

N. CLASS.	M 668.423
CUTTER	P839e
ANO/EDIÇÃO	2015

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG**

**ENGENHARIA MECÂNICA**

**RICARDO GAMBOGI VALIAS PORTO**

**EXTRUSÃO DE TERMOPLÁSTICO: estudo do comportamento do termoplástico vulcanizado (TPV), como um fluido, no processo de extrusão com extrusoras mono-rosca tipo barreira.**

**Varginha**

**2015**

**RICARDO GAMBOGI VALIAS PORTO**

**EXTRUSÃO DE TERMOPLÁSTICO: estudo do comportamento do termoplástico vulcanizado ( TPV) , como um fluido, no processo de extrusão com extrusoras monorosca tipo barreira.**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel, sob orientação do Prof. Sidinei Pereira.

**Varginha**

**2015**

**RICARDO GAMBOGI VALIAS PORTO**

**EXTRUSÃO DE TERMOPLÁSTICO: estudo do comportamento do termoplástico vulcanizado ( TPV ) , como um fluido, no processo de extrusão com extrusoras monorosca tipo barreira.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Mecânica do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela banca examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

---

Prof. Sidinei Pereira

---

Prof.

---

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos que contribuíram de  
qualquer forma para sua realização.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus em segundo a minha família e a todos os meus colegas que me deram força para vencer mais uma etapa.

“O saber, a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria, se aprende é com a vida e com os humildes.”

Cora Coralina

## RESUMO

O presente trabalho relata o comportamento do TPV (termoplástico vulcanizado) na extrusora mono-rosca, com rosca do tipo barreira, no processo de extrusão. Por possibilitar peças com geometria de seção variada, e um comprimento ilimitado, podendo atender diversas aplicações, o ramo automotivo explora este processo de fabricação visando atender todas as especificações determinadas pelas montadoras. Grande parte de projetos de perfis automotivos vem sendo desenvolvidos utilizando o TPV (termoplástico vulcanizado), e por isso se torna de fundamental importância conhecer o comportamento da matéria prima utilizada combinada com a utilização de equipamentos corretos, visando com este conhecimento, atender as mais variadas geometrias de cada perfil, e principalmente da quantidade de material empregada. O presente trabalho é finalizado com o estudo comparativo de vazão entre duas extrusoras com diâmetros de rosca diferentes.

**Palavras-chave:** TPV (termoplástico vulcanizado). Extrusoras.

## **ABSTRACT**

*This paper describes the behavior of TPV (thermoplastic vulcanizate) in a single-screw extruder with screw-type barrier in the extrusion process. By allowing parts with geometry section varied and unlimited length, and can meet various applications, automotive explores this manufacturing process to meet all the specifications determined by automakers. Much of automotive projects profiles have been developed using the TPV (thermoplastic vulcanizate), and so it becomes very important to know the behavior of the raw material used in combination with the use of proper equipment, aiming with this knowledge, meet a variety of geometries each profile, and especially the amount of material employed. This work is finalized with the comparative study of flow between two extruders with screw diameters different.*

**Keywords:** *TPV (thermoplastic vulcanizate). Extruders.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01: Rosca de uma extrusora de três zona .....	13
Figura 02: Coeficientes de perdas localizadas para entrada de tubos.....	17
Figura 03: Coeficientes de perdas para contrações graduais: dutos redondos e retangulares ..	17
Figura 04: Rosca com filete tipo barreira .....	18
Figura 05: Representação idealizada do canal da rosca da extrusora.....	19
Figura 06: Fluxo de calor envolvido no transporte de sólidos .....	19
Figura 07: Mecanismo de plastificação .....	20
Figura 08: Rosca com filete tipo barreira .....	20
Figura 09: Flange de redução .....	21
Figura 10: Difusor alongado.....	21
Figura 11: Geometria estudada.....	22
Figura 12: Capacidade utilizada da extrusora x velocidade .....	25

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	11
2 EXTRUSÃO .....	12
2.1 Extrusora .....	12
2.2 Extrusão de Polímeros Termoplásticos .....	13
2.3 Sobre o Processo de Extrusão .....	13
2.4 Sobre os Polímeros Termoplásticos .....	14
3 O COMPOSTO NO INTERIOR DO DUTO .....	15
3.1 Escoamento No Interior do Duto .....	15
3.2 Perda de Carga .....	16
3.3 Perda de Carga Distribuída .....	16
3.4 Perda de Carga Localizada .....	16
3.5 Dutos Não Circulares .....	17
3.6 Transformação do Polímero Sólido Em Fluido .....	18
4 MÉTODOS .....	20
4.1 Dimensões da Extrusora .....	20
4.2 Zonas de Aquecimento .....	21
4.3 Geometria estudada .....	22
5 RESULTADOS .....	22
5.1 Capacidade utilizada do equipamento .....	22
6 CONCLUSÃO .....	26
REFERÊNCIAS .....	27

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo estudar e esclarecer corretamente o comportamento de um polímero, como fluido, no processo de extrusão, sendo este um processo de grande utilização para atender produção e demanda de peças para o mercado automotivo. Para permitir que o material extrudado preencha todas as cavidades da matriz, tomando a forma específica de cada perfil, utilizando a eficiência da extrusora, de forma a não trabalhar com o equipamento na sua capacidade máxima, é necessário que no intervalo de tempo em que o composto é introduzido na extrusora, percorrendo a rosca, até a sua saída na matriz, cada região da rosca da extrusora consiga agir sobre o composto, cumprindo com sua finalidade de alimentação, compressão e dosagem, fazendo com que a transformação do composto granulado, em fluido satisfaça a vazão necessária. Será analisado o comportamento do TPV (termoplástico vulcanizado) como um fluido, em extrusoras do mesmo fabricante, que possuem dimensionamento de diâmetro de roscas diferentes, utilizando como composto de alimentação o TPV (termoplástico vulcanizado).

