

MINI EXTRUSORA DIDÁTICA DE POLÍMEROS UTILIZADOS EM IMPRESSORAS 3D

Ueliton Cleiton Oliveira¹
Tiago Zaquia Pereira²
Marcelo Santos Damas³

Resumo (ou Abstract, ou Resumen):

A extrusão de polímeros é um dos métodos mais utilizados para a transformação de um tipo de material polimérico em outro consumível, esse processo utiliza a extrusora como maquinário de processamento. Esse mecanismo possui complexidades concentradas em seu parafuso de transporte, material a ser extrudado e sistema de monitoramento de temperatura, além da parametrização do processo e consumo de energia. Os polímeros aplicados na impressão 3D precisam possuir características que os tornam "moldáveis" para o processo, tais como termoplasticidade e maleabilidade. Os materiais mais solicitados para moldagem de peças 3D são o ABS (Acronitrilo Butadieno Estireno) e o PLA (Ácido Polilático). A construção de itens através da impressão 3D demandou uma crescente tecnologia no ramo e por insumos que atendam às necessidades de construção e que possam ser reciclados. Este estudo tem por finalidade a obtenção de uma mini extrusora didática capaz de reciclar o copolímero ABS e/ou o polímero PLA com o formato de filamento de 3 mm de diâmetro, que podem ser utilizados em impressoras 3D. Suas composições mecânicas e eletroeletrônicas essenciais ao seu funcionamento foram construídas, montadas e adquiridas pelo centro de custo do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA. Após a construção do protótipo, obteve-se como resultado um maquinário capaz de atender com eficiência os objetivos propostos.

Palavras-Chave (ou Keywords, ou Palabras Clave): Mini extrusora. Polímeros. Impressora 3D.

MINI DIDACTIC EXTRUDER OF POLYMERS USED IN 3D PRINTERS

Abstract (Ou Resumo):

Extrusion of polymers is a most widely used methods for transforming one type of polymeric material into another consumable, which process uses the extruder as processing machinery. This mechanism has complexities concentrated in its transport screw, material to be extruded and temperature monitoring system, in addition to process parameterization and power consumption. The polymers applied in 3D printing need to have characteristics that make them "moldable" for the process, such as thermoplasticity and malleability. The most requested materials for molding 3D parts are ABS (Acronitrile Butadiene Styrene) and PLA (Polylactic Acid). The construction of items through 3D printing has demanded a growing technology in the field and for supplies that meet the needs of construction and that can be recycled. The aim of this study was to obtain a miniature didactic extruder capable of recycling ABS copolymer and / or PLA polymer with a 3 mm diameter filament shape, which can be used in 3D printers. Its mechanical and electrical components essential to its operation were built, assembled and acquired by the cost center of the UniEVANGÉLICA Technological Center. After the prototype was built, obtained as a result a machine capable of efficiently meeting the proposed objectives.

Keywords(ou Palavras-Chave): Mini extruder. Polymers. 3d printer.

¹ Acadêmico (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA - Centro de Universitário, Brasil). wco_cleitonoliveira@hotmail.com

² Acadêmico (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA - Centro de Universitário, Brasil). tiagozaquia@hotmail.com

³ Acadêmico (Engenharia Mecânica, UniEVANGÉLICA - Centro de Universitário, Brasil). sd.marcelo13@gmail.com

1. Introdução:

Com a crescente demanda global por energia elétrica se torna notória a necessidade de se desenvolver materiais com propriedades especiais, a fim de substituir outros mais escassos ou que demandam um custo energético muito elevado para se processar.

A utilização de polímeros (macromoléculas obtidas a partir da polimerização formadas a partir de unidades estruturais menores, os monômeros que são unidos entre si por reações químicas que podem ser divididas em três grupos principais: os termofixos, os termoplásticos e os elastômeros [1]) vem crescendo de forma considerável por conta de sua versatilidade e propriedades mecânicas, químicas, entre outras, que podem substituir diversos outros materiais tais como aço, madeira e vidro [1] nas construções em geral, na medicina, na eletrônica entre outros por um custo monetário e energético inferior [2].

