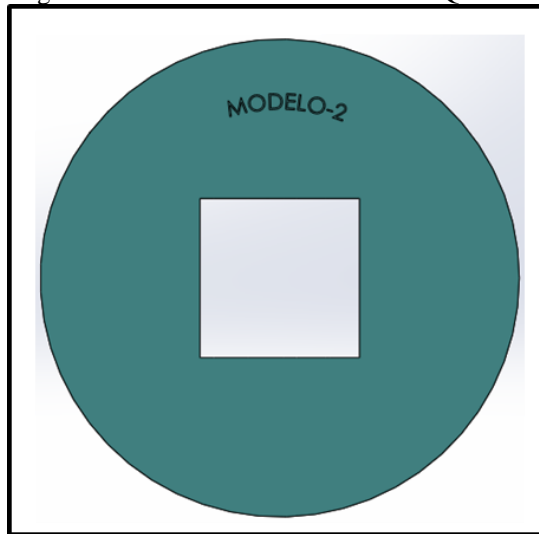


Fonte: (O Autor)

12.2.2 Modelo com Geometria Quadrada

Neste caso será considerada uma ferramenta com geometria quadrada nas mesmas dimensões do produto definido e com entrada direta do composto.

Figura 23 - Ferramenta com Geometria Quadrada

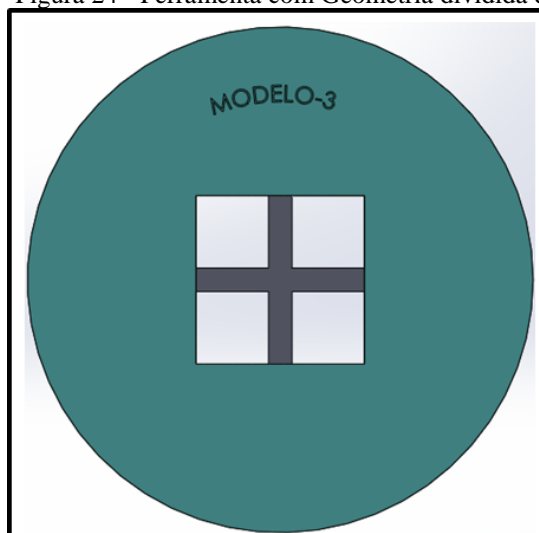


Fonte: (O Autor)

12.2.3 Modelo com Geometria Quadrada e divida em quatro.

Neste caso será considerada uma ferramenta com geometria quadrada nas mesmas dimensões do produto definido e com uma divisão de massa em quatro partes na entrada do composto.

Figura 24 - Ferramenta com Geometria dividida em quatro

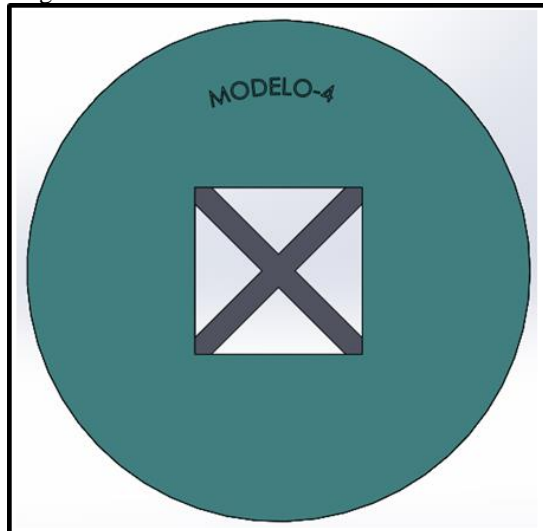


Fonte: (O Autor)

12.2.4 Modelo com Geometria Quadrada e divisão tipo X

Neste caso será considerada uma ferramenta com geometria quadrada nas mesmas dimensões do produto definido e com uma divisão de massa no formato de X na entrada do composto.