Para finalizar o estudo, será realizado um estudo comparativo entre duas extrusoras com dimensionamento diferente de rosca, mostrando que não havendo possibilidade de alterações nas características do composto, ou até mesmo a troca de composto, a escolha e o dimensionamento correto do equipamento, pode atender as necessidades produtivas.

O objetivo do estudo é demonstrar que para um determinado valor necessário para produção, permitindo utilização correta e sem sobrecargas de utilização do equipamento a ser utilizado, o conhecimento do comportamento do composto no equipamento utilizado se torna de extrema importância.

## 2 EXTRUSÃO

Extrusão consiste em alimentar o silo ou funil da extrusora com um material moído ou granulado que internamente no silo o material é aquecido, no qual através da gravidade cairá sobre uma rosca que o transportará dentro de um cilindro aquecido por resistências elétricas, parte do calor é gerado pelo atrito do próprio material com as paredes do cilindro. Nessa fase, o material passa por 3 zonas: a zona de alimentação, zona de compressão e zona de dosagem. No final do cilindro o material é contra uma tela de aço conhecida como chuveirinho que interrompem a passagem de impurezas como metais, e então passando pela matriz que tomará a forma final do produto conforme desenho.

### 2.1 Extrusora

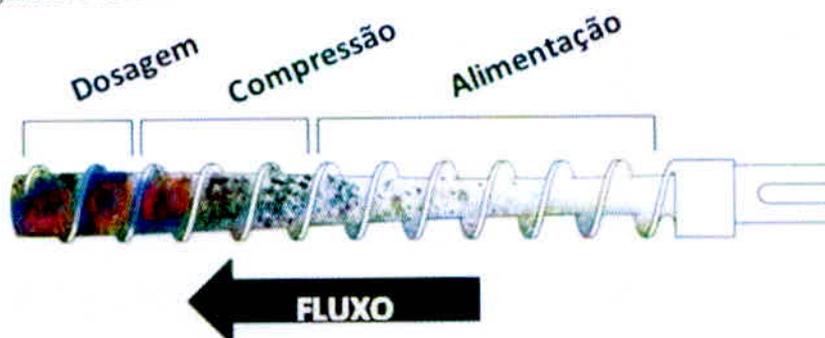
A extrusora é uma máquina que tem a função de fundir um determinado material que posteriormente será forçado contra a matriz, a mesma consiste de uma série de componentes sendo eles, funil de alimentação, sistema motriz, canhão, termopares, filtro, cabeçote e a rosca, que é o componente principal de uma extrusora seu desenho reflete diretamente na qualidade da fusão do material, ela é responsável, por exemplo, pela capacidade de produção, temperatura de fusão entre outros fatores essenciais no processo de extrusão (BARRA; 2013).

A rosca apresentada na figura é composta por três zonas, sendo elas zona de alimentação, zona de compressão e zona de dosagem ou bombeamento.

1. Zona de alimentação: o material é inserido no funil de entrada onde flui livremente devido a ação da gravidade até os primeiros filetes de rosca, então o material é compactado formando uma camada que não sofre bruscamente o efeito do cisalhamento, devido ao fato de que nessa primeira etapa, a rosca possui sulcos profundos, e a intenção nesse momento é apenas aquecer o material até um pouco antes de seu ponto de fusão, e também de transportá-lo até a próxima etapa do processo (BARRA; 2013).
2. Zona de compressão: nessa etapa do processo encontra-se material tanto no estado sólido quanto no estado líquido, a rosca agora por sua vez tem seus sulcos com uma diminuição progressiva, pois o objetivo é conferir a densidade do material e eliminar a presença de ar na medida em que o material vai se fundindo (BARRA; 2013).
3. Zona de dosagem ou bombeamento: essa é a etapa final do processo onde material está totalmente fundido, e a rosca contém sulcos rasos e constantes para manter a

homogeneização da mistura, que logo mais será forçado a transpassar a matriz (BARRA; 2013).

Figura 01: Rosca de uma extrusora de três zonas



Fonte: Autor, 2015

## 2.2 Extrusão de Polímeros Termoplásticos

Em virtude de que, para cada peça, existe uma aplicação, geometria variada e a necessidade quantitativa da peça no mercado automotivo, o fluxo de TPV (termoplástico vulcanizado), em quilos/hora, a passar pelas extrusoras é variável de acordo com esses tópicos.

