

## EXTRUSORA DE PLÁSTICO E INVERSOR DE FREQUÊNCIA

### PLASTIC EXTRUDER AND FREQUENCY INVERTER

### EXTRUSIÓN DE PLÁSTICO Y CONVERTOR DE FRECUENCIA

Alessandro de Albuquerque Silva<sup>1</sup>

Alex Franco Ferreira<sup>2</sup>

**RESUMO:** O segmento industrial vem crescendo cada vez mais, com as tecnologias, melhores rendimentos, e mais eficiência. A extrusora de plástico tem uma aplicação em que é feita fabricação de filmes, proteção para alimentos, entre outros. O objetivo da instalação do inversor de frequência é melhorar o processo do plástico, a fim de ter mais eficiência energética, precisão no processo de controle de velocidade e torque. Conclui-se que, com a literatura e aplicações técnicas no ambiente industrial, terá melhor entendimento.

**Palavras-chave:** Aplicações. Eficiência. Tecnologia. Indústria. Inversor.

**ABSTRACT:** The industrial segment has been growing more and more, along with Technologies, better yields, and more efficiency. The plastic extruder has an application where film manufacturing, food protection, among others, are made. The purpose of installing the frequency inverter is to improve the plastic process, in order to have more energy efficiency, precision in the speed and torque control process. It is concluded that, with the literature and technical applications in the industrial environment, it will have a better understanding.

**Keywords:** Applications. Efficiency. Technology. Industry. Inverter.

**RESUMEN:** El segmento industrial viene creciendo cada vez más, con tecnologías, mejores rendimientos y más eficiencia. La extrusora de plástico se utiliza en la fabricación de películas, protección de alimentos, entre otros. La finalidad de instalar el variador de frecuencia es mejorar el proceso de plástico, con el fin de tener más eficiencia energética, precisión en el proceso de control de velocidad y torque. Se concluye que, con la literatura y aplicaciones técnicas en el medio industrial, se tendrá una mejor comprensión.

**Palabras clave:** Aplicaciones. Eficiencia. Tecnología. Industria. Inversor.

---

<sup>1</sup> Universidade de Vassouras / Vassouras-RJ / Brasil

<sup>2</sup> Universidade de Vassouras / Vassouras-RJ / Brasil

## INTRODUÇÃO

As extrusoras estão presentes no cotidiano da humanidade desde o fim do século XVIII, ao menos seu arquétipo atual. Em 1797, Joseph Bramah, na Inglaterra, criou uma aplicação do princípio de extrusão, onde desenvolveu uma prensa de pistão manual que nesta aplicação eram feitos tubos de chumbo sem emenda. Segundo Superbheater (2018), em 1935, Paul Troestar, o fabricante alemão, construiu extrusora para termoplásticos.

Após 4 anos, em 1939, desenvolveram a extrusora de plástico. Com o passar dos séculos e anos foram desenvolvidas extrusoras de rosca simples e de rosca dupla, onde eram produzidos matérias e alimentos.

Em 1950, continuaram com a produção de alimentos secos, expandidos e cozidos e expandiram a sua aplicação. No final da década de 1950, passaram a pré-condicionar e, assim, permitiu o pré-cozimento acima de 212°F (100°C) que passa por um processo antes de entrar na extrusora. Tornou-se um processo bem importante, pois com este início obteve aplicações com altas e baixas temperaturas em alimentos e matérias (MATHIAS, 2019).

Com o passar dos tempos e com o descobrimento dos motores elétricos no início do século XVII, as indústrias deram uma alavancada na produção, sempre buscando melhores alternativas na tecnologia e na modernização. Com o avanço da tecnologia, a eletrônica criou o inversor de frequência que foi uma Revolução industrial que, atualmente, encontra-se na 4.º.

Segundo Desoutter (2023), isso é caracterizado pela aplicação de tecnologias de informação e comunicação à indústria, também conhecida como “Indústria 4.º”. Baseia-se no desenvolvimento da Terceira Revolução Industrial.

Os sistemas de produção que já possuem tecnologia de computador são expandidos por uma conexão de rede, com um gêmeo digital na Internet. Este permite a comunicação com outras instalações e a saída de informações sobre si mesmo. Esse é o próximo passo na automação de produção.