Figura 25 - Ferramenta com Geometria em X

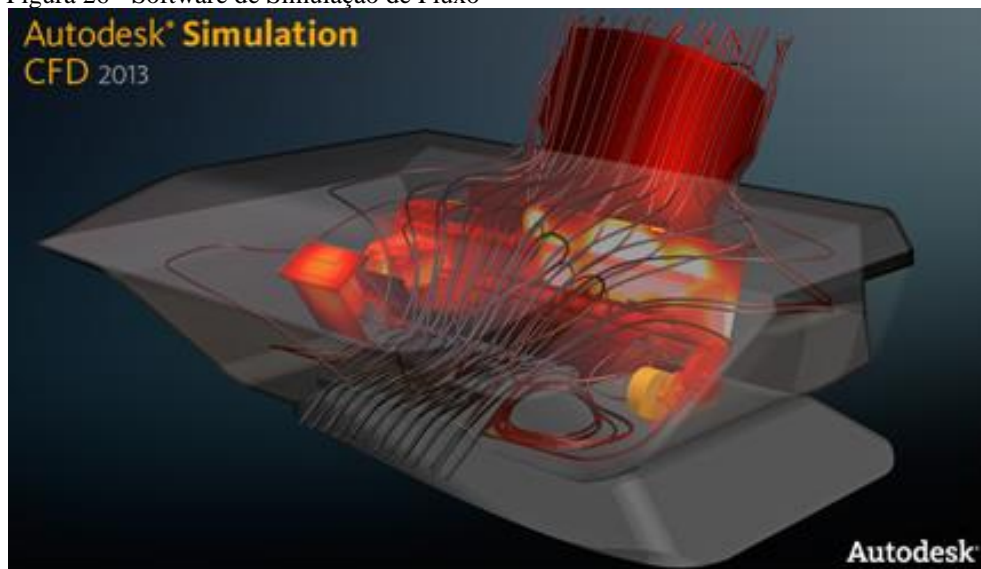


Fonte: (O Autor)

12.3 SIMULAÇÕES CFD

Os quatro modelos serão analisados através da utilização de um software de simulação de fluxo Autodesk Simulation CFD, no qual poderemos analisar o comportamento do fluido e verificar o seu comportamento em cada situação pré-definida.

Figura 26 - Software de Simulação de Fluxo



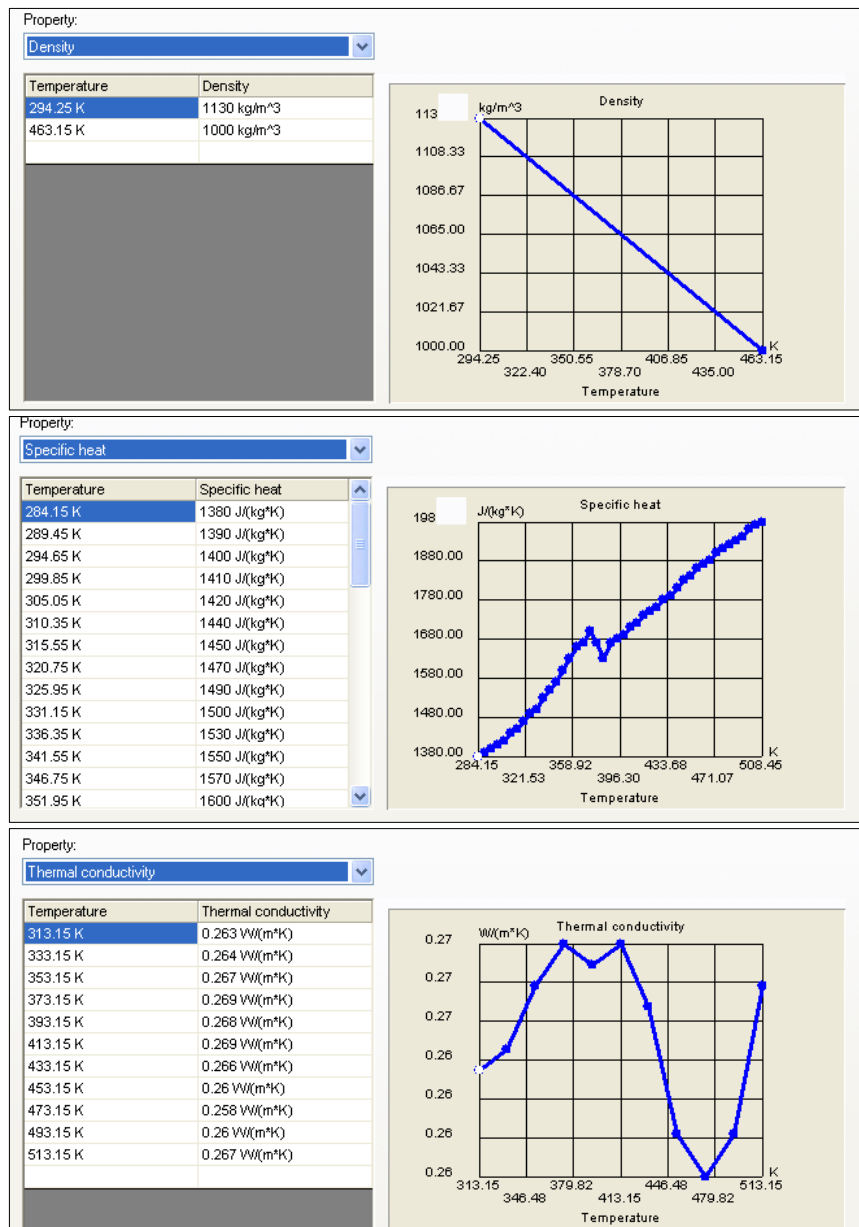
Fonte: (www.autodesk.com)