## 2.3 Sobre o Processo de Extrusão

O processo de extrusão é de grande utilização na industrialização do TPV (termoplástico vulcanizado) e dos compostos termoplásticos em geral. De acordo com Rodolfo Jr.; Nunes e Ormanji (2006) extrusoras mono roscas, ou de rosca simples, possuem três estágios: a zona de alimentação, zona de compressão e zona de dosagem sendo cada uma responsável pelo processamento do termoplástico. De acordo com Vignol (2005, p.6) “a extrusora é um equipamento que tem a função de plastificar uma mistura de resinas e aditivos e entregar à matriz um fluxo constante de material com propriedades homogêneas em termos de composição (sem degradação ou reticulação), de temperatura, de viscosidade, de pressão, etc. Se a extrusora não entregar um material uniforme à matriz, pode ocorrer um fluxo desigual ao longo da mesma, resultando em variação nas dimensões do produto.”. De acordo com Rodolfo Jr.; Nunes e Ormanji (2006, p.226) na zona de alimentação “o composto é progressivamente aquecido, mas não é desejável o início da sua plastificação, uma vez que isso dificultaria a continuidade da alimentação da extrusora.” A zona de compressão

“caracterizada pela progressiva redução da profundidade do canal (região entre a rosca e o cilindro). Nessa região da rosca o composto sofre todo o processo de plastificação e homogeneização.” A zona de dosagem “é caracterizada pela altura constante da região entre a rosca e o cilindro, agindo como um dispositivo de bombeamento do composto fundido para a matriz”.

## 2.4 Sobre os Polímeros Termoplásticos

De acordo com Shackelford (2008, p.293) “o termo polímero significa simplesmente ‘muitos meros’, onde mero é o bloco de montagem da molécula de cadeia longa ou em rede.”. O processo de polimerização, que é a formação de moléculas orgânicas relativamente pequenas, pode ocorrer de duas maneiras. O crescimento por cadeia que envolve uma reação rápida entre os monômeros, e o crescimento por estágios ou polimerização por condensação, processo lento de reações químicas individuais entre pares de monômeros.

A característica essencial de um monômero que permite sua união com moléculas semelhantes e como consequência a formação de polímeros, são as ligações duplas. De acordo com Shackelford (2008, p.293) “a reação por crescimento em cadeia converte a ligação no monômero em uma ligação simples no mero. Os dois elétrons restantes se tornam partes das ligações simples que unem meros adjacentes.”.

De acordo com Shackelford (2008) as moléculas poliméricas lineares são as responsáveis pelos polímeros termoplásticos serem moles e deformáveis quando aquecidos. De acordo com Shackelford (2008, p.298) “em geral, a rigidez e ponto de fusão dos polímeros aumentam com o grau de polimerização”. Existindo ligações secundárias, tais moléculas tem a capacidade de deslizarem umas sobre as outras quando postas à altas temperaturas, fenômeno chamado também de plasticidade. De acordo com Shackelford (2008, p.300) “nesse sentido os materiais termoplásticos são semelhantes aos metais, que ganham ductilidade em altas temperaturas”.

De acordo com Shackelford (2008) os termoplásticos permitem uma deformação substancial com temperatura próxima a 10°C em quanto que em uma ligação metálica geralmente há deformação com temperatura próxima a 1000°C. Mesmo acreditando que os polímeros não atingiram o excelente desempenho quanto ao comportamento mecânico, se comparado aos metais em determinados projetos, muitos polímeros tem sido desenvolvidos para as mais diversificadas aplicações, polímeros estes que matem uma boa rigidez a temperaturas entre 150 e 175 °C.

### 3 O COMPOSTO NO INTERIOR DO DUTO

É necessário que o composto percorra um caminho existente, uma pequena folga entre o barril e o diâmetro maior do passe da rosca, e entre a distancia entre um passe e outro dos filetes da rosca, sofrendo nesse caminho interferências do atrito, tensão de cisalhamento, comportamento do fluxo e temperaturas do equipamento.

#### 3.1 Escoamento No Interior do Duto

De acordo com Ozisik (1990) a velocidade de fluido na entrada de um duto de condução, ou recipiente cilíndrico é uniforme. Na superfície da parede a velocidade das partículas do fluido é nula, e nas proximidades da parede a velocidade diminui para que seja cumprida a continuidade de fluxo, e a velocidade axial aumenta. A queda de velocidade do centro do fluxo para a extremidade, para as paredes do fluxo, origina o que é chamada de camada limite cinética. De acordo com Ozisik (1990 p.202) se a camada limite cinética transforma-se, antes de atingir o centro do seu meio de condução, em turbulenta, " há um escoamento turbulento completamente desenvolvido na região hidrodinamicamente desenvolvida."