A rede de todos os sistemas leva a “sistemas de produção ciber-físicos” e, portanto, fábricas inteligentes, nas quais os sistemas de produção, componentes e pessoas comunicam-se através de uma rede e a produção é quase autônoma (Desoutter *et al.*, 2023).

O objetivo do trabalho foi analisar o uso do inversor no contexto industrial, com as extrusoras em particular.

Este trabalho consistiu numa literatura e aplicações técnicas, com base em trabalhos, em informações do Google Acadêmico e Scielo e outras fontes impressas, para referenciar a evolução da indústria através da extrusora de plástico e até mesmo da eletrônica e as suas aplicações.

Para mais detalhamento, iniciou-se com a história do plástico, a sua evolução e importância na indústria, polímero, cadeias com ligações cruzadas e materiais processados pela extrusora. Em seguida, realizou-se uma breve descrição da extrusora, dos componentes, das aplicações, do processo do material plástico na extrusora e do inversor de frequência dentro da indústria.

Por fim, com a elaboração da literatura e da parte técnica foram realizadas as considerações finais.

## **História do Plástico**

No século XIX, em 1862, houve o surgimento da borracha, pois era a única matéria-prima explorada e com alto custo, então, pesquisadores e cientistas exploravam novas matérias para substituição deste material.

Alexander Parkes, que já havia descoberto anteriormente um material orgânico derivado da celulose (que foi batizado de parkesina na sua homenagem), apresentou na Exposição Internacional de Londres, que pode ser considerado o antecessor do plástico, precursor da imensa família de polímeros que se conhecem atualmente.

Este material ao ser aquecido podia ser moldado e permanecia desta mesma forma quando esfriava. Entretanto, o seu custo elevado de produção desestimulou os investidores (Britto *et al.*, 2015).

No século seguinte (XX), o plástico verdadeiro sintetizado foi feito a mão por Leo Hendrick, nos EUA, em 1907. Após anos, sua comercialização (1910), deu um salto em larga escala, tendo o seu custo elevado por ser um material conhecido como baquelite. Dez anos depois, em 1920, Herman Staudinger, estudando descobriu a propriedade dos polímeros naturais e sintéticos. Ele contestou que os plásticos faziam composição de anéis de moléculas ligadas. Suas ideias não foram adiante na época, pois a comunidade científica não progrediu com o assunto (BRITTO,2015).

Em 1936, após estudos e teste científicos, o poliestireno, material composto por base, o eteno e o benzeno, começou a ser velozmente comercializado e produzido nas indústrias da Alemanha, substituindo algumas matérias, como vidro, madeira e algodão. Eram matérias-primas utilizadas pelo homem (BRITTO,2015).

Com a modificação dos materiais de origem animal e outros produtos sintéticos obtiveram o barateamento, e, assim, teve uma expansão e produção, possibilitando menor consumo da população no poder aquisitivo. Em seguida, veio a descoberta, o desenvolvimento e a comercialização de outros tipos de plásticos, como polietileno, PVC, pneus, embalagens, automóveis, mobiliário, etc. A indústria revolucionou com as descobertas dos materiais plásticos e com as propriedades destes materiais com alta resistência ao calor denominado polímeros para engenharia (BRITTO,2015).

No período após a Segunda Guerra Mundial, o polímero foi muito utilizado pelas suas propriedades atraentes, aplicações e surgimento de novas demandas de produtos descartáveis, brinquedos, calçados, eletroeletrônicos, entre outros (BRITTO,2015).

## **Polímeros**

Conhecidos pela sua composição de conjuntos de macromoléculas, a suas unidades formam repetições (meros) chamados monômeros, com a junção de pequenas moléculas de carbono e hidrogênio dentro desta cadeia, assim formam plásticos copolímeros (BRITTO,2015).

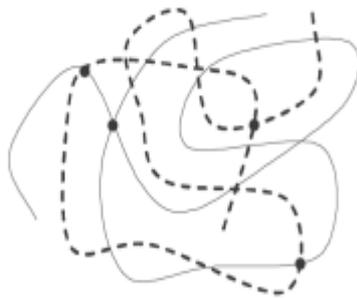
A polimerização desse processo químico ocorre pela junção dos monômeros, formando combinações quimicamente. Desse modo, os polímeros classificam-se com cadeias longas e a suas ligações cruzadas (DIAS,2023).

