

Desenvolvimento da técnica de fabricação por manufatura aditiva usando *soft-matter*

Development of the manufacturing technique by additive manufacturing using *soft matter*

RESUMO

Marcos Vinícius Souza Oliveira
Marcossouza2610@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Vinícius Mariani Lenart
vmLenart@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Rozane de Fatima Turchiello Gomez
turchiel@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

Romeu Miqueias Szmoski
rmszmoski@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, Paraná, Brasil

A manufatura aditiva (MA) foi desenvolvida com o intuito de facilitar trabalhos e confecções de peças e ferramentas, com simples estrutura e partindo do conceito de adição de matéria de modelos 2D em camadas. Hoje a manufatura aditiva atua como principal ferramenta para confecção desde peças para projetos estruturais de engenharia até estruturas de órteses do setor da saúde ou miscelâneas do setor artesanal. Buscando definir uma estrutura simples viável, capaz de imprimir materiais classificados como matéria mole, de modo que seja de uso para avanços tecnológicos na área da MA. Os métodos utilizados para verificação estrutural da impressora 3D e para os materiais utilizados se basearam em propriedades necessárias para que a impressão seja feita e em testes que verificam o resultado e a validação dos próprios materiais quando impressos. Os critérios de validação com base em materiais já utilizados na manufatura aditiva nos mostram quando um material é viável ou não, como o caso descartado do ágar-ágar e a possível validação do cimento junto a fibra de vidro chamado de cimento funcional.

PALAVRAS-CHAVE: Projeto estrutural. Materiais compostos. Cimento.

ABSTRACT

The Additive manufacturing (MA) was developed to facilitate work and manufacture of parts and tools, with a simple structure and based on the concept of adding layered 2D models. Today, additive manufacturing acts as the main tool for making everything from parts for structural engineering projects to orthosis structures in the health sector or miscellaneous in the artisanal sector. Seeking to define a simple viable structure, capable of printing materials classified as soft matter, so that it is of use for technological advances in the area of AM. The methods used for structural verification of the 3D printer and for the materials used were based on properties necessary for the printing to be made and on tests that verify the result and the validation of the materials themselves when printed. The validation criteria based on materials already used in additive manufacturing show us when a material is viable or not, such as the discarded case of agar and the possible validation of the cement with the fiberglass called functional cement.

KEYWORDS: Structural design. Composite materials. Cement.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva também conhecida popularmente por processo de impressão 3D, ou do inglês, *Additive Manufacturing* (AM) começou a ser pesquisada em 1984, e hoje é tratada como uma das vertentes de pesquisa e desenvolvimento da indústria 4.0 (MUNHOZ, 2017). O processo de manufatura aditiva é simples, com uma ótima eficiência e pode ser aproveitada em diversas áreas desde artísticas até nichos tecnológicos.

De modo simples, a manufatura aditiva caracteriza-se por ser um processo de fabricação com a frequente adição de material, utilizando modelos 2D em camadas impressos uma a uma e obtendo um resultado em 3D (MUNHOZ, 2017).

A viabilidade de custo e estrutura simplificada apresentada pelo processo da manufatura aditiva proporcionou o avanço de pesquisas com materiais diferentes dos materiais plásticos iniciais (NASCIMENTO, 2013; RILKO, 2017). Os materiais classificados como metálicos passaram a ser utilizados como material base de impressões possibilitando a confecções de peças mecânicas para a indústria.

Na última década, o desenvolvimento estrutural não se limitou em ser apenas um utilitário para confecção de peças e ferramentas industriais, assim, passou a ser aplicado como um meio de inovação tecnológica em pesquisas que tinham a finalidade de utilizar a manufatura aditiva junto de elementos compatíveis biologicamente e sendo aplicado em um meio gelatinoso (MUNHOZ, 2017; NASCIMENTO, 2013; LOEST, 2017). A ideia de produzir e adaptar um sistema mecanicamente capaz de ser um ambiente ou meio de impressão com possibilidade de trabalhar com materiais biológicos, tais como sintéticos de tecidos presentes no corpo humano já estão sendo testados em impressões que simulam a confecção de um organismo, porém, ainda sem funcionabilidade (ZAPAROLLI, 2019; VOLPATO, 2013).