Esse crescimento acaba por gerar um volume cada vez maior de resíduos, que ocasionou em medidas governamentais através da Política Nacional de Resíduos Sólidos da lei 12.305/2010 [3] e do Artigo 5º do Decreto 7.404 de 23 de Dezembro de 2010 [4] onde obriga todos os fabricantes, importadores, distribuidores, consumidores e titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos a se responsabilizarem pelo ciclo de vida do produto perfazendo a logística reversa.

Segundo a Associação Brasileira da indústria do Plástico [5] [6], o setor de polímeros, no ano de 2017 alcançou 2,5% de crescimento a mais em relação ao ano de 2016 e pode alcançar 3% em 2018. Em 2017 houve a criação de 4.496 postos de trabalho totalizando 322.679 funcionários divididos em 12.539 empresas de transformação e reciclagem de materiais plásticos. Outro dado a ser considerado é o aumento do consumo de insumos que foi de 3,9% em relação a 2016.

A indústria de plásticos tem como principal meio de transformação a extrusão de polímeros que representa 55% dos métodos utilizados vindo em seguida a injeção com 36% [6].

1.1. EXTRUSÃO DE POLÍMEROS

A extrusão de polímeros é um método bastante complexo, por conta dos parâmetros necessários para moldagem: temperatura de fusão, temperatura atingida pela matriz, o tempo de transporte e a pressão de extrusão [7], itens intimamente ligados às exigências construtivas da extrusora. O processo em si é a fusão por condução térmica e cisalhamento viscoso progressivo de um material polimérico em estado sólido num processo energético intenso.

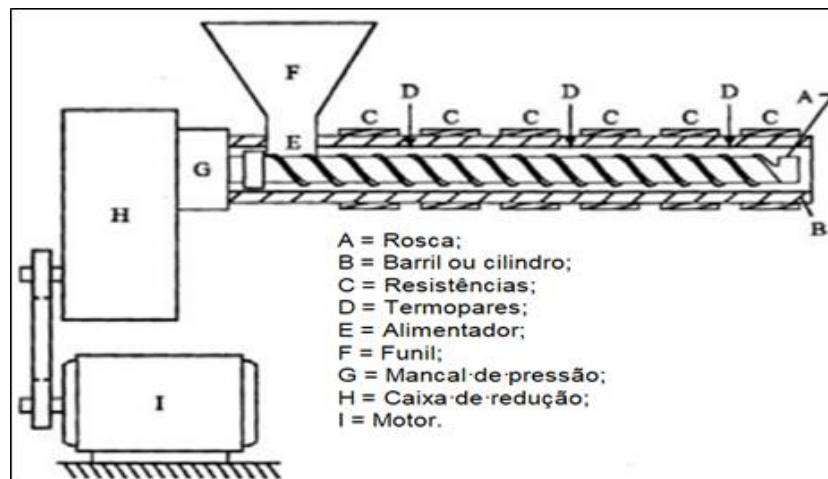
A extrusora é utilizada para processamento de vários tipos de polímeros, sendo que para cada tipo seria ideal um projeto específico para todos os seus componentes, porém, como é inviável alterações no *layout* do maquinário, para cada tipo de polímero é feito o refinamento das margens térmicas, executando aproximação das temperaturas ideais para cada polímero a fim de se obter o melhor resultado. Além disso, a energia envolvida no processo de extrusão de polímeros é bem inferior àquela utilizada para processo em outros materiais de uso convencional, vidro e aço [8].

1.2. A EXTRUSORA

A extrusora (Figura 1) é a máquina que processa o material polimérico transportando-o entre um parafuso rotativo e uma camisa / barril / canhão / cilindro com isolamento térmico além de uma matriz de perfil cilíndrico.

O sistema de aquecimento da extrusora possui um controlador térmico, a fim de manter a temperatura constante e ideal para o processo de extrusão [9]. Na medida em que o material avança no interior da camisa em direção à saída é aquecido, normalmente em níveis diferentes de temperatura, formando uma massa pastosa que é forçada através de uma matriz localizada no cabeçote sendo então expelido.