12.3.1 Material usado na simulação

Será utilizado como base de análise um fluido não newtoniano, tipo elastômero EPDM e modelo Herschel-Buckley. Este tipo de fluido também necessita de uma tensão inicial para começar a escoar. Entretanto, a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação não é linear.

12.3.2 Banco de Dados

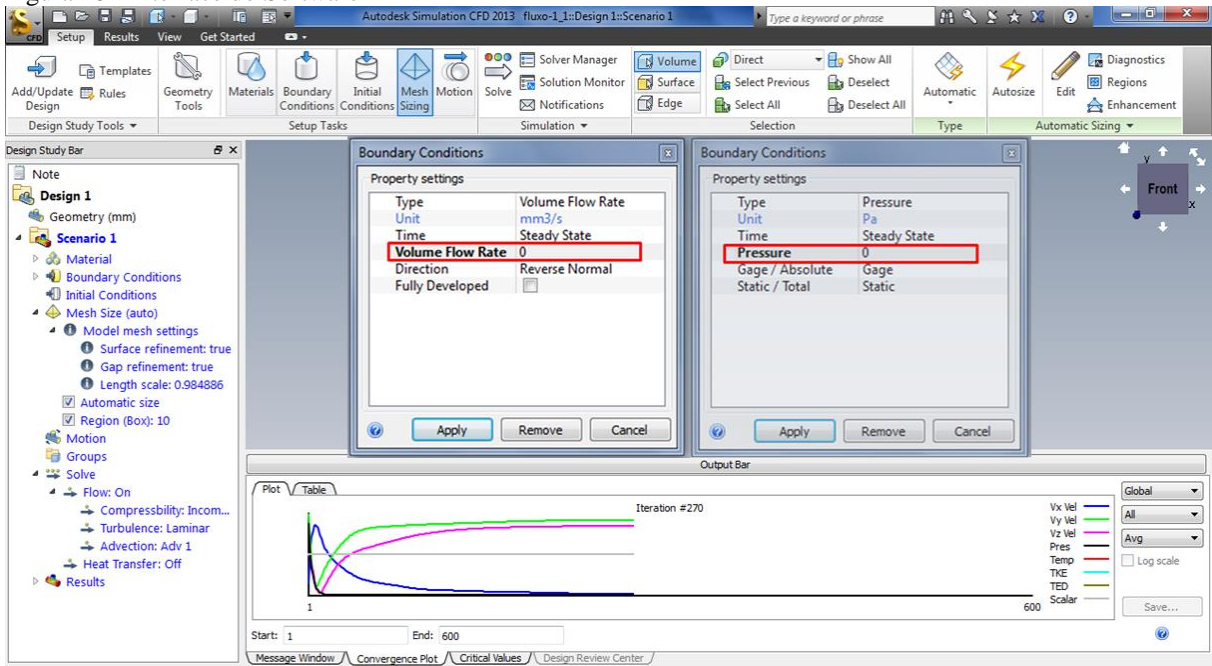
Figura 27 - Banco de dados do software



Fonte: (O Autor)