Nas engenharias, determinadas áreas vêm se adequando e buscando meios de impactar com a utilização de sistemas mais econômico, ágeis e eficientes como a construção de moradias e estruturas de pontes através da impressão 3D (CORRÊA, 2016; GREGÓRIO, 2018).

MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da estrutura do extrusor da impressora foi definido e separado em 3 etapas, compostas da primeira fase definida pela seleção e elaboração estrutural da impressora 3D, a segunda pelo desenvolvimento de impressão em meio gelatinoso e neutro e pela terceira fase onde seria elaborado o desenvolvimento de impressão de cimento e possivelmente cimentos modificados.

Na primeira fase, a estrutura de impressora selecionada para ser confeccionada durante os testes e desenvolvimento da pesquisa foi o modelo Prusa mendel IT2, um modelo simples com estruturas de motores de passo movimentando a mesa de impressão no eixo Y e o cabeçote e a extrusora no eixo X e Z. Para testes e o desenvolvimento do projeto, a estrutura de cabeçote padrão foi desconsiderado para utilizar a estrutura com variação de cabeçote e extrusor

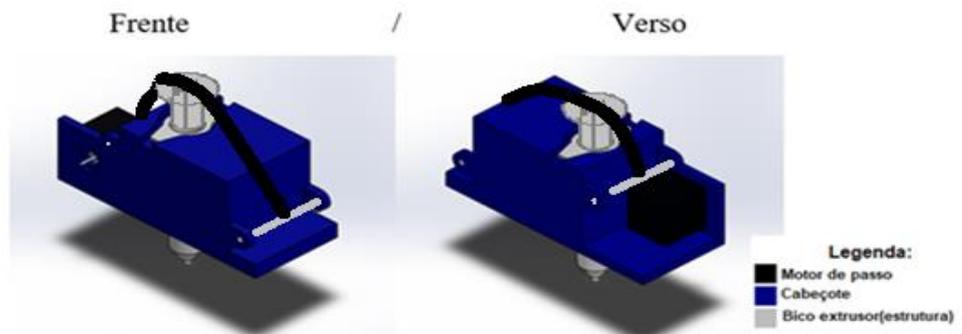
para as duas etapas seguintes, considerando o material de impressão (ZAPAROLLI, 2019, RAULINO, 2019).

O primeiro material cogitado para impressão foi o Ágar-Ágar como meio de impressão. Esta escolha foi motivada pelo objetivo de imprimir em um meio gelatinoso, onde esse material possa escoar facilmente e em seguida se solidifique, sendo próximo à ideia da manufatura aditiva mais comum, que utiliza materiais PLA (*polylactic acid*) e ABS (*acrylonitrile butadiene styrene*). O Ágar-Ágar por possuir características que possibilitem o manuseio de um meio gelatinoso compatível com o meio esperado teve grande prioridade em sua escolha (BERTASA, 2020). A grande vantagem de possuir um meio que se aproxime de um meio biológico sintético, possibilitaria uma possível aplicação da impressora para o manuseio de tecidos biológicos sintéticos.

Os testes em meio gelatinoso foram feitos com Ágar-Ágar, e foram testadas 5 composições diferentes para verificar qual a mais próxima do pretendido. As amostras foram preparadas com um intervalo de 50g, variando de 50g até 250g de Ágar-Ágar em 50ml de H₂O. O meio de 150g e 200g em 50ml de H₂O foram as composições com melhor resultado aparente apresentado inicialmente para servir como material gelatinoso por sua maior viscosidade. Na Figura 1 o primeiro modelo de cabeçote e bico extrusor utilizado para o processo de impressão de material gelatinoso está representado.