Figura 1 - Esquema de uma extrusora e seus componentes básicos.



Fonte: WEG.

Toda a complexidade construtiva contida na extrusora se concentra em seu parafuso de transporte, no material a ser extrudado e no sistema de monitoramento de temperatura, pois um controle preciso só é alcançado através de um monitoramento preciso [12].

1.2.1. PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA EXTRUSORA

A extrusora possui um *design* básico e as principais inovações nesse tipo de tecnologia estão concentrados no parafuso transportador e em seu sistema de controle de pressão e temperatura. Os demais componentes, tais como, motor, caixa de velocidades, funil de alimentação, camisa, cabeçote e matriz servem apenas para dar suporte necessário para o funcionamento do parafuso, [13].

1.2.1.1. PARAFUSO TRANSPORTADOR

O parafuso transportador é a peça fundamental em uma extrusora e é dividido em três funções principais/zonas geométricas: (1) ele transporta o material polimérico, (2) auxilia na fusão do mesmo e (3) cria uma pressão de bombeamento no material. Além disso, executa a mistura distributiva, que é o rearranjo de diferentes componentes, e dispersiva, que é a redução do tamanho dos grãos, além da homogeneização através do cisalhamento no material [14] (Tabela 1).

A resina termoplástica é abastecida na máquina através da tremonha ou funil alimentador na forma de grãos ou pó e transportado ao longo do parafuso enquanto absorve o calor fornecido por resistências elétricas [14].

Tabela 1 – Funções básicas e secundárias do parafuso transportador

Funções básicas do parafuso:	Funções secundárias do parafuso:
Transporte de sólidos	Mistura
Derretimento e fusão	Refino por cisalhamento

Fonte: Dos autores

1.2.1.2. TERMOPARES, SENSORES E CONTROLADORES

A principal função da extrusora é fornecer um polímero homogêneo, bem misturado e derretido em temperatura e pressão especificadas, desta forma, para se cumprir esses requisitos é necessário que a extrusora seja equipada com dispositivos para monitoramento e controle do sistema além de sensores de temperatura e pressão [15].

Sensores termopares são amplamente utilizados na mensuração dos campos térmicos encontrados no interior da camisa de extrusão enquanto o polímero derretido flui em seu interior, além desses, podem ser agregados termômetros infravermelhos e softwares para controle de processo e quantificação do consumo de energia. A geometria e velocidade de rotação do parafuso além das temperaturas envolvidas podem impactar de forma significativa o resultado final [8].

O controle da temperatura de fusão do material evita variações de viscosidade e degradação do produto através de uma alimentação consistente e contínua. Com o controle da pressão de aplicação é possível um taxa consistente de fluxo [2].

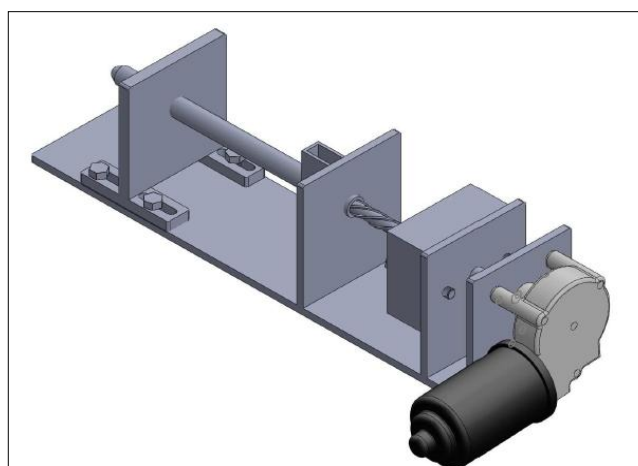
1.3. OS POLÍMEROS E A IMPRESSORA 3D

A crescente tecnologia no ramo de impressão 3D com a utilização de polímeros exige a necessidade de se adequar, desenvolver, aplicar e reciclar os materiais utilizados no processo [16]. Os materiais mais solicitados para moldagem de peças em 3D são o ABS (Acronitrilo Butadieno Estireno) e o PLA (Ácido Polilático). O termoplástico ABS possui boas características mecânicas, tais como resistência ao impacto e à tração, flexibilidade além de leveza e preço moderado. O PLA é um termoplástico biodegradável que possui como principais características a rigidez e a resistência.

