

# O uso da manufatura aditiva para o desenvolvimento de uma órtese para punho utilizando material reciclável



**Luana Machado dos Santos (UniAraguaia)**  
[luana.santos.adm@hotmail.com](mailto:luana.santos.adm@hotmail.com)

**Erone Alves Xavier (FABEC)**  
[erone1989@gmail.com](mailto:erone1989@gmail.com)

**Johnatan Francisco Felix do Vale (FABEC)**  
[Johnatanfrancisco10@gmail.com](mailto:Johnatanfrancisco10@gmail.com)

**Marcos Lajovic Carneiro (PUC – Goiás)**  
[marcoslajovic@hotmail.com](mailto:marcoslajovic@hotmail.com)

**Daniela Almeida Gomes (Centro Universitário de Maringá)**  
[gestoradetransitodaniela@gmail.com](mailto:gestoradetransitodaniela@gmail.com)

*Este artigo tem como objetivo demonstrar a viabilidade da utilização de materiais recicláveis para o desenvolvimento de uma órtese para punho desenvolvido na impressão 3D. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, a partir de ensaios experimentais, seguindo em duas etapas, inicialmente foi feita à fabricação de filamentos com o polímero PLA, apenas com a extrusora, em seguida, fabricou-se o imobilizador de uma órtese. Em relação viabilidade técnica no processo de fabricação dos filamentos a partir de resíduos reciclados, foi confirmado que é totalmente viável a impressão de peças em relação à qualidade do filamento e dimensões estabelecidas do filamento com 1.75 mm. Percebeu – se também que este material possui resistência mecânica satisfatório, atendendo ao ensaio de tração obteve um limite de resistência de 27,58 Mpa e de flexão uma resistência de 4,05 Mpa. Outro resultado encontrado é a fabricação da órtese de punho fabricado por meio de um material reciclado, sendo que o primeiro produto desenvolvido identificou as não conformidades devido o seu formato ele se torna uma peça frágil. Por isso optou-se em desenvolver um segundo modelo, onde houve a necessidade de moldar este processo, atingindo o objetivo proposto neste artigo.*

*Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Reutilização. Revolução Indústria 4.0. PLA; Órtese.*

## 1. Introdução

Em um breve histórico, vale lembrar que o desenvolvimento sustentável foi definido há uma geração por meio de uma série de comissões e cúpulas lideradas pelas Nações Unidas como um desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades. Trabalhos subsequentes de estudiosos e organizações internacionais de desenvolvimento ampliaram o enquadramento original para definir o desenvolvimento sustentável quando o “bem-estar inclusivo”, a qualidade de vida agregada para todas as pessoas, em todos os lugares, agora e no futuro - não diminui com o tempo (UNU-IHDP UNEP, 2014). Mas recentemente, em setembro de 2015, praticamente todos os países membros das Nações Unidas se comprometeram com 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que fornecem metas e cronogramas específicos para melhorar o bem-estar inclusivo (ANADON et al., 2016).

A inovação tecnológica está no centro do desenvolvimento sustentável, sabendo que a inovação em si é um dos ODS (meta 9) e também um meio para alcançar os outros. A tecnologia é o subconjunto do conhecimento que inclui toda a gama de dispositivos, métodos, processos e práticas que podem ser usados para cumprir certos propósitos humanos de uma maneira especificável e reproduzível, enquanto a inovação é o processo pelo qual a tecnologia é concebida, desenvolvida, codificada e implantado (ANADON et al., 2016). O processo de inovação ocorre em “sistemas de inovação” multifacetados, que podem ser pensados como o conjunto conectado de atores e instituições que moldam os processos de inovação.

Em 2010, a norma *American Society for Testing and Materials* (ASTM) F2792 definiu o termo Manufatura Aditiva (MA) como um processo de fabricação de objetos, a partir de um modelo de desenho 3D, com a junção de materiais por camadas, contradizendo a metodologia de Manufatura Tradicional (MT). A MA é caracterizada por um conjunto de inovações tecnológicas, que proporcionam melhorias para a indústria, a partir de máquinas inteligentes e equipamentos para controlar e auxiliar na produção, até mesmo sem a intervenção humana (IVANOV et al., 2013; NG et al., 2015).