Utilizamos, no presente trabalho, o meio com composição de 300g de ágar-ágar para 50ml de H₂O como meio de impressão para imprimir matéria mole com a finalidade do material gelatinoso impresso se sustentar com o Ágar-Ágar mais denso até que solidifique.

Figura 1 – Cabeçote e bico extrusor para uso com material gelatinoso



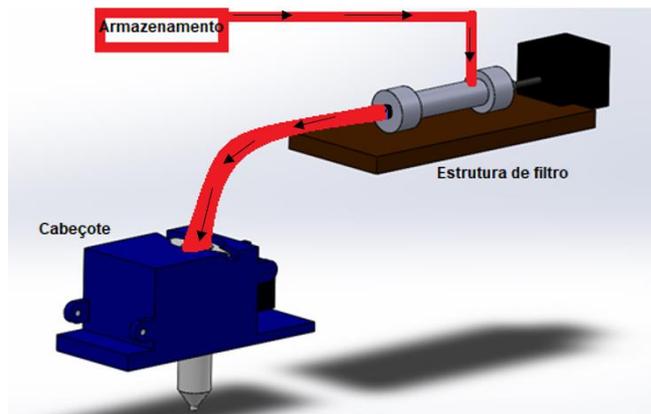
Fonte: Autoria própria (2020).

O primeiro problema apresentado ocorreu no bico de extrusão, que por possuir um diâmetro pequeno para a vazão do material, apresentou dificuldade de fluidez, ocasionando o entupimento do bico. Houve então a alteração estrutural de um bico feito com agulha hipodérmica com diâmetro 0,8 mm para um diâmetro 1,2 mm, ambas realizadas com agulhas com pontas não perfurantes.

O segundo problema apresentado desta estrutura se obteve pelo uso do embolo da seringa, limitando o material, assim, o sistema foi alterado conforme a figura 2 utilizando um sistema onde o material é depositado em uma caixa de

armazenamento e de lá é transportado por um tubo e um filtro para que o material não se solidifique no caminho até chegar no cabeçote para extrusão.

Figura 2 – Sistema inicial completo de impressão



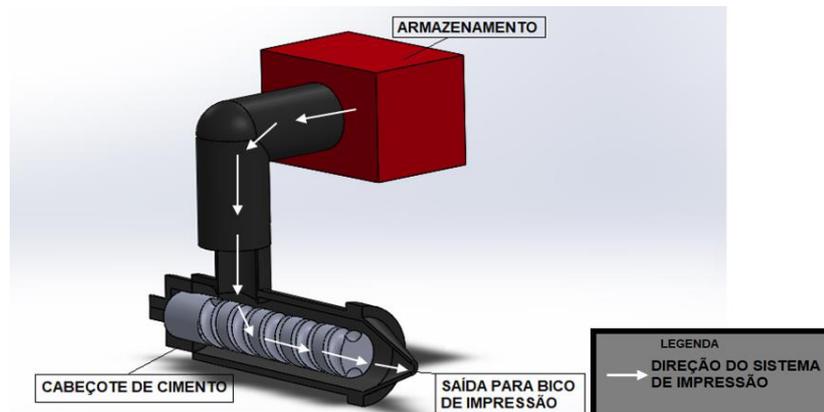
Fonte: Autoria própria (2020).

O cimento foi cotado para ser o material seguinte de testes devido ao fato de ser um material de fácil acesso, por possuir propriedades características estruturais simples com uma grande funcionalidade na construção civil (CORRÊA, 2016; GREGÓRIO, 2018). Hoje temos empresas utilizando o cimento comum como material de impressão de casas simples, tornando moradias mais viáveis, considerando o custo e o tempo de confecção. Assim, o cimento seria facilmente testado como material de impressão, bem como os cimentos funcionais.