12.3.3 Entrada de Dados

Figura 28 - Interface do Software



Fonte: (O Autor)

Entrada de dados:

Volume = Área (m²) x Velocidade de extrusão (m/min)

Volume = (mm³/min)

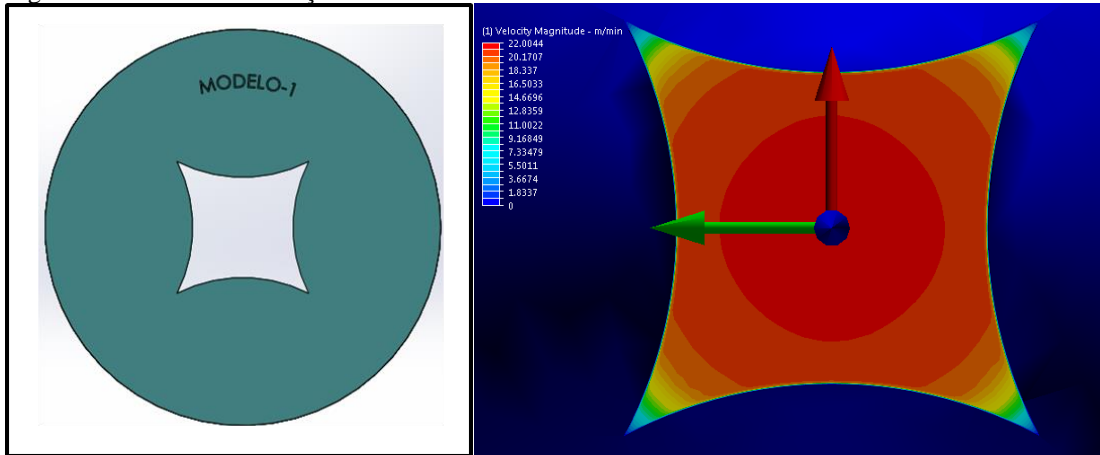
Saída de dados:

Pressão = 0 Pa

13 RESULTADOS

13.1 Analise n° 1

Figura 29 - Primeira Simulação

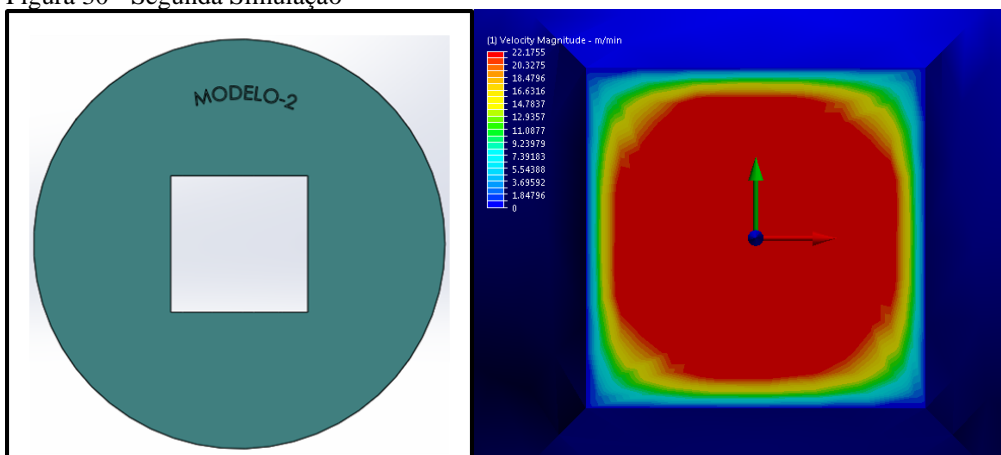


Fonte: (O Autor)

Neste primeiro caso pode-se analisar que variação do fluxo desloca-se no centro da peça, no centro da peça se dá a maior velocidade e a velocidade nas extremidades tende a zero.