## **Cadeias com ligações cruzadas**

As cadeias poliméricas estão ligadas entre si através de segmentos de cadeia unidos por forças primárias covalentes fortes. Em função da quantidade de ligações cruzadas médias por volume unitário, pode-se subdividir esta classificação em polímeros com baixa densidade de ligações (exemplo: borracha vulcanizada) ou polímeros com alta densidade de ligações cruzadas (exemplo: termorrígido). Essas ligações cruzadas amarram uma cadeia às outras impedindo o seu livre deslizamento.

A Figura 1 apresenta um emaranhado de cadeias poliméricas nas quais os pontos denotam uma ligação cruzada entre elas. Termo fixos são inicialmente líquidos que, durante a formação das ligações cruzadas, passam pelo ponto de gel, região onde o líquido se torna extremamente viscoso e gradativamente endurece até tornar-se um sólido rígido (Sebastião V., 2013).

**Figura 1** – Cadeias poliméricas com ligações cruzadas.



**Fonte:** Canevarolo Jr., SV (2013)

Os polímeros podem ser pigmentados e possuir coloração, de modo que forem utilizados em determinado material. Se forem utilizados concentrados de cor, a base do polímero deve ser similar ao material virgem, de preferência com menor ponto de fusão. Em geral, deve-se considerar que numa maior concentração de corantes em lâmina final se obtêm menores valores de propriedades mecânicas. "Os materiais incompatíveis podem ocasionar a deterioração das propriedades da lâmina devido à de laminação manchas de cor (Britto *et al*, 2015).

### **Materiais processados pela extrusora**

A extrusora processa vários tipos de matérias, por exemplo: chapas, barras, filmes plásticos e peças de metal. Citar um dos processos feitos pela extrusora (GOBAIN, 2022).

- **Peças de metal:** O processo deste material pode ser tanto com baixas temperaturas e altas temperaturas. A diferença são as consequências a longo prazo com indesejáveis efeitos, a quente facilita o melhor desenvolvimento deste metal, pois a frio melhor fica o seu acabamento do material e elimina a oxidação (GOBAIN, 2022).

Nesse processo de extrusão tanto quanto os materiais, pode controlar a temperatura uniforme do material no equipamento de extrusão (BRITTO,2015).

## Extrusora

A extrusora se desenvolve por um processo mecânico, onde o material que passa por ela de forma contínua de comprimentos limitados e seção transversal constante, tem a função de empurrar o material processado que passa pelo cabeçote sob controles de temperatura e pressão (BRITTO,2015).

## Componentes e Aplicações

Segundo Britto (2015), a extrusora é constituída por principais componentes do seu processo que são: sistema motriz, canhão ou cilindro, sistema de aquecimento e resfriamento e rosca.

- **Sistema motriz:** parte do motor e redutor onde controla a rotação de velocidade, mantendo certo torque da rosca;
- **Canhão ou Cilindro:** superfícies de aços especiais que possui material de alta resistência e estabilidade térmica ao longo tem termopares (sensores de temperatura), onde é alocado o sistema de transporte de material para o sistema motriz;
- **Sistema de aquecimento e resfriamento:** constituído por resistências elétricas, termopares e ventiladores. Os ventiladores fazem uma ventilação forçada, deste modo, atuando no resfriamento. Há sensores de temperatura em cada cilindro, e sendo monitorado e enviando dados para controlador;
- **Rosca:** componente da extrusora, com função de transportar e fundir. Tem uma boa eficiência e homogeneização adequada, realizando este material até a matriz.
- **Matriz:** componente de aços especiais que possui um material de alta resistência e estabilidade térmica e que precisa de um revestimento em cromo para realizar o processo final de acabamento do plástico. (BRITTO,2015)

## Inversor de frequência

O inversor de frequência, de maneira bem simplificada, é um equipamento eletrônico capaz de controlar a velocidade de motores de indução. Com a utilização do inversor de frequência, o motor passa a trabalhar com frequência diferente da

frequência da rede, possibilitando o controle da velocidade de giro do motor, conforme a necessidade do processo.