Diante dessas inovações tecnológicas, muitas indústrias estão atentas a essas mudanças do mercado, com objetivo de agregar valor no processo produtivo para o desenvolvimento de produtos. Com isso, surgiu-se a tecnologia de impressão tridimensional (3D), também conhecida como Prototipagem Rápida (PR), Produção Digital Direta (PD), e fabricação livre que abrange uma ampla variedade de tecnologias de produção, que são utilizadas para

produção de protótipos e peças finais, por meio de um programa de projeto - *Computer Aided Design* (CAD), realizando impressões em camadas, desenvolvendo uma forma final por meio de processos de adição de material, que vem se destacando como uma tecnologia para mudar a metodologia de fabricação de produtos (ASTM F2792, 2010; STEPHENS et al., 2013; HUANG et al., 2013; FORD, DESPEISSE, 2016; OSEJOS, 2016; VOLPATO et al., 2017).

As indústrias buscam novas tecnologias, visando uma produção mais flexível, ágil, criando produtos cada vez mais personalizados, evitando o desperdício de matéria prima. Para Hofmann, Marco (2017) a produção industrial é hoje impulsionada pela concorrência global e pela necessidade rápida da produção em relação aos pedidos de mercado em constantes mudanças.

Este estudo apresenta a perspectiva sobre o desenvolvimento de um produto por meio da inovação tecnológica em busca de contribuir com o desenvolvimento sustentável.

Diante, deste contexto, a tecnologia de MA se apresenta como uma proposta para o desenvolvimento de produtos bastante sustentável, devido à redução de custo na aquisição de insumos, ou seja, muitas impressoras 3D geram pouco resíduo de insumo durante a fabricação da peça. E, então, às empresas estão investindo na MA, em busca de obter características competitivas, a redução de custo e contribuindo assim, com o impacto ao meio ambiente (CASAGRANDE, 2013; DANGELICO, 2016; JUGEND et al., 2017). Apesar de pouco resíduo ser gerado durante a produção de uma peça, correspondendo ao material de suporte ou de aderência do objeto à mesa de impressão, uma produção em série por meio de impressoras 3D também gera um volume de resíduos que precisa ser tratado.

O propósito deste artigo está no desenvolvimento de um produto, com o objetivo principal em verificar a viabilidade da utilização de materiais recicláveis para o desenvolvimento de um órtese para punho desenvolvido na impressão 3D.

Como questão problema, este trabalho levantou a seguinte problemática: “Qual a viabilidade do desenvolvimento de um produto como um órtese para punho utilizando filamentos de materiais reciclados?”.

Este artigo está estruturado em 5 seções. A seção 2 apresenta definição de manufatura aditiva e como é utilizado o processo de extrusão para fabricação de filamentos. A seção 3 expõe a metodologia do trabalho. A seção 4 apresenta o resultado é uma discussão do tema abordado. A seção 5 contém as considerações finais do estudo e as referências bibliográficas.

## 2. Referencial Teórico

Nesta etapa fornece a definição da manufatura aditiva e processo de extrusão de plástico.

### 2.1 Manufatura aditiva

Essa tecnologia é considerada uma das mais importantes inovações dos últimos anos, pois oferece a oportunidade de criar objetos mais complexos, com redução do *lead time*, podendo substituir algumas técnicas utilizadas na manufatura tradicional (HAO et al., 2010; MANI et al., 2014; KOHTALA, 2015; DILBEROGLU et al., 2017; FORD e DESPEISSE, 2016).





Historicamente, com o desenvolvimento da MA, a primeira impressora desenvolvida foi a *Stereolithography Apparatus* (SLA). Dentre os diversos tipos de impressoras existentes para realizar a impressão 3D, tem-se: FDM desenvolvida pela *Stratasys*<sup>®</sup>, Sinterização Seletiva a *Laser* (SLS) criada pela DTM Corporation<sup>®</sup>, Laminação de Folhas (LOM) desenvolvida por *Helisys*<sup>®</sup>, dentre outros (LUO et al., 2002; HUANG et al, 2013; DILBEROGLU et al., 2017). A MA para os autores como Hao et al. (2010), Petrick e Simpson (2013), Mani et al. (2014), Chen et al. (2015), Osejos (2016) e Volpato et al. (2017), apresentaram algumas vantagens nesse processo, dos quais destaca se: a complexidade das peças, criação de peças personalizadas, adaptação e acesso a novos nichos de mercado, utilização de um único equipamento para fabricação das peças, redução de peso e maior flexibilidade, redução de insumos e transporte para o abastecimento da cadeia de suprimentos, além da produção de pequenos lotes.

Vale lembrar que o processo de fabricação da MA surgiu devido às limitações do *Computer Numerical Controlled* (CNC). Havia a necessidade de realizar uma configuração e um novo planejamento de todo o processo, principalmente em relação às partes mais complexas. No caso da geometria das peças, estas estavam sendo fabricadas por esta máquina e era necessário definir como seria realizada esta etapa para fabricar a peça conforme o desenho.