13.2 Analise n° 2

Figura 30 - Segunda Simulação

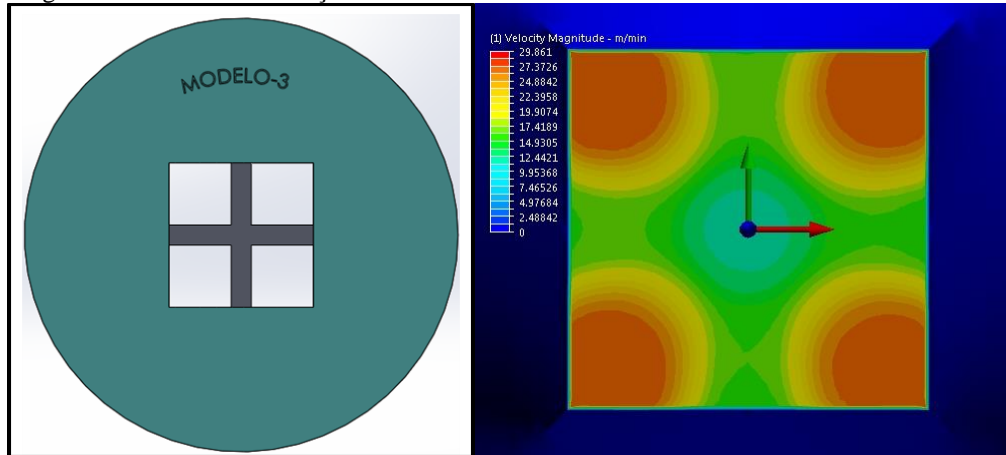


Fonte: (O Autor)

Neste segundo caso pode-se analisar que variação do fluxo desloca-se no centro da peça, tendendo a uma formação cilíndrica.

13.3 Analise nº 3

Figura 31 - Terceira Simulação

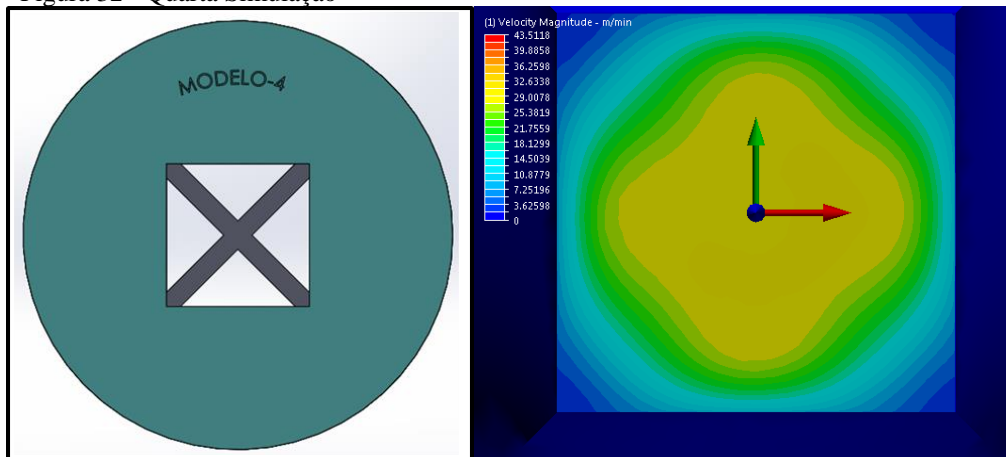


Fonte: (O Autor)

Neste terceiro caso pode-se analisar que a variação do fluxo desloca-se nas extremidades e manteve balanceado no centro.

13.4 Analise nº 4

Figura 32 - Quarta Simulação



Fonte: (O Autor)

Neste quarto caso pode-se analisar que a variação do fluxo desloca-se nas extremidades de forma mais homogênea.

14 CONCLUSÃO

O design de uma matriz de extrusão satisfatória é um processo difícil e crítico, apesar de alguns princípios estarem bem estabelecidos, e o comportamento do composto fundido em canais estar sendo cada vez mais compreendido, permanece ainda um elemento de design e construção que depende de experiência e arte. Padrões para uma matriz para extrusão, o melhor arranjo, há a necessidade de se manter o fluxo laminar no fundido.