Esse cimento funcional, partiria do cimento comum com a adição de materiais capazes de melhorar estruturalmente a residência impressa, até mesmo simular o sistema elétrico residencial, diminuindo o uso de fios, buscando a inovação em termos elétricos. Estudos mostraram que o cimento em adição à fibra de vidro seria possivelmente um ótimo material junto ao cimento comum para impressão de uma casa funcional, por alterar estruturalmente o cimento comum, a fibra de vidro seria testada para auxiliar propriedades mecânicas ligadas a resistência. Assim, seria realizado o teste com os dois cimentos para os testes finais (PEREIRA, 2019; BONIFÁCIO, 2015).

A impressão com cimento foi inicialmente tratada com a mesma estrutura utilizada para a impressão com matéria gelatinosa, porém, com o cimento sendo material base de impressão, ele exigiu uma estrutura mais robusta, que fosse capaz de imprimir o cimento sem causar problemas para a estrutura, apresentado na figura 3.

Figura 3 – Sistema interno cabeçote para impressão 3D de cimento

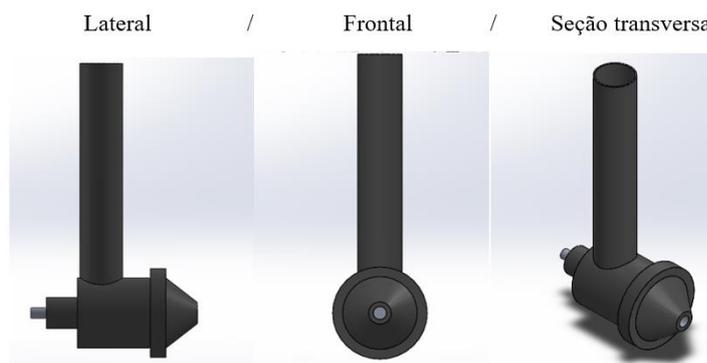


Fonte: Autoria própria (2020).

Com um armazenamento externo em relação a estrutura, o cimento se deslocaria através da força de um pistão interno no sistema de armazenamento empurrando o cimento, levando-o através de um tubo até chegar em um compartimento que continua forçando o cimento a continuar seu trajeto com o trabalho de uma broca e assim sendo impresso.

Esse sistema necessitou de mudanças pela baixa eficiência em seu armazenamento e reposição de material ao longo do processo. A relação estrutural modificada e está apresentada na Figura 4. Buscando não utilizar um sistema de armazenamento limitado, este sistema induziu a utilização de uma estrutura de fácil reposição de material. Utilizando da energia potencial influenciada pela gravidade, o cimento seria impulsionado até o mecanismo do cabeçote adaptado de impressão.

Figura 4 – Cabeçote adaptado para sistema aberto de armazenamento



Fonte: Autoria própria (2020).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

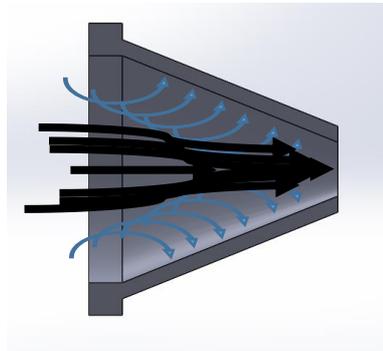
A vantagem do processo com ágar-ágar, de ser simples e com rápida montagem ao mesmo tempo se mostrou ineficiente devido ao próprio meio base de impressão de Ágar-Ágar. O material demonstrou um efeito que mesmo em temperatura ambiente de 20°C, demonstrou um efeito não cogitado solidificando somente sua superfície, assim, quando era realizado o teste de impressão, o ágar

em estado sólido se rompia e misturava com o meio líquido, não possibilitando uma impressão 3D eficiente.