Os inversores também possuem várias outras vantagens almejadas pelas indústrias, como partida suave de motores, aumentando a vida útil dos mesmos e a economia de energia elétrica. Estes são muito precisos se comparados a outros meios para controle de velocidades. Além disso, precisam de pouca manutenção e não necessitam de calibrações periódicas, proporcionando alta disponibilidade de equipamento.

Além das características citadas, eles disponibilizam funções extras, tais como: acionamentos de relés e temporizadores incorporados. O inversor de frequência é um equipamento importante para as indústrias poderem alcançar esses objetivos (Leite et al, 2018).

Nos trechos acima foram detalhados ao leitor algumas vantagens acerca dos inversores de frequência. Entretanto, esses dispositivos também apresentam desvantagens, por exemplo, o alto custo. Dependendo da quantidade de componentes, há a necessidade de solicitar por meio de requerimento manutenções técnicas especializadas, entre outros (Do Autor, 2023).

Os inversores de frequência vêm a substituir outros equipamentos que eram utilizados para controle de velocidade, torque, economia de energia, entre outras aplicações no ambiente industrial (FRANCHI *et al*, 2013, p. 15).

Com a modernização e a tecnologia da eletrônica em avanço, o ambiente industrial tende a se tornar mais eficiente nos controles de processos, na qualidade dos produtos e na economia da rede elétrica (DESOUTTER, 2023).

Existem dois tipos de inversores cujos controles são vetoriais e escalares. O vetorial é utilizado para atuação de motores com alto torque e baixa rotação. Neste caso, a criação de um fluxo magnético, a produção de torque e o controle podem ser executados em malha aberta ou em malha fechada. O escalar é aplicado em partidas suaves, com atuação de velocidade acima da velocidade nominal do motor. O controle escalar é a razão  $V/F$  e o seu fluxo é constante (LEITE, 2018).

## Desenvolvimento e Aplicabilidade da Extrusora de Plástico

Para iniciar o processo de que se pretende produzir existe uma especificação para cada aplicação de embalagem (PEBD: Polietileno de Baixa Densidade e PEAD: Polietileno de Alta Densidade), como apresenta o Quadro 1.

**Quadro 1:** Referente à relação de matriz e largura do filme.

Relação de matriz e largura do filme		
Diâmetro da matriz-mm	PEBD Razão de sopro= 2,2 Largura do filme=mm	PEAD Razão de sopro=4,5 Largura do filme=mm
30	103	212
40	140	283
50	173	353
60	207	424
70	242	495
80	276	565
90	310	636
100	345	707
120	415	848
150	518	1.100
200	690	
250	864	
300	1.036	

**Fonte:**( G. Winkler,2013)

Com a referência do quadro 1 e segundo Winkler (2013), fica definida a razão de sopro ideal, que pode identificar qual o diâmetro da matriz e do equipamento. A razão de sopro de 2,2:1 da tabela é sugerida para a fabricação de filmes técnicos, isto é, os utilizados em máquinas de empacotamento automático de sólidos e líquido. A razão de sopro de 1,5 a 2,5:1 é a mais usada porque é a que proporciona maior equilíbrio nas características do filme.

Conforme a produção, o fabricante da extrusora define a extensão da matriz para aplicabilidade do produto fornecido ao seu cliente. (Winkler et al,2013).

Com aplicação do material, o motor será acionado e configurado nas suas determinadas parametrizações para não haver excesso de consumo de energia. Para cada aplicabilidade tudo tem que ser bem definido e ajustado nos seus padrões, conforme os Quadros 2 e 3.

**Quadro 2:** Diâmetro da rosca x Potência (H.P)

Extrusora (mesmo) Diâmetro da rosca	Potência para acionar o motor (H.P.)
45	5 - 7,5
60	20 - 40
90	60 - 100
120	75 - 150

Fonte:( G. Winkler,2013)

**Quadro 3:** Rendimento da linha de extrusão

Rendimento de uma linha de extrusão de filme		
Diâmetro da matriz-mm	Produção máxima-kg/h	Potência necessária-KW
60	200	55( )
90	400	110( )
120	550	170( )
150	900	300( )

Fonte:( G. Winkler,2013)

O processo de produção é realizado através do acionamento do motor, sendo o responsável pela rotação da rosca da extrusora. O motor deve manter a rotação constante neste processo, sendo acoplado por um redutor de velocidade, permitindo a variação velocidade de rotação do motor (Do Autor, 2022).