Por outro lado, o processo de impressão 3D é uma oportunidade para diversas áreas da indústria. Possibilitam facilitar a criação de protótipos na produção final e proporcionar a substituição do método tradicional (VOLPATO et al., 2017).

O diferencial nos processos de impressão em 3D da MA é a matéria prima que pode ser utilizada e o seu método de formação ser por camadas. A Figura 1 apresenta de forma resumida os processos abordados por Gibson et al. (2010), Petrovic e Simpson (2011), Osejos (2016), Dilberoglu et al. (2017) e Volpato et al. (2017).

Figura 1 - Diferença entre os tipos de impressões 3D na MA

	<b>Material Extrusão</b>	<b>Foto Polimerização</b>	<b>Pó cama Fusão</b>	<b>Folha de Laminação</b>
<b>FIGURA</b>				
<b>PROCESSO</b>	Deposição de um material fundido por um cabeçote de extrusor realizando camada por camada	Aplicação de uma luz Ultra Violeta (UV) para curar um polímero fotocurável por um laser	Fusão de pó por um feixe laser passando por um armazenamento, derretendo toda região selecionada	A junção das camadas pode ser feita por colagem ou ligação adesiva, ligação térmica e soldagem
<b>MATERIAIS</b>	Filamentos de polímeros termoplásticos	Resinas Líquidas, Polímeros Fotossensíveis	Polímeros, Cerâmicas e Metais	Papel, Metal e Polímeros
<b>NOME</b>	FDM	SLA	SLS	LOM

Fonte: Adaptado de Gibson et al. (2010), Petrovic e Simpson (2011), Osejos (2016), Dilberoglu et al. (2017) e Volpato et al. (2017)

Os maiores ganhos entre os processos de impressão estão na preocupação com desperdício da matéria prima (PICESOTWARE, 2014).

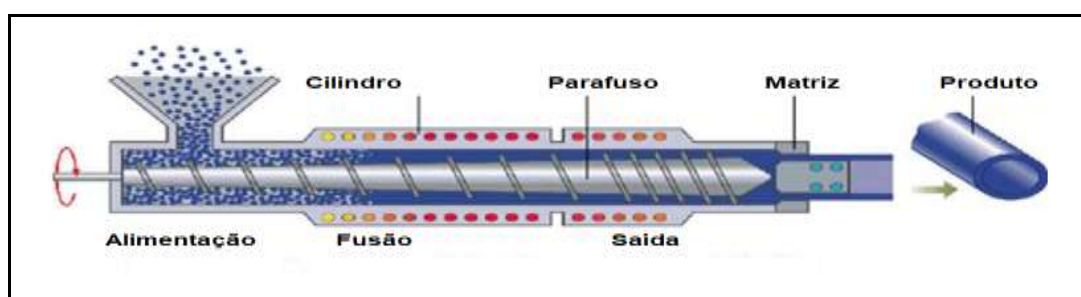
## 2.2 Processo de extrusão de plástico

A reciclagem traz vários benefícios aos seres humanos e ao meio ambiente por reduzir o número de resíduos, normalmente descartados nos aterros sanitários (MANI et al, 2014). O método de reciclagem envolve o reprocessamento de resíduos plásticos em novos ou diferentes produtos, como, por exemplo, na fabricação de filamentos para impressoras 3D. Por conseguinte, são realizadas algumas etapas como: a coleta de resíduos plásticos, a separação, a limpeza do material de acordo com cada termoplástico, secagem, trituração e por

último o processo de extrusão (HAMOD, 2014).

O processo de extrusão (apresentado na Figura 2) é considerado uma das técnicas mais utilizadas na indústria de plástico. Ele é constituído por um funil, responsável por armazenar e conduzir plástico triturado até um canal de extrusão. Neste local o material é forçado por um parafuso trator, geralmente helicoidal, por uma matriz que determina o diâmetro do filamento gerado. O filamento extrudado é então resfriado e enrolado em uma bobina (HAMOD, 2014; PEREIRA, 2014; RODRIGUES, 2017).

Figura 2 - Esquema do processo de extrusão



Fonte: Adaptado de Abiplast (2014)

A venda de filamentos se tornou um nicho de mercado promissor, depois da popularização das impressoras 3D de baixo custo. Este insumo é utilizado para a fabricação de qualquer tipo de peça, sendo capaz de oferecer produtos personalizados, em pequenas quantidades e com ótima qualidade (BERMAN, 2012; GEBLER et al., 2014; NOVOA E ALMEIDA, 2016).