A impressão 3D tem sido utilizada na construção de peças complexas e que exigem detalhes e acabamentos dificilmente alcançados por outros métodos de fabricação. Esse método passou de uma ferramenta utilizada somente na fabricação de protótipos para ser utilizada na fabricação de peças e objetos permanentes e isso abrange a indústria de polímeros, metal mecânica, aeroespacial, áreas médicas e muitas outras [18].

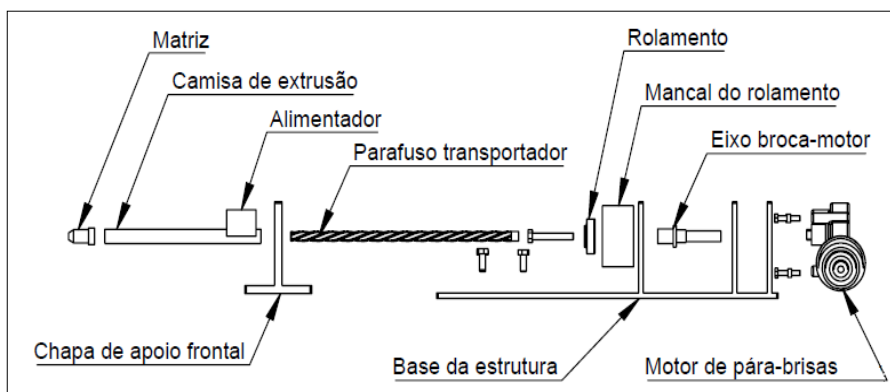
Este estudo tem a finalidade de se obter uma síntese e montagem de uma mini extrusora (Figuras 2 e 3) capaz de reciclar o copolímero ABS e/ou o polímero PLA com o formato de filamento de 3 mm de diâmetro após esses serem utilizados em projetos demonstrativos ou gerarem rejeitos durante o processo de impressão focando em suas partes mecânicas e eletroeletrônicas essenciais ao seu funcionamento e obtenção das melhores características no material produzido, o parafuso transportador, termopar, sensor, contator e controlador.

Figura 2 – Modelo de extrusora idealizado – vista ortogonal



Fonte: Acervo próprio

Figura 3 – Modelo de extrusora idealizado – vista explodida com nomenclatura dos componentes



Fonte: Acervo próprio

2. METODOLOGIA

2.1. MATERIAIS

Os materiais utilizados na construção da mini extrusora foram adquiridos no Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA, conforme Tabela 2, além do apoio necessário para a sua concepção.

Tabela 2 – Relação dos materiais utilizados na construção da mini extrusora

Material	Aplicação	Dimensão (mm)	Quantidade
Chapa de aço 1020	Base da máquina	500 x 100 x 10	01
Chapa de aço 1020	Apoio do motor	110 x 100 x 10	01
Chapa de aço 1020	Apoio do mancal	110 x 100 x 10	01
Chapa de aço 1020	Apoio da camisa	110 x 100 x 10	01
Chapa de aço 1020	Apoio do molde	110 x 100 x 10	01
Tubo de aço galvanizado	Camisa de extrusão	Ø 16 x 2 espessura x 227 comprimento	01
Broca de pua	Parafuso transportador	Ø 12 x 300 comprimento	01
Motor de pára-brisas 24 v	Acionamento motriz	-	01
Controlador NOVUS N1030	Controle de temperatura	-	01
Contator		-	01
Mini resistência tipo coleira 350 W, 220 V		-	01
Termômetro laser Minipa Modelo MT-350	Monitoramento de temperatura	-	01
Rolamento W6302-2Z	Apoio do eixo	-	01
Chapa de alumínio	Mancal de rolamento	66 x 50 x 13	01
Barra de alumínio	Molde	Ø 30x40	01

Fonte: Dos autores

2.2. MÉTODO

A primeira etapa da construção da mini extrusora deu-se a partir do corte de chapas de aço para a montagem das paredes de apoio, entre as quais foram instalados todos os componentes da máquina, da chapa de base e corte da camisa de extrusão. Nesta etapa também foram feitas soldagens das chapas de “parede” e na chapa base. Desse modo, foi possível a montagem do conjunto (motor, camisa de extrusão, molde, resistências, acoplamento, funil de alimentação, rolamento, mancal do rolamento e broca de pua).