A perda de carga está relacionada a pressão existente ao longo do comprimento do duto condutor, com o próprio comprimento. Sendo existente a relação da força pressão com a força de cisalhamento na parede, para a transferência de calor no fluido, ou misturação transversal, ou redemoinho, o escoamento turbulento é vantajoso, pois aumenta esta transferência de forma intensa, porém aumenta também a resistência ao escoamento. De acordo com Ozisik (1990, p.208)" o termo turbulento é empregado para denotar que o movimento do fluido é caótico e envolve a misturação transversal e redemoinhos superpostos ao movimento da corrente principal.". De acordo com Ozisik (1990, p.212)" a distribuição de velocidades no escoamento turbulento foi investigada extensamente em virtude de sua importância prática, mas nenhuma teoria fundamental existe para determinar rigorosamente esta distribuição, por técnicas puramente teóricas.". O regime de escoamento turbulento com base no conceito de divisão do campo de escoamento em três camadas distintas também relacionado a lei da distribuição de velocidades, possui as seguintes camadas: subcamada laminar, esta, adjacente à parede delgada onde é dominante a tensão de cisalhamento laminar ou viscoso, uma camada amortecedora logo em seguida, onde as tensões de cisalhamento

viscosa e turbulento são muito importantes, e por último, a camada onde a tensão de cisalhamento turbulento é dominante, a camada turbulenta.

### **3.2 Perda de Carga**

De acordo com Fox e McDonald (1998) a queda de pressão pode ser equilibrada pelas forças de cisalhamento nas paredes do duto de condução, seja o escoamento permanente completamente desenvolvido laminar ou turbulento, em dutos horizontais. No escoamento turbulento não existe relação simples entre o campo de velocidade média com o campo de tensões de cisalhamento. No escoamento turbulento, as flutuações existentes de velocidade, trocam entre camadas adjacentes de fluido, quantidade de movimento, como consequência, tensões de cisalhamento aparentes são causadas. De acordo com Fox e McDonald (1998, p.270) "a tensão de cisalhamento no fluido varia linearmente na direção transversal ao tubo, de zero na linha de centro, até um máximo na parede."

### **3.3 Perda de Carga Distribuída**

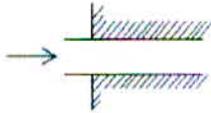
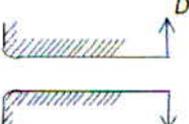
De acordo com Fox e McDonald (1998, p.276) "no escoamento turbulento não podemos avaliar a queda de pressão analiticamente; devemos recorrer a dados experimentais e utilizar a análise dimensional pra correlacioná-los.". De acordo com Fox e McDonald (1998), experiências demonstram que o comprimento do duto de condução pelo seu diâmetro, tem relação direta com a perda de carga. Com a variação da velocidade média do escoamento, existe uma variação no número de Reynolds, uma vez que esse número atinge valores críticos, o escoamento passa de laminar a turbulento. Tal mudança causa efeito na velocidade de escoamento na parede do duto de condução interferindo no fator de atrito, com isso, tem-se o aumento da tensão de cisalhamento.

### **3.4 Perda de Carga Localizada**

De acordo com Fox e McDonald (1998) a entrada do duto mal projetada, pode causar perda de carga com valores significativos. Tendo ela cantos vivos, o escoamento separa-se nas quinas, causando aceleração local do fluido para passar através da área de seção reduzida. Após passar pela seção reduzida, o fluido desacelera para preencher o duto de condução de menor seção, originando perdas mecânicas.

De acordo com Fox e McDonald (1998, p.281)” do quadro, esta claro que o coeficiente de perda é reduzido significativamente quando a entrada é arredondada, mesmo que ligeiramente. Para uma entrada bem arredondada ( $r/D \geq 0,15$ ), o coeficiente de perda é quase desprezível.”.

Figura 02: Coeficientes de perdas localizadas para entrada de tubos

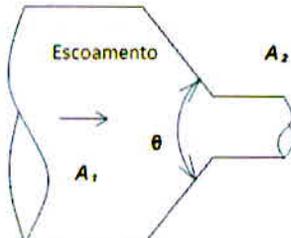
Tipo de Entrada		Coeficiente de perda localizada. $K\alpha$								
Reentrante		0,78								
Com quinas vivas		0,50								
Arredondada		<table border="1"> <thead> <tr> <th><math>r/D</math></th> <th>0,02</th> <th>0,06</th> <th><math>\geq 0,15</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>K</math></td> <td>0,28</td> <td>0,15</td> <td>0,04</td> </tr> </tbody> </table>	$r/D$	0,02	0,06	$\geq 0,15$	$K$	0,28	0,15	0,04
$r/D$	0,02	0,06	$\geq 0,15$							
$K$	0,28	0,15	0,04							

Fonte: Fox e McDonald (1998)

Para reduzir as perdas devido à variação, pode-se instalar um bocal ou difusor entre s duas seções do duto de condução. De acordo com Fox e McDonald (1998, p.281)” os dados para difusores são mais comumente apresentados em termo e um coeficiente de recuperação de pressão,  $C_p$ , definindo como a razão entre o aumento da pressão estática e a pressão dinâmica de entrada.”.

Figura 03: Coeficientes de perdas para contrações graduais: dutos redondos e retangulares.