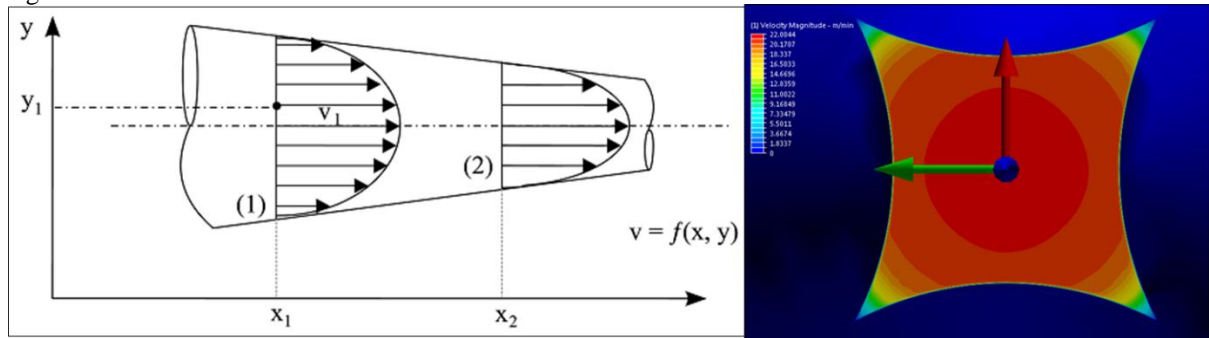
Também se as mudanças são abruptas, podem aparecer dead spots (cantos mortos) onde parte do fundido circula e com isso o extrudado adquire uma história térmica e de cisalhamento desigual. Além disso, em um fluxo convergente existem forças de tração e de cisalhamento. Se fosse um fluxo paralelo, as linhas de fluxo seriam paralelas e um elemento de fluido permaneceria intacto ao longo do canal. Para um fluxo convergente, as linhas de fluxo convergem e o elemento de fluido sofre distorção devido ao desenvolvimento de tensão de tração, o composto fundido é alongado com a diminuição de largura em direção à saída. Uma regra simples para verificar se haverá forças de tração ou cisalhamento operando é verificar se as linhas de fluxo são paralelas. Se forem, então haverá cisalhamento simples, senão haverá também um componente de tração.

Uma seção longa de matriz será também importante em manter a configuração paralela de linhas de fluxo antes da saída do fundido da matriz, eliminando até mesmo efeitos anteriores de processo. Quanto mais regular as linhas de fluxo, mais rápido será o processamento e melhor será o produto. Eliminando-se assim os efeitos de memória que podem distorcer o extrudado. Mas com esta distorção pode ser quantificada.

Com os resultados obtidos nos teste feitos conseguimos definir o melhor balanceamento e direcionamento do fluxo dentro de uma ferramenta. Proporcionando com isso o escoamento ideal para o fluido em um regime laminar.

Podemos concluir analisando o comportamento da 1ª e 2ª análises, que o comportamento do fluido que segundo a teoria do escoamento de um fluido a superfície do tubo exerce uma força de cisalhamento que retarda o escoamento; assim a velocidade do fluido nas proximidades da parede é reduzida. O efeito da superfície sólida é sentido cada vez mais para dentro do escoamento. Suficientemente longe da entrada do tubo a camada limite em desenvolvimento atinge a linha de centro do mesmo e o escoamento torna-se inteiramente viscoso. Quando isto acontece e a forma do perfil de velocidades não se altera com o avanço do escoamento diz-se que o mesmo encontra-se completamente desenvolvido.

Figura 33 - Velocidade de Escoamento do Fluido



Fonte: (O Autor)

Assim podemos dizer que a velocidade no centro da tubulação é maior que as das extremidades em contato com as paredes do duto e com isso a tendência do fluido é tomar uma forma circular independente da geometria do duto que conduz o fluido, isso fica mais claro na comparação feita baseada na teoria de Reynolds.

Para dutos com geometria cilíndrica:

$$R_e = \frac{V \times D}{\nu}$$

Onde: V (velocidade do escoamento); D (diâmetro do duto) e ν (viscosidade cinemática).