As matérias-primas (polímeros) são colocadas no funil, onde as mesmas são transportadas até na parte do mecanismo, onde ocorrem a movimentação do polímero sendo responsável a rosca da extrusora, a mesma localizada no canhão (conforme a Figura 4) e ao longo as resistências, que são programadas com a temperaturas de processo, assim ocorrendo um aquecimento das matérias-primas e o material sendo homogeneizado.

**Figura 4:** Controle - Extrusora



Fonte: Do Autor, 2022

O processo de para haver a permanência do aquecimento do canhão ocorre através das resistências elétricas ao longo do cilindro e com motoventiladores para a realização do resfriamento e manter a temperatura de processo, após o fim do cilindro (rosca da extrusora) tem filtro com troca telas, tendo a finalidade do processo de extrusão que é evitar problemas de impurezas no processo final.

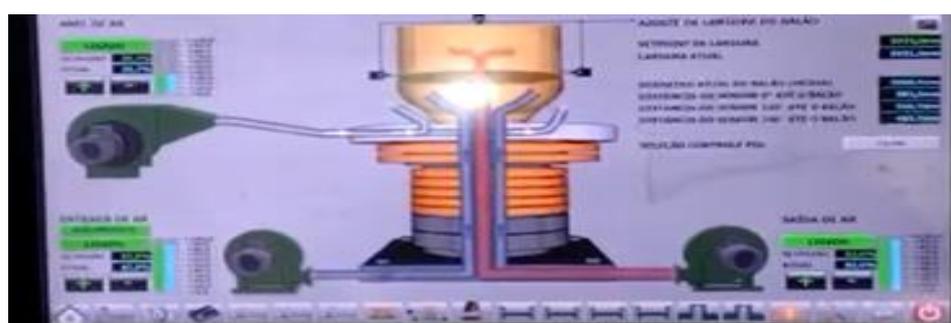
Depois do material passando pelo filtro de troca-telas, deste modo indo para cabeçote com matriz (conforme a Figura 5), onde a formação do balão sendo resfriado e mantendo a espessura do material acabado (conforme a Figura 6). Ocorre o resfriamento externo pela convecção de ar emergente montada na saída da matriz (Do Autor,2022).

**Figura 5:** Cabeçote



Fonte: Do Autor, 2022

**Figura 6:** Anel de ar / IBC



Fonte: Do Autor, 2022

Para ocorrer o processo da fabricação dos filmes, as torres com a sua altura ajustável determinam melhor o processo da matéria-prima sem que ocorram as rugas, e este processo tem um conjunto de equipamentos na torre, como rolos puxadores, saia, leme e carro puxador, sendo determinado para o seu processo final de filme tubular. Após todo o processo de modelagem do filme, o produto passa pelas bobinadeiras com objetivo de dar o acabamento e embalagem do produto (Do Autor,2022).

Para o desenvolvimento deste maquinário (Extrusora de Plástico) e o seu processo de produção, tenha ótima eficiência energética, alguns equipamentos eletrônicos de extrema importância para atuação e o desenvolvimento deste processo como: Inversores, IHM's, CLP's (Do Autor,2022).

O inversor de frequência é o componente eletrônico principal deste maquinário, sendo, através das parametrizações, a realização da produção do filme kg/h, espessura do filme e velocidades dos rolos puxadores, evitando rugas (Do Autor,2022).

Para que tenha um ótimo resultado e controle do que está sendo produzido pela IHM, é preciso observar a dosagem do material, a temperatura, entre outros dados. Desse modo, é possível visualizar até mesmo algum erro que está a ocorrer em algum equipamento e fazer a manutenção corretiva necessária (Do Autor,2022).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sendo assim, acompanhou-se o desenvolvimento do maquinário, realizando inspeção em atuação no chão de fábrica, fazendo manutenção corretiva e preditiva e relatando melhorias no processo do filme da extrusora e do inversor de frequência que tem seu papel principal. Isso contribuiu para um menor tempo de parada das máquinas.