$A_2/A_1$	Ângulo Incluso, $\theta$ , Graus							
	10	15-40	50-60	90	120	150	180	
0,5	0,05	0,05	0,06	0,12	0,18	0,24	0,26	
0,25	0,05	0,04	0,07	0,17	0,27	0,35	0,41	
0,1	0,05	0,05	0,08	0,19	0,29	0,37	0,43	



Fonte: Fox e McDonald (1998)

### 3.5 Dutos Não Circulares

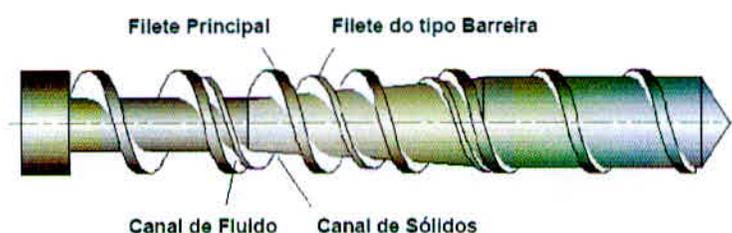
De acordo com Fox e McDonald (1998, p.284)” as correlações empíricas para escoamento em tubos também podem ser empregadas para cálculos que envolvem dutos não-

circulares, desde que suas seções retas não sejam demasiadamente grandes.”. Importante para dutos de seção retangulares ou quadradas é garantir que a relação entre altura e a largura seja inferior a cerca de 3 ou 4. Para efeito de cálculos, para escoamento turbulento, utiliza-se o diâmetro hidráulico no lugar do diâmetro do tubo, para dutos de condução com geometrias não-circulares. De acordo com Fox e Mcdonald (1998, p.285)” as perdas devidas aos escoamentos secundários aumentam rapidamente para geometrias mais complexas, de forma que as correlações não se aplicam a dutos largos e achatados, ou a dutos de seção triangular ou irregular. Dados experimentais devem ser utilizados quando se necessitar de informações precisas para o projeto, em situações específicas.”.

### 3.6 Transformação do Polímero Sólido Em Fluido

De acordo com Vignol (2005) as seções geométricas da extrusora, são responsáveis diretas pela qualidade do produto e estabilidade do processo, pois elas desempenham um papel fundamental no transporte, mistura aquecimento e fusão do fluido. De acordo com Vignol (2005, p. 8) “aspecto importante levado em consideração no projeto do parafuso é a chamada razão de compressão, definida como a razão entre a altura do canal da seção de alimentação pela altura do canal da seção de dosagem.”, “para o TPV (termoplástico vulcanizado), o valor de compressão do parafuso ideal é igual a 3,0.” Uma das alternativas que melhoram o desempenho das extrusoras, é utilizar parafusos, ou roscas, como também chamados, com filetes do tipo barreira.

Figura 04: Rosca com filete tipo barreira.

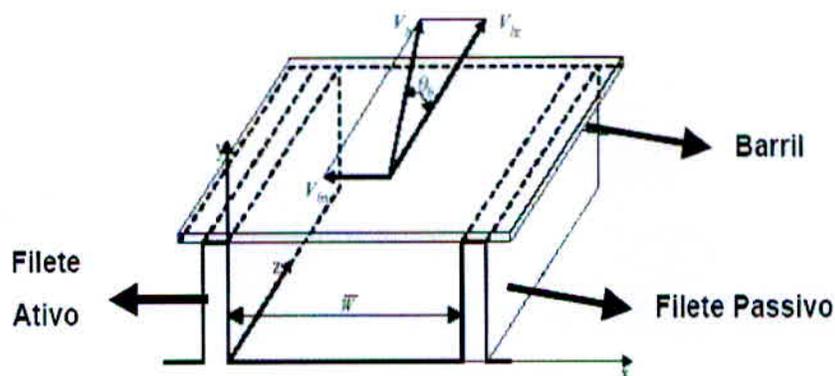


Fonte: Vignol (2005)

De acordo com Vignol (1970 apud Tadmor e Klein,[2005], p.12) “uma das hipóteses que mais se emprega no estudo da extrusão, foi elaborada por Tadmor e Klein.”. Ao longo da rosca, o canal de fluido aumenta e canal de sólidos diminui,forçando que todo material passe pelo canal tipo barreira sofrendo os esforços mecânicos necessários para que o fluido entre em regime turbulento, favorecendo a aumentar tensão de cisalhamento, transferência de calor.

Considerando o canal da rosca da extrusora, estando desenrolado, o escoamento do fluido ocorre através da seção retangular do corte desse canal desenrolado. Podendo assim trabalhar com coordenadas cartesianas para estudo do fluido.

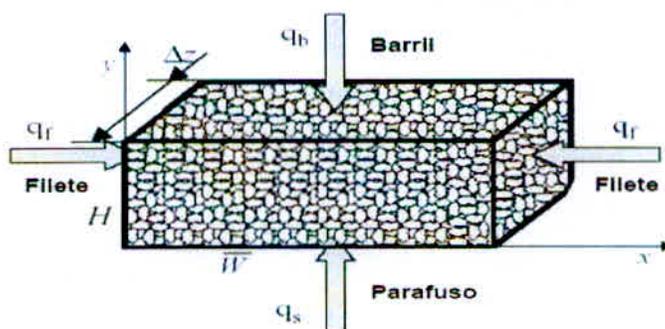
Figura 05: Representação idealizada do canal da rosca da extrusora.



Fonte: Vignol (2005)

O filete ativo comprime o material contra o filete passivo, e o fluido aumenta sua transferência por condução e convecção, pois além do atrito entre os filetes, o fluido também sofre atrito com a raiz da rosca, e a parede do barril.