Sendo assim, a manufatura aditiva tem sido considerada mais sustentável que os processos de manufatura já estabelecidos, por produzir peças utilizando somente o necessário, além disso, a matéria prima utilizada pode ser proveniente de resíduos de plásticos passando pelo processo de reciclagem. Inclusive, quando ocorrem erros de impressão e os rafts podem ser reciclados por meio de criação de novos filamentos (SANTOS et al., 2018).

No processo de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM), o seu método de impressão é por extrusão de material, que utiliza filamentos de polímeros termoplásticos como matéria prima para este processo de impressão. E este insumo pode ser proveniente de outras prototipagens, como resíduos de outros materiais que passaram pelo processo de reciclagem produzindo um novo filamento, para ser aplicado em uma impressora com o sistema de extrusão (HAMOD, 2014).

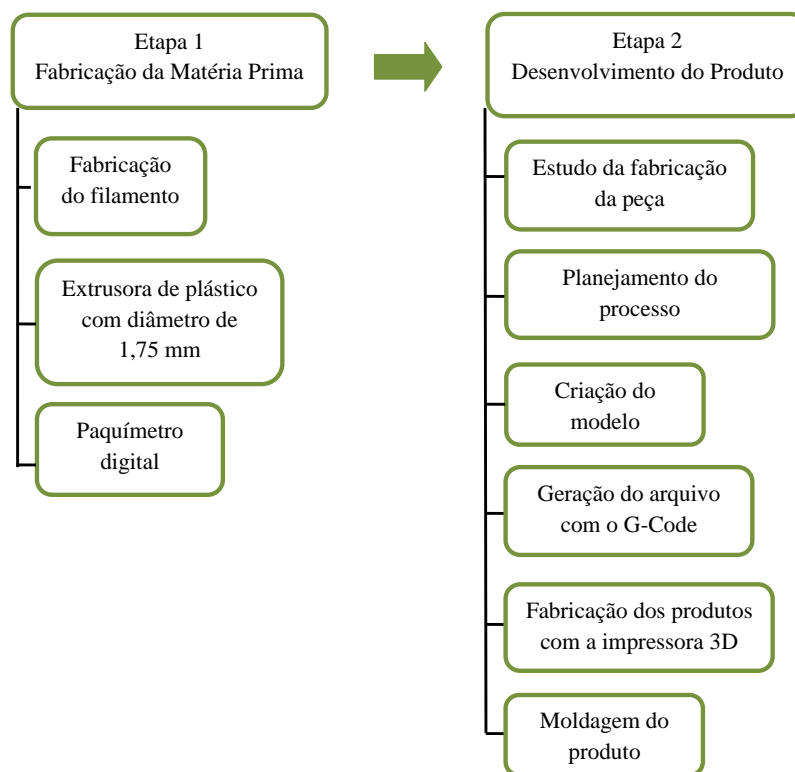
Entre os tipos de polímeros termoplásticos mais utilizados neste processo estão o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), o Poli Ácido Lático (PLA), Nylon, Polietileno de Alta Densidade

e o Polipropileno (SANTOS, 2019).

### 3. Metodologia

A pesquisa foi conduzida de maneira experimental (MIGUEL, 2012) seguindo em duas etapas, inicialmente foi feita a fabricação de filamentos com o polímero PLA, apenas com a extrusora, em seguida, fabricou-se o imobilizador de punho, conforme figura 3.

Figura 3 – Desenho da pesquisa



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

#### 3.1 Fabricação do Filamento

Para fabricação de filamento do polímero PLA foram utilizadas 400g de grânulos de polímeros reciclados (Figura 4).