Com as chapas cortadas, conforme dimensões citadas iniciou-se a perfuração para a passagem da camisa de extrusão, instalação do motor e suporte para o molde. A segunda etapa da construção foi a agregação de componentes elétricos, a fim de se obter o controle de temperatura e manter os demais parâmetros (velocidade de extrusão e pressão) constantes, além de sistema de segurança elétrico de sobrecorrente. O principal componente do sistema elétrico é o controlador de temperatura sendo este programável conforme estado que se deseja alcançar.

A partir da instalação de todos os componentes mecânicos e elétricos pôde-se realizar os primeiros testes de operação da mini extrusora.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os primeiros testes na mini extrusora, realizados em dezembro de 2017, com o objetivo de avaliar seu desempenho, não foram satisfatórios, devido apresentar problemas com o controle preciso de temperatura, gerando material muito fluido e degradado na camisa de extrusão, obstruindo o canal de passagem, nesse teste foi utilizado o ABS.

Posteriormente, foram realizados testes em diversas faixas de temperatura para definição do ponto de fusão ideal para os polímeros utilizados, todavia, por não haver disponibilidade dos pellets de ABS nem do PLA optou-se em utilizar o Polipropileno (PP) como material de testes, favorecido por suas características físicas que possibilitou a execução de testes satisfatórios. O Polipropileno tem temperatura de fusão em torno de 160°C [19], porém, para a extrusão, a temperatura precisa estar próximo à metade disso.

Para a execução da modelagem do polímero foi necessário inicialmente conduzir as etapas de pré-aquecimento para a homogeneização térmica na região de moldagem e sobreaquecimento para acelerar o processo de homogeneização para então rebaixar a temperatura até a faixa de trabalho conforme tabela 3 e gráfico 1 a seguir.

Tabela 3 – Relação de Tempo x Temperatura de pré-aquecimento, sobreaquecimento e temperatura de trabalho

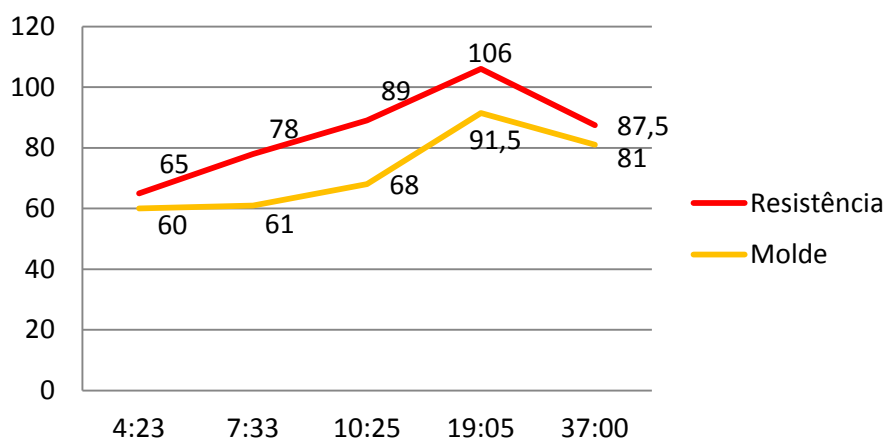
Pré-aquecimento		
Tempo (min.)	Temperatura da Resistência(°C)	Temperatura no Molde (°C)
04:23	65	60
07:33	78	61
10:25	89	68
Sobreaquecimento a partir da temperatura de pré-aquecimento		
19:05	106	91,5
Rebaixamento da temperatura até a temperatura de trabalho		
31:37	87,5	81,0

Fonte: Dos autores

Após alterações na temperatura de trabalho, verificou-se a faixa ideal para a moldagem do polímero situada em 82 ± 5 °C, para a resistência e molde na temperatura ambiente de 24°C.