Figura 06: Fluxo de calor envolvidos no transporte de sólidos.

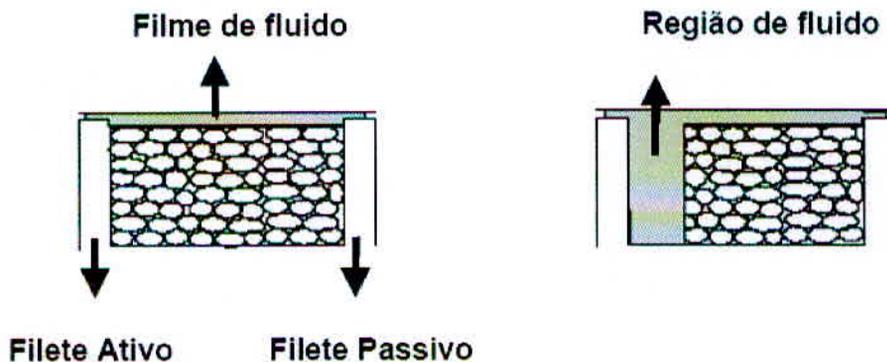


Fonte: Vignol (2005)

De acordo com Vignol (1959 apud Manddok, [2005]), teve a primeira iniciativa de pesquisar o comportamento da plastificação de polímeros em extrusoras mono rosca e descrever. Em seus experimentos de extrair o parafuso da extrusora, interrompendo seu movimento e resfriando a extrusora rapidamente, observou que parte do polímero que se mantém sólido, localiza-se próximo ao filete passivo da rosca, e na região próxima ao filete ativo da rosca o polímero começa a sofrer alterações de modo a tornar-se fluido. Com base nos experimentos e relatos o processo de extrusão do polímero foi representado em três

estágios: no primeiro estágio, as partículas do polímero em contato com a parede do barril, se plastificam formando uma fina camada de fluido. No segundo, essa fina camada vai crescendo em espessura, e seguindo os mesmos princípios de formação da camada em contato com o barril, se forma próxima ao filete ativo da rosca. Por ultimo, o processo de plastificação, preenche toda a seção do canal de fluido da rosca, garantindo que todo sólido, se transforme em fluido ate ser conduzido a matriz.

Figura 07: Mecanismo de plastificação.



Fonte: Vignol (2005)

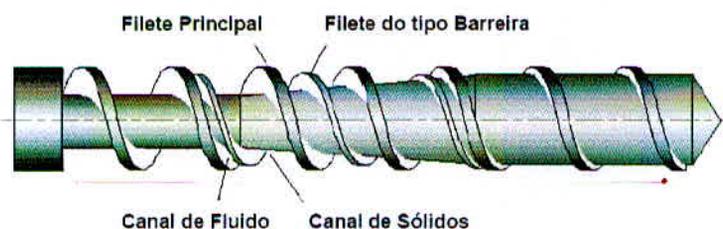
## 4 MÉTODOS

Será apresentada, de acordo com o estudo realizado, a metodologia utilizada no desenvolvimento.

### 4.1 Dimensões da Extrusora

Foram utilizadas extrusoras mono roscas, sendo as roscas do tipo: rosca com barreira, tanto para a extrusora de rosca com diâmetro de 60mm quanto para rosca com diâmetro de 75 mm.

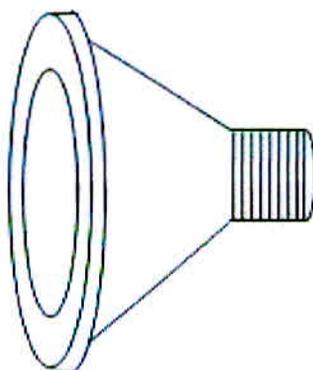
Figura 08: Rosca com filete tipo barreira.



Fonte: Vignol (2005)

Foram considerados o flange de redução, difusor alongado e placa de condução, como sendo as partes que compõe o cabeçote.

Figura 09: Flange de redução.



Fonte: O autor

Figura 10: Difusor alongado



Fonte: O autor.

#### 4.2 Zonas de Aquecimento

Cada zona responsável pelo aquecimento da rosca e do barril da extrusora possui um indicativo, onde é mostrada a temperatura que é solicitada, e a leitura que é feita por termopares. Além dos leitores de temperaturas existentes em cada zona, existe um indicativo de pressão, cuja leitura deve ser feita em bar.

Tabela 01: Leitura das temperaturas encontradas nos indicativos.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zo na 5
EXT. 75	195 °C	205 °C	210 °C	212 °C	215 °C
EXT 60	195 °C	205 °C	210 °C	215 °C	-

Fonte: O autor.

### 4.3 Geometria estudada

Figura 11: Geometria estudada



Fonte: O autor

Consideramos objeto de estudo um perfil de geometria simples, com todas as dimensões, características e especificações fictícias, sendo composto apenas pelo polímero TPV (termoplástico vulcanizado).

## 5 RESULTADOS

Será apresentado o estudo de capacidade de cada extrusora para atingir a vazão necessária para a produção do perfil, utilizando o mesmo material.