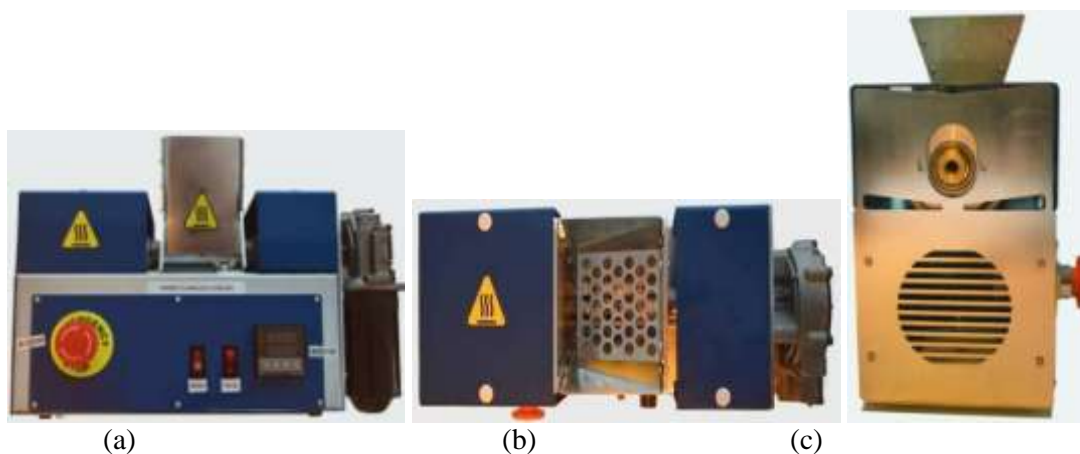
Figura 4 – Resíduo do polímero PLA



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Nesta fase utiliza-se a máquina Extrusora Filmaq 3D STD (Figura 5), com o bico de saída de 1.75 mm, a qual foi testada utilizando a temperatura de 190°C para fabricação do filamento (CASTELLI, 2012; SOARES, 2012).

Figura 5 - Extrusora Filmaq 3D (a) extrusora; (b) funil; (c) matriz de saída



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Conforme a saída do filamento é necessário realizar a medição da espessura para a obtenção da dimensão necessária. Para isto foi utilizado um paquímetro digital (Figura 6).

Figura 6 - Paquímetro Digital



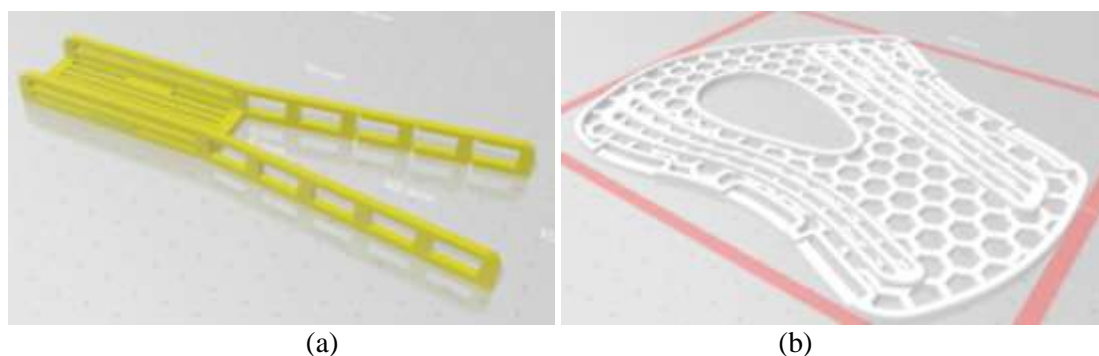
Fonte: Elaborado pelos autores (2020)



### 3.2 Fabricação do órtese

O desenvolvimento do produto órtese para punho fabricado foi baseado no modelo disponível no site <https://www.thingiverse.com/>, que disponibiliza gratuitamente o *download* do arquivo com modelos de peças para impressão. A busca pelo projeto *OpenSource* foi feita com a palavra-chave *wrist brace*, e selecionou-se o arquivo de peças apresentado na Figura 7.

Figura 7 – Modelo de órtese: a) modelo 1; b) modelo 2

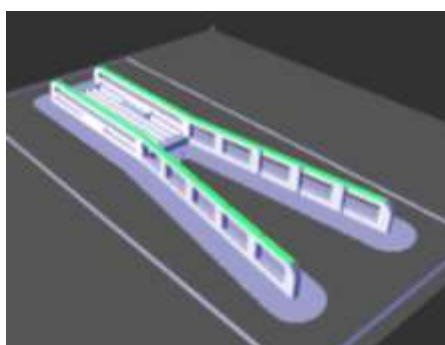


Fonte: Thingiverse (2020)

Nesta fase é transferido o arquivo para o *software* Voxelizer 64 Bit a fim de realizar a programação da impressão da peça, definindo-se a espessura da camada, a velocidade da impressão, tipo de material que será utilizado, e a inserção de suportes.

A simulação da peça impressa para o modelo 1 mostra que será utilizado 6 metros e 17cm de filamento, totalizando um gasto de 1 horas e 51 minutos para realizar a impressão da peça, seguindo os detalhes do arquivo no formato G-Code, apresentada na Figura 8.