Para dutos com geometrias variadas, usa-se para definir o D (diâmetro do duto), um diâmetro equivalente:

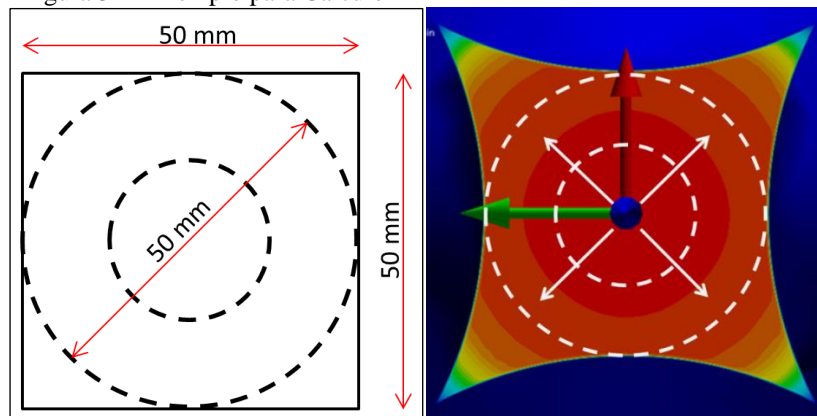
$$D_{eq} = 4 \frac{\text{Area da Seção}}{\text{Perimetro}}$$

Seguindo a equação acima e o exemplo da figura 26 teremos:

$$D_{eq} = 4 \frac{50^2}{4 \times 50} = 50 \text{ mm}$$

Conclui-se que: $D_{eq} = D$

Figura 34 - Exemplo para Calculo

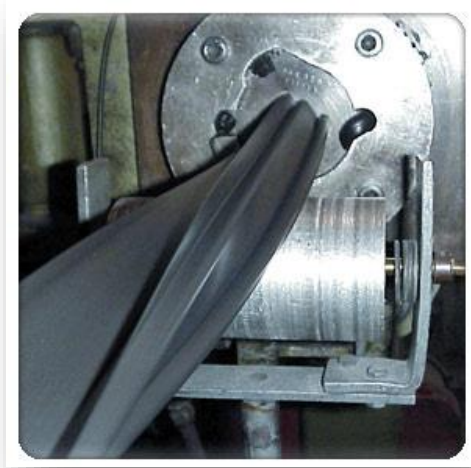


Fonte: (O Autor)