### 5.1 Capacidade utilizada do equipamento

Com os valores da vazão das extrusoras de 60mm e 75mm, com o cabeçote aberto, desconsiderando qualquer perda, temos uma vazão de aproximadamente:

- Para extrusora de 60 mm.

Vazão de: **54 Kg/h = 0,9 Kg/min = 0,01 Kg/min R.P.M.**, rotação de: **90 R.P.M.**;

- Para extrusora de 75 mm.

Vazão de: **160 Kg/h = 2,66 Kg/min = 0,0279 Kg/min R.P.M.**, rotação de: **95,5 R.P.M.**;

Foram considerados valores de vazão conforme especificado pelo fornecedor.

Com o cabeçote fechado, foram consideradas as seguintes vazões:

- Para extrusora de 60 mm.

Vazão de: **43,2 Kg/h = 0,72 Kg/min = 0,008 Kg/min R.P.M.**, rotação de: **90 R.P.M.**;

- Para extrusora de 75 mm.

Vazão de: **128 Kg/h = 2,133 Kg/min = 0,02233 Kg/min R.P.M.**, rotação de: **95,5 R.P.M.**;

Foram considerados valores de vazão adquiridos de forma empírica.

De posse desses valores, calcula-se uma perda de **20%** na vazão do material devido o fechamento do cabeçote.

- Para extrusora de 60 mm :

$$Vazão = \frac{43,2}{54} - 1 = 20\%$$

- Para extrusora de 75 mm :

$$Vazão = \frac{128}{160} - 1 = 20\%$$

Com os valores estipulados em **0,0584 Kg/m** de perfil produzido, e velocidade necessária de produção de **13 m/min.**, e a situação em que há perda de **20%** na vazão sendo a mais crítica, esses valores foram considerados para base de cálculos.

- Para extrusora de 60 mm :

$$\frac{R.P.M}{metro} = \frac{0,0584}{0,008} = 7,3 R.P.M/m$$

- Para extrusora de 75 mm :

$$\frac{R.P.M}{metro} = \frac{0,0584}{0,02233} = 2,615 R.P.M/m$$

- Para R.P.M. estimada na produção, extrusora 60 mm:

$$R.P.M.est = 7,3 * 13 = 94,4 R.P.M.$$

- Para R.P.M. estimada na produção, extrusora 75 mm:

$$R.P.M.est = 2,615 * 13 = 33,99 R.P.M.$$

Considerando a rotação máxima de cada extrusora, e a rotação estimada de cada extrusora para cálculo da capacidade de cada extrusora à ser utilizada:

- Para extrusora de 60 mm:

$$\text{Capacidade Estimada} = \frac{94,4}{90} * 100 = \mathbf{105 \%}$$

- Para extrusora de 75 mm:

$$\text{Capacidade Estimada} = \frac{33,99}{95,5} * 100 = \mathbf{35,59 \%}$$

Para extrusora de rosca com 60 mm de diâmetro, utiliza-se 105,44% de sua capacidade total.

Para extrusora de rosca com 75 mm de diâmetro, utiliza-se 35,59% de sua capacidade total.

Considerando o estudo realizado, para atender de melhor maneira as especificações do projeto, e possíveis alterações, a utilização da extrusora de 75mm de diâmetro torna-se viável.

Tabela 02: Capacidade do equipamento

EXT. 60mm			
Rotação Máxima (RPM)	Capacidade do Equipamento		
	Kg/h	kg/min	kg/minRPM
90	54	0,9	0,01

Fonte: O autor

Tabela 03: Capacidade do equipamento

EXT. 75mm			
Rotação Máxima (RPM)	Capacidade do Equipamento		
	Kg/h	kg/min	kg/minRPM
95,5	160	2,66667	0,0279232

Fonte: O autor.

Obs.: Considerando aproveitamento de 0,8 na vazão das extrusoras.

Tabela 04: Especifica

Perda de vazão com filtro e flange montados						
Equipamentos		kg/h	kg/min	kg/minRPM		
EXT. 60 mm		43,2	0,72	0,008		
EXT. 75 mm		128	2,133	0,22338569		