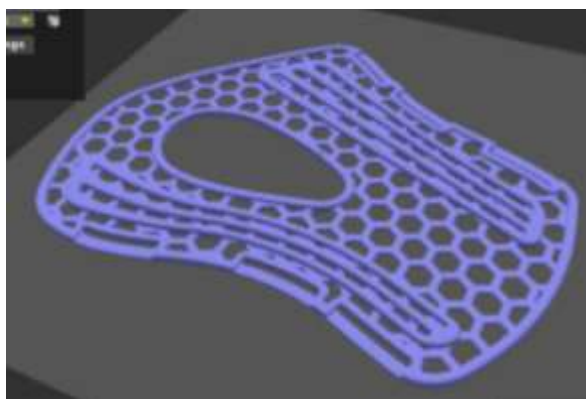
Figura 8 – Representação gráfica do G-Code do modelo 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

A simulação da peça impressa para o modelo 2 mostra que será utilizado 16 metros e 86cm de filamento, totalizando um gasto de 4 horas e 56 minutos para realizar a impressão da peça, seguindo os detalhes do arquivo no formato G-Code, apresentada na Figura 9.

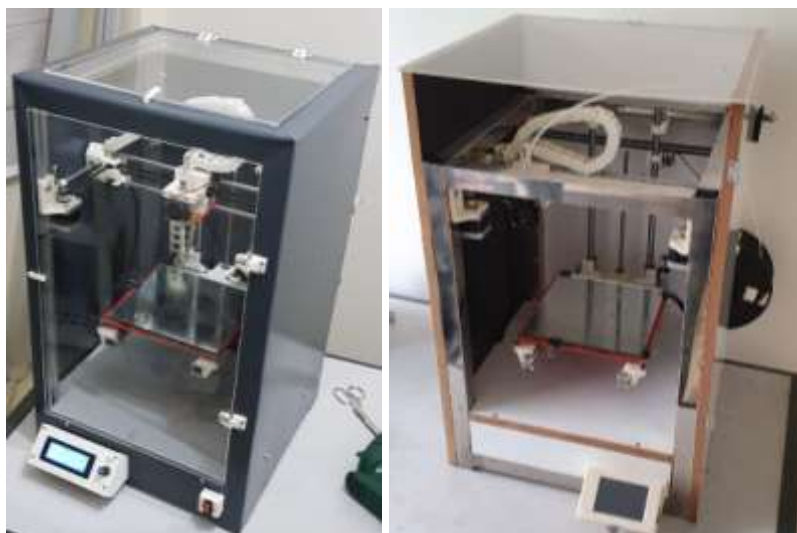
Figura 9 - Representação gráfica do G-Code do modelo 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Para este trabalho de fabricação do órtese de punho foi utilizada uma impressora do tipo FDM, disponível no Laboratório de Prototipagem Avançada (LAPA) da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, utilizando o filamento PLA, figura 10.

Figura 10 – Impressora 3D modelo FDM



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Foram estabelecidos dois parâmetros: a porcentagem em 50% preenchimento, a utilização do filamento PLA. E para os parâmetros fixos estabelecidos para a impressão do órtese de punho com a espessura da camada de 0,2 mm, a velocidade de impressão 70 mm/s, a estratégia de preenchimento *honeycomb* (casinha de abelha), o diâmetro do filamento 1.75 mm e o número de camadas 4.

#### 4. Resultados e Discussões

Primeiramente foi realizada a fabricação do filamento com o polímero PLA reciclado, utilizando a temperatura de 190°C foi possível atingir o diâmetro entre 1.72 mm e 1.71 mm, como apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Medição do diâmetro do filamento PLA reciclado



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Após a fabricação do filamento surgiu à necessidade de verificar se este filamento teria resistência mecânica, de acordo com o estudo de Santos (2019) apresentou algumas propriedades mecânicas por meio de uma comparação do material virgem e reciclado, conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Medição de propriedades mecânicas do polímero PLA

	Densidade (g)	Tração (Mpa)	Flexão (Mpa)	Dureza (Mpa)
PLA virgem	1,0264	27,8049	2,4963	179,2656
PLA reciclado	0,9571	27,5847	4,0555	215,5502

Fonte: Adaptado por Santos (2019)

Observou – se então que em relação à tração o polímero virgem possui maior resistência em uma flexão de 27,80 MPa já o ensaio de dureza o polímero PLA reciclado apresentou a maior

média de 215,5502 GPa de microdureza quando comparado ao polímero virgem. Já o ensaio de flexão o PLA reciclado apresentou a maior resistência de 4,05 MPa.

Em seguida foi realizado a impressão do primeiro modelo de órtese de punho, conforme a figura 12.