Para o teste de extrusão foi utilizado 57 gramas de polipropileno em 13:35 minutos (815 segundos), em temperatura ambiente de 24 °C, partindo de 87°C na resistência e molde, resultando em 0,07g/s com o motor a uma velocidade constante de 78 rpm.

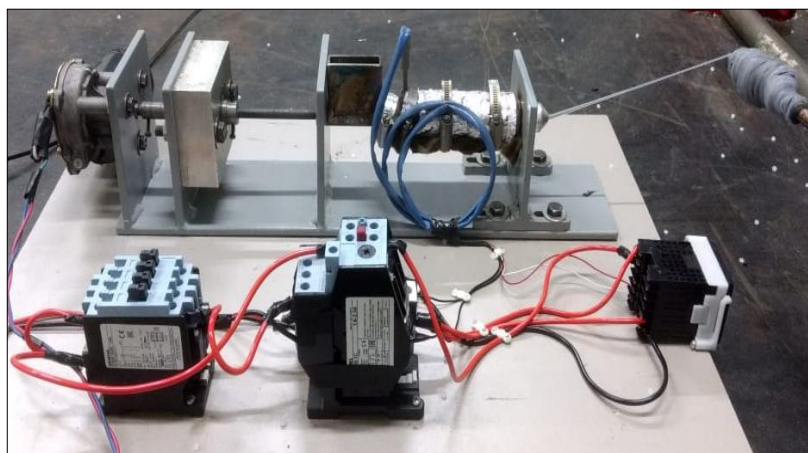
Gráfico 1 – Relação de Tempo x Temperatura de pré-aquecimento, sobreaquecimento e temperatura de trabalho



Fonte: Dos autores

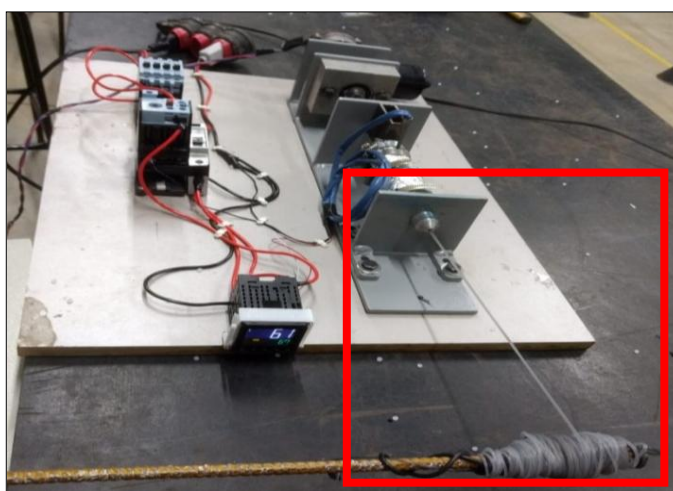
Como a velocidade e pressão são considerados constantes neste experimento, o controle da temperatura exerceu toda a influência de qualidade no produto final. Após as alterações realizadas, a nova configuração do equipamento e a fase de testes concluída, percebe-se resultados satisfatórios no funcionamento adequado da mini extrusora didática (figuras 4 e 5) e do produto final após a extrusão do polímero. Neste trabalho, foi possível colocar em prática todos os conceitos teóricos envolvidos nas disciplinas do curso de Engenharia Mecânica.