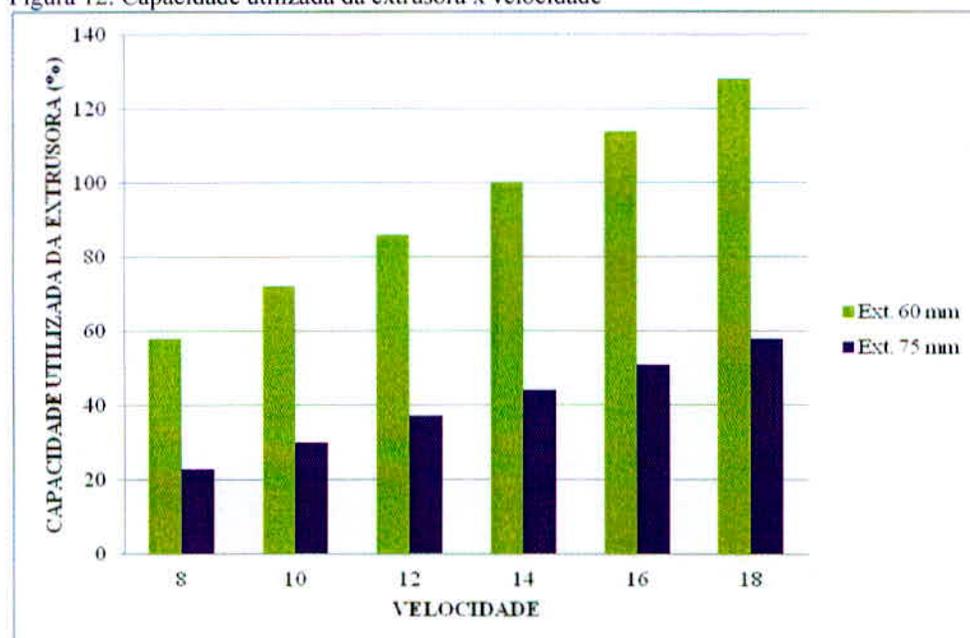
  

Perfil	Extrusora	Valores B.O.M. (Kg/m)	R.P.M / m	Veloc. de cotação	R.P.M. estimado para produção	Capacidade utilizada da extrusora (%)
	60 mm	0,0584	7,3	13	94,90	105,44
	75 mm	0,0584	2,614615	13	33,99	35,59

Fonte: O autor.

Considerando as possíveis velocidades de extrusão, para obtenção da meta produtiva, foi elaborado o gráfico para verificação quais velocidades de extrusão podem ser atendidas em relação a capacidade de vazão de cada extrusora.

Figura 12: Capacidade utilizada da extrusora x velocidade



Fonte: O autor

Considerando as informações gráficas, a partir da velocidade de 12 m/min., não é recomendável a utilização de uma extrusora de 60 mm de diâmetro, com velocidade de 90 R.P.M. no máximo. Torna-se necessário e indispensável à utilização de uma extrusora de 75 mm de diâmetro com velocidade de 95,5 R.P.M. máximo.

## 6 CONCLUSÃO

A homogeneização não completa do TPV (termoplástico vulcanizado), no processo de extrusão, pode ter causas no mal dimensionamento de equipamento a ser utilizado, parâmetros determinados de forma experimental, deixando de lado as informações técnicas fornecidas pelos fabricantes e até mesmo operação incorreta do equipamento. De posse de conhecimento de todas as etapas que o composto deve passar para se tornar um fluido, não é permitido que se trabalhe de forma a exigir o máximo de eficiência do equipamento, ou parâmetros que podem deteriorar o composto, sabendo que tais atitudes podem causar situações indesejáveis na indústria. Compreender o comportamento do TPV (termoplástico vulcanizado), como um fluido, no processo de extrusão é de fundamental importância para o processo produtivo e para o desenvolvimento de novos projetos, dimensionamento de equipamentos e suas aplicações, pois o não conhecimento do comportamento do material de trabalho pode levar à prejuízos e transtornos incalculáveis.

Deve-se sempre estar atento, como engenheiro, e qualquer variável que realmente possa interferir no processo produtivo, e a curiosidade de descobrir, e comprovar, que métodos devem ser aplicados especificamente para cada situação encontrada no dia a dia, ciente que novidades tecnológicas na área de materiais e de equipamentos, surgem diariamente, tornando o estudo e aperfeiçoamento profissional e do conhecimento um exercício constante, procurando sempre a melhor aplicação e a forma correta de trabalho para cada fim.

## REFERÊNCIAS

BARRA, **Processamento de Materiais Polimérico**; Universidade Federal de Santa Catarina 2013.

CANAVERO, Sebastião V. **Degradação do Polipropileno Durante a Extrusão e a Geração de Compostos Orgânicos Voláteis**. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-14282009000100017&lang=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-14282009000100017&lang=pt)>. Acesso em: 28 de junho de 2015.

FOX, Robert W.; MCDonald, Alan T. **Introdução à Mecânica dos Fluidos**. Rio de Janeiro. 4.ed., Ed. LTC, 1998.

ÖZISIK, M. Necati. **Transferência de calor, um texto básico**. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara, 1990.

RODOLFO JR., Antonio; NUNES, Luciano Rodrigues; ORMANJI, Wagner. **Tecnologia do PVC**. 2.ed. São Paulo: ProEditores/Braskem, 2006.

SCHWAAB, Marcio; PINTO, José Carlos. **Análise de Dados Experimentais I - Fundamentos de Estatística e Estimação de Parâmetros**. Editora E-Papers, 2007. Disponível em: <[http://www.e-papers.com.br/apresenta.asp?codigo\\_produto=1253](http://www.e-papers.com.br/apresenta.asp?codigo_produto=1253)>. Acesso em 30 de julho de 2015.

SHACKELFORD, James F. **Ciência dos materiais**. 6.ed., 2008. Disponível em: <<https://malhotra.bv3.digitalpages.com.br/reader>> Biblioteca virtual Pearson. Acesso em: 25 de julho de 2015.

VIGNOL, Leonardo de Alencastro. **Desenvolvimento de modelos simplificados para os estudo de extrusão de polímeros**. Dissertação de mestrado. Porto Alegre. 2005. Disponível em : <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/6519/000531274.pdf?sequence=1>> Acesso em: 12 de agosto de 2015.