Figura 12 – Fabricação do órtese de punho modelo 1



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Após a confecção do órtese de punho, notou-se que peça estava de acordo com o modelo disponibilizado, atendendo todas as dimensões, porém, ao analisar percebeu que esta peça devido o seu formato se torna uma peça frágil, onde não iria atender as suas necessidades, ou seja, não conformidades foram identificadas como é possível visualizar na Figura 13 após a retira do suporte houve um rompimento da peça e não puderam ser corrigidas.

Figura 13 – Órtese de punho com as não conformidades



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Buscando sanar as não conformidades citadas, houve a impressão de um segundo modelo de órtese com outras características, porém de melhor ajuste ao punho, conforme Figura 13.

Figura 14 – Fabricação do órtese de punho modelo 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Após a impressão deste segundo modelo, houve a necessidade de moldá-lo, utilizando os seguintes objetos: água aquecida em uma temperatura de 50°C e uma fita de velcro para finalização do processo, Figura 14. A figura 15 apresenta o modelo pronto.

Figura 14 – Materiais utilizados para moldagem do órtese de punho



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Figura 15 – Órtese de punho modelo 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2020)

Após a montagem da órtese de punho, muito provavelmente seja totalmente funcional para as pessoas que precisam de um tratamento de imobilização, tendo como benefícios o conforto, facilidade na higienização e totalmente moderna.

## 5. CONSIDERAÇÕES

Este artigo objetivou analisar a viabilidade da fabricação de filamentos a partir de resíduos reciclados, e o desenvolvimento de um produto utilizado a impressão 3D por meio do processo FDM para construção de uma órtese de punho, voltado para as pessoas que precisam deste tratamento.

Quanto à fabricação do filamento de resíduos de PLA percebeu-se que foi totalmente viável em relação à qualidade do filamento e dimensões estabelecidas de 1,75 mm, sendo possível realizar a impressão de peças com esse material. Percebeu – se também que este material possui resistência mecânica satisfatório, atendendo ao ensaio de tração obteve um limite de resistência de 27,58 Mpa e de flexão uma resistência de 4,05 Mpa.

Outro resultado encontrado é a fabricação da órtese de punho fabricado por meio de um material reciclado, sendo que o primeiro produto desenvolvido identificou as não conformidades devido o seu formato ele se torna uma peça frágil. Por isso optou-se em

desenvolver um segundo modelo, onde houve a necessidade de moldar este processo, atingindo o objetivo proposto neste artigo.

E como trabalhos futuros, abordaremos sobre: a aceitação das pessoas em realizar esta substituição de uma órtese pelo método tradicional pelo método tecnológico e verificar se este modelo atenderia as mesmas necessidades que um órtese tradicional.

## REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Processo de transformação para materiais plásticos. São Paulo, 2014. Disponível em: <[http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao\\_sobre\\_transformacao\\_vf.pdf](http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf)> Acessado em 19 de março de 2020.

ANADON, L. D., CHAN, G., HARLEY, A. G., et al. “**Making technological innovation work for sustainable development**”. PNAS, august 12, 2016.

ASTM F 2792. AMERICAM SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM F2792: Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. United States, 2010.

BERMAN B. “*3-D printing: The new industrial revolution*”. **Business Horizons**, v. 55, p. 155–162, 2012.

CASAGRANDE, M. V. S. Projeto de um cabeçote de extrusão de uma máquina de prototipagem rápida FDM. Projeto de graduação–UFRJ/Escola Politécnica, 2013.

CALLISTER, W. D., RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 8. ed. Grupo Gen-LTC, 2012.

CHEN, D., HEYER S., IBBOTSON, S., et al., “Direct Digital Manufacturing: Definition, Evolution, and Sustainability Implications”. **Journal of Cleaner Production**, 2005. doi:10.1016/j.jclepro.2015.05.009.

DANGELICO, Rosa Maria. Green product innovation: where we are and where we are going. *Business Strategy and the Environment*, 25(8), 560-576, 2016.

DILBEROGLU, U. M., GHAREHPAGAH, B., YAMAN, U., et al., “The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0”. **Procedia Manufacturing**, v.11, p.545-554, 2017.

FORD, S., DESPEISSE, M. “Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges”. **Journal of Cleaner Production**, v. 137, p. 1573-1587, 2016.

GIBSON, I., ROSEN, D.W., STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. Springer, 2010.

GEBLER, M; UITERKAMP, AJM; VISSER, C. “*A global sustainability perspective on 3D printing Technologies*”. **Energy Policy**, 2014.