Figura 4 – Vista lateral da mini extrusora finalizada e em operação



Fonte: Acervo próprio

Figura 5 – Vista frontal da mini extrusora finalizada e em operação



Fonte: Acervo próprio

4. Conclusões

Pelos dados obtidos neste trabalho conclui-se que a síntese e montagem de uma mini extrusora capaz de reciclar o copolímero ABS e/ou o polímero PLA com o formato de filamento de 3 mm de diâmetro foi bem sucedido. O equipamento em questão demonstrou a capacidade de fundir os grânulos dos polímeros PLA e ABS, transformando-os em filamentos de 3 mm, diâmetro utilizado na impressora 3D do Centro Tecnológico da UniEVANGÉLICA. Além disso, a mini extrusora servirá para fins de demonstração em aulas práticas dos cursos de Engenharia Mecânica e Elétrica.

Este trabalho possibilitou colocar em prática todos os conceitos teóricos envolvidos nas disciplinas do curso de Engenharia Mecânica e preparar os discentes para o mercado de trabalho, através dos percalços encontrados até a finalização do projeto e das dificuldades de trabalho em equipe.

Referências

- [1] Dr. Chris Rauwendaal, *Polymer Extrusion*, 5th Editio. Auburn, United States, 2014.
- [2] C. Abeykoon, "Single screw extrusion control: A comprehensive review and directions for improvements," *Control Eng. Pract.*, vol. 51, pp. 69–80, 2016.
- [3] Brasil, *Lei 12.305/2010*. 2010, p. 21.
- [4] "Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010," no. 12, pp. 1–53, 2010.
- [5] ABIPLAST, "Perfil 2017 - Indústria Brasileira de Transformação de Material Plástico," *Perf. 2017*, 2017.
- [6] ABIPLAST, "NOTÍCIAS ABIPLAST," 2018. [Online]. Available: http://abiplast.org.br/noticias/industria-do-plastico-cresce-25-em-2017-e-espera-chegar-a-3-esse-ano/20180207113931_G_727. [Accessed: 09-Aug-2018].
- [7] X. P. Dang, "General frameworks for optimization of plastic injection molding process parameters," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 41, pp. 15–27, 2014.
- [8] C. Abeykoon *et al.*, "Process efficiency in polymer extrusion: Correlation between the energy demand and melt thermal stability," *Appl. Energy*, vol. 135, pp. 560–571, 2014.
- [9] P. G. Lafleur and B. Vergnes, *Polymer Extrusion*. 2014.
- [10] R. A. S. Ferreira, "Conformação Plástica Fundamentos Metalúrgicos e Mecânicos," p. 245, 2010.
- [11] WEG, "Eficiência energética em extrusoras de plástico," pp. 4–5.
- [12] P. D. Coates, "In-Line Rheological Measurements for Extrusion Process-Control," *Meas. Control*, vol. 28, no. 1, pp. 10–16, 1995.
- [13] C. I. Chung, *Extrusion of Polymers*, 2nd Editio. Cincinnati, United States: Hanser Gardner, 2011.
- [14] D. Stratiychuk-Dear, K. Looney, P. Oliver, S. Blackburn, and M. Simmons, "Investigating the impact of operating conditions on the extent of additive mixing during thermoplastic polymer extrusion," *AIP Conf. Proc.*, vol. 1914, 2017.
- [15] V. Pistor, A. Chiesa, and A. J. Zattera, "Estudo do reprocessamento de polietileno de baixa densidade (PEBD) reciclado do processamento de extrusão de filmes tubulares," *Polímeros*, vol. 20, no. 4, pp. 269–274, 2010.
- [16] M. D. Symes *et al.*, "Integrated 3D-printed reactionware for chemical synthesis and analysis," *Nat. Chem.*, vol. 4, no. 5, pp. 349–354, 2012.
- [17] J. M. J. M. Pearce *et al.*, "Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under unrealistic environmental conditions," *Mater. Des.*, vol. 58, pp. 242–246, 2014.
- [18] S. Hwang, E. I. Reyes, K. sik Moon, R. C. Rumpf, and N. S. Kim, "Thermo-mechanical Characterization of Metal/Polymer Composite Filaments and Printing Parameter Study for Fused Deposition Modeling in the 3D Printing Process," *J. Electron. Mater.*, vol. 44, no. 3, pp. 771–777, 2015.
- [19] H. H. S. Corporation, "DSC Measurement of Polypropylene," no. 86, pp. 1–2, 2008.