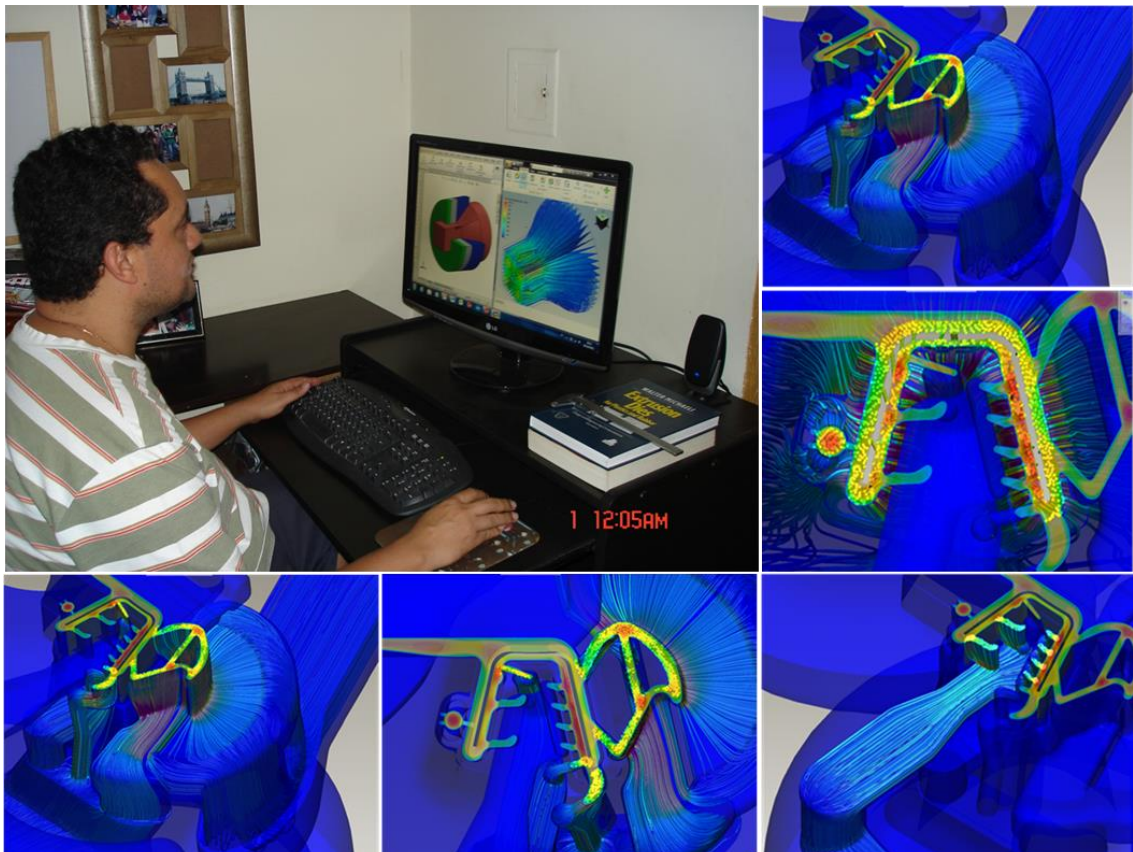
REFERÊNCIAS

- BRUNETTI, F. **Mecânica dos Fluidos**. 2º ed. São Paulo: Pearson, 2008.
- CROWTHER, B. G. **Rubber Extrusion Theory and Development**. Shropshire: Rapra, 1998.
- CHHABRA, R. P; RICHARSON, J. F. **Non-Newtonian Flow in the Process Industries: fundamentals and engineering applications**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1998.
- CHHABRA, R. P; RICHARSON, J. F. **Non-Newtonian Flow and Applied Rheology**, 2º ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2008.
- ÇENGEL, Y.U, CIMBALA, J.M. **Mecânica dos Fluidos–Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: McGrawHill Editora, 2007.
- FOX, R. W; MCDONALD, A.T; PRITCHARD, P.J. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. São Paulo: LTC, 2006.
- GILER, H. F. Jr; WAGNER, J. R. Jr; MOUNT, E. M. **Extrusion: the Definitive Processing Guide and Handbook**. Norwich: Willian Andrew, 2005.
- JOHNSON, P. S. **Rubber Processing: An Introduction**. Ohio: Hanser Publishers, 2001.
- KEAR, K. E. **Developments in Thermoplastic Elastomers**. Shropshire: Rapra, 2003.
- MASSARANI, G. **Fluidodinâmica em Sistemas Particulados**. Rio de Janeiro: E-papers editora, 2002.
- MICHAELI, W. **Extrusion dies for plastics and rubber**. 2º ed. Ohio: Hanser Publishers, 1992.
- NIYOGI, P.; CHAKRABARTTY, S. K. e LAHA, M. K. **Introduciton to Computational Fluid Dynamics**. New Delhi: Person Education, 2006.
- OLIVEIRA, L. A; LOPES, A. G. **Mecânica dos Fluidos**. 2º ed. São Paulo: Etep editor, 2006.
- VERSTEEG, H. K. e MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computacional Fluid Dynamic**. 2º ed. New Jersey: Prentice Hall, 2007.
- WHITE, J. L. **Rubber Processing: technology, materials, principles**. Ohio: Hanser Publishers, 1995.
- WHITE, J. L; POTENTE, H. **Screw Extrusion**. Ohio: Hanser, 2002.
- ZIKANOV, O. **Essential Computational Fluid Dynamics**. New Jersey: John Wiley editor, 2010.

ANEXO A – EXEMPLO PRÁTICO



Hoje em dia, dentro do processo de extrusão é inevitável a mudança do processo atual que já há tantos anos consolidado unicamente na experiência do profissional, que passa de geração para geração como um legado, realmente um trabalho artesanal. Porém com este trabalho científico, baseado fundamentado em teoria e prática faz parte de uma mudança que não tem mais volta, hoje o engenheiro é responsável por colocar em prática seus conhecimentos técnicos, saber interpretar os softwares de engenharia e principalmente com o advento das máquinas cnc, ter condições de projetar, construir e ajustar uma ferramenta de extrusão.



ANEXO B – FLUXOGRAMA DE PROJETO

Com a implantação do novo processo, aliando teoria com pratica e recursos computacionais, comparado com o conceito atual, consegue uma redução na etapa chama de trial, na qual se perde tempo e gera refugo durante o processo.