HAMOD, H. **Suitability of Recycled HDPE for 3D printing filament**. 2014. Degree Thesis – Degree Program: Plastics Technology, Arcada University of Applied Science, Finlandia, 2014.

HAO, L., RAYMOND, D., STRANO, G, et al., “Enhancing the Sustainability of Additive Manufacturing”. ICRM – **Green Manufacturing**, 2010.

HOFMANN, E., RÜSCH, M. “Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics”. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

HUANG, B. **Alternate Slicing and Deposition Strategies For Fused Deposition Modelling**. 2014. Doctor of Philosophy – School of Engineering, Auckland University of Technology, 2013.

IVANOV, D, DOLGUI, A., SOKOLOV, B., et al., “A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0”. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386-402, 2013.

JUGEND, Daniel; FIGUEIREDO, José (2017). Integrating environmental sustainability and project portfolio management: case study in an energy firm. **Gestão & Produção** v.24, n.3, pp. 526-5370.

KOHTALA, C. “Addressing sustainability in research on distributed production: an integrated literature review”. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 654-668, 2015.

LUO, R. C., TZOU, J. H., HSIEH, C. Y, et al., «The development of a thermal extrusion based rapid prototyping mechatronics system”. In: IECON 02 **Industrial Electronics Society**, IEEE 2002 28th Annual Conference of the. IEEE. p.2237-2242. 2002.

MANI, M., LYONS, K. W., GUPTA, S. K. “Sustainability Characterization for Additive Manufacturing”. **Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology**, v. 119, 2014.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2012.

NG, M., FLEMING, T., ROBINSON, M., et al., “Global, regional, and national prevalence of overweight and obesity in children and adults during 1980-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015”. **Lancet**. v. 30, . n. 384, p. 766-81, 2014 doi: 10.1016/S0140-6736(14)60460-8.

NOVOA, D. M. C., ALMEIDA, J. R. M. **Avaliação físico – química do PEAD processado pelo método de impressão 3D por modelagem por fusão e deposição – FDM**. 22°CBECiMat - Congresso Brasileiro e Ciência dos Materiais. Natal, 2016.

OSEJOS, J. V. M. **Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes**. 2016. Dissertação de Mestrado. Quito, 2016.

PEREIRA, F. D. A. S. **Desenvolvimento de um cabeçote para extrusão de filamento fundido aplicado a manufatura aditiva**. 2014. Dissertação de Mestrado, Campinas, 2014.

PETRICK, I. J., SIMPSON T. W. “3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition”. **Research-Technology Management**, v. 56, n. 6, p. 12–16, 2013.

PICESOFTWARE. Impresoras 3D el futuro hoy. Obtenido de impresoras 3D el futuro hoy. Disponível: <<http://pice-software.com/DetalleBlog.aspx?b=%2018>. Acesso em: 10 de março de 2020.

RODRIGUES, L. F. B. **Análise do aproveitamento de polímeros recicláveis para obtenção de filamentos para impressora 3D**. Panambi, 2017.

SANTOS, L. M.; ROCHA, D. S. G. M; LUZ, M. P. Os benefícios da Manufatura aditiva com uma visão sustentável: Revisão Sistemática. **Revista Sodebras**, v. 13 – nº147- março, 2018.

SANTOS, L. M. **Viabilidade técnica da aplicação de polímeros termoplásticos reciclados para impressão 3D**. 2019. Dissertação de Mestrado do Programa de Engenharia de Produção e Sistemas, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2019.

SOARES, F. C. **Laminados de Poli (Ácido Láctico)/Amido termoplástico recobertos com quitosana reticulada: obtenção e avaliação das propriedades físico – químicas**. 2012. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.



STEPHENS et al., 2013; - STEPHENS, B., AZIMI, P., El Orch, Z., et al., “Ultrafine Particle Emissions From Desktop 3D Printers”, **Atmospheric Environment**, Vol. 79, p. 334-339, 2013.

Thingiverse. 2015. Disponível em: <[https://www.filmaq3d.com.br/index.php?route=product/product&product\\_id=79](https://www.filmaq3d.com.br/index.php?route=product/product&product_id=79)> Acesso em: 29 fevereiro de 2020.

UNU-IHDP-UNEP. Inclusive Wealth Report 2014. Measuring progress toward sustainability. **Summary for Decision-Makers**. Delhi: UNU-IHDP, 2014.

VOLPATO, N., MUNHOZ, A. L., J., COSTA, C. A., et al., **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. Primeira Edição. São Paulo: Blucher, 2017. 400 p.