## REFERÊNCIAS

ALLAPEZ, Maria Elvira; COIMBRA, Raquel Ferreira; CRUZ, Sara Marques da; CARVALHO, Vânia; SÁ, Susana França de. A exposição Plasticidade – Uma História dos Plásticos em Portugal: um processo participativo no Museu de Leiria. **Open Edition Journals**. Portugal, p. 1-69. 23 jul. 2020. Disponível em: <https://journals.openedition.org/midas/2537>. Acesso em: 26 jan. 2023.

BRITTO, Hamilton. **EXTRUSÃO PLÁSTICA**. 2015. Disponível em: <http://mecanicadefabricar.blogspot.com/2015/10/extrusao-plastica.html>. Acesso em: 26 jan. 2023.

Canevarolo Jr., SV (2013). *Ciência dos Polímeros* (3ª ed.). Artliber.

CAPÍTULO VIII – Filme tubular. **Romanplast**, [S. l.], p. 1-36. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/51416623/MANUAL-DE-EXTRUSAO>. Acesso em: 2 nov. 2022.

CRAVO, Edilson. **Inversor de Frequência: Como Funciona, Tipos e Vantagens**. Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/inversor-de-frequencia/>. Acesso em: 26 jan. 2023.

CUNHA, Daniel Nicolas. **Inversores de Frequência: como surgiram, o que são e os principais diferenciais das linhas de inversores de frequência Provolt**. Disponível em: <https://www.provolt.com.br/pt-br/blog/inversores-de-frequencia-como-surgiram-o-que-sao-e-os-principais-diferenciais-das-linhas-de-inversores-de-frequencia-provolt-5>. Acesso em: 26 jan. 2023.

DESOUTTER. **Revolução Industrial - Da Indústria 1.0 à Indústria 4.0**. Disponível em: <https://www.desouttertools.com.br/industria-4-0/noticias/507/revolucao-industrial-da-industria-1-0-a-industria-4-0>. Acesso em: 26 jan. 2023.

DIAS, Diogo Lopes. "O que é polimerização? "; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-polimerizacao.htm>. Acesso em 26 de janeiro de 2023.

FARIA, Caroline. **Extrusão**. Disponível em: <https://www.infoescola.com/engenharia/extrusao/>. Acesso em: 26 jan. 2023.

FERREIRA, Roberto. Controle do Processo de Extrusão de Filme Tubular. **Controle do Processo de Extrusão de Filme Tubular**, Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, p. 1-33, 12 jan. 2019. Disponível em: <http://static.sapucaia.ifsul.edu.br/professores/rferreira/Extrus%C3%A3o%20Teoria%20%203P%203T/4.%20Controle%20do%20Processo%20de%20Extrus%C3%A3o%20de%20Filme%20Tubular.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2022.

GOBAIN, Norton Saint. **PROCESSO DE EXTRUSÃO E FUNILARIA: O QUE É E COMO FUNCIONA?** 2022. Disponível em: <https://blog.nortonabrasivos.com.br/processo-de-extrusao>. Acesso em: 26 jan. 2023.

Harper, C. A. (2003). *PLASTICS MATERIALS AND PROCESSES*

LEITE, Flávio Aparecido. **COMPARATIVO ENTRE VARIADORES DE VELOCIDADE E INVERSORES DE FREQUÊNCIA**. 2018. Disponível em: <https://www.eng-automacao.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/152/2018/12/TCC-Fl%C3%A1vio-Aparecido-Leite.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2023.

MATHIAS, Cláudio. **Relembrando a História do Desenvolvimento de Extrusoras**. 2019. Disponível em: <https://www.editorastilo.com.br/pet-food/relembrando-a-historia-do-desenvolvimento-de-extrusoras/>. Acesso em: 25 jan. 2023.

SENAI. **Indústria 4.0: Entenda seus conceitos e fundamentos**. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>. Acesso em: 26 jan. 2023.

SUPERBHEATER. **História do desenvolvimento de extrusora de plástico**. 2018. Disponível em: <http://www.top-heaterchina.com/info/plastic-extruder-development-history-31632581.html#>. Acesso em: 26 jan. 2023.