Com o cabeçote de cimento que utiliza da energia potencial para empurrar o cimento para a impressão, este processo passou a ser rentável em relação a estrutura anterior, porém, ao longo da impressão este processo passou a apresentar problemas, que se caracterizaram na saída do cabeçote onde ao invés de imprimir cimento, passou a expelir pouco cimento seguido somente de água e em seguida, a paralisação de qualquer fluido mesmo com o equipamento ligado.

O problema identificado ao desmontar a estrutura do cabeçote e bico foi o emplastamento do cimento nas superfícies próximo à saída do cabeçote. Este efeito foi provocado pela constante compressão do cimento contra as paredes do cabeçote, como apresentado pela fluidez do material na saída do cabeçote na Figura 5.

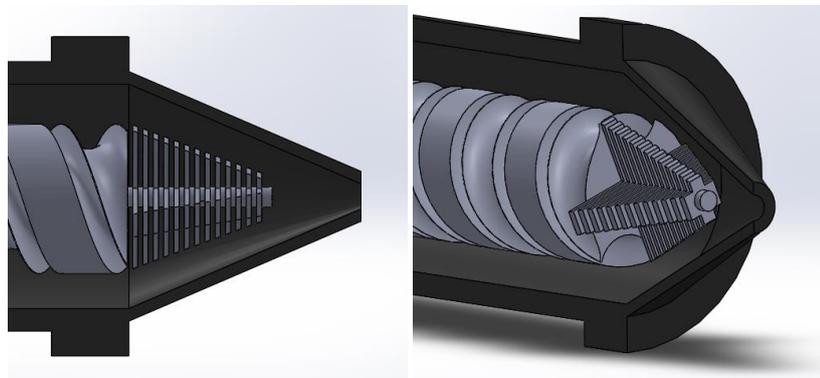
Figura 5 – Efeito de emplastamento ocorrido no cabeçote



Fonte: Autoria própria (2020).

Conhecendo o possível problema inicial do cabeçote, o parafuso interno foi modificado para em sua extensão possuir um mecanismo capaz de movimentar o material que seria comprimido contra as paredes do cabeçote, agora movimentando o material para manter a essência do mesmo até a sua impressão. Estas alterações estão representadas na Figura 6.

Figura 6 – Solução estrutural para o cabeçote



Fonte: Autoria própria (2020).

Com os problemas do emplastamento e sistemas corrigidos, a ideia seguinte baseou-se no teste final de impressão de figuras testes a fim de validar a eficiência e precisão da impressão 3D de cimento.

CONCLUSÕES

Os testes realizados com o ágar-ágar apontam que para a composição do material utilizada a estrutura e se mostrou pouco viável para utilização de meios de impressão deste material. Possivelmente, alguma propriedade não considerada do material acabou implicando na não validação do ágar-ágar. A mudança de material ocorreu dos problemas recorrentes de manipulação de materiais gelatinosos e buscando atender a evolução da manufatura aditiva de soft-matter. O cimento se mostrou muito eficaz considerando seu manuseio e adaptação na estrutura. Os resultados de impressão dos testes iniciais foram positivos e se mostraram com grande precisão desde seu estado de matéria mole até se tornar um meio rígido. Como relatado, pelo motivo da pandemia da COVID-19 a paralisação implicou a falta de conclusão de testes ao modificar a estrutura e validar a eficiência final do cimento com testes em outras composições, assim, o resultado desta pesquisa se tornou parcial

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Rozane, Romeu e Vinícius que possibilitaram este meu desenvolvimento e me auxiliaram durante todo projeto. Também sou grato aos órgãos de fomento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Ponta Grossa e a Fundação Araucária.

REFERÊNCIAS

BERTASA, Moira et al. **Agar gel strength: A correlation study between chemical composition and rheological properties**. European Polymer Journal, v. 123, p. 109442, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305719321779>. Acesso em: 19 Jul. de 2020.

BONIFÁCIO, Jéssica Spricigo da Rocha. **Estudo do efeito das fibras de vidro e polipropileno nas propriedades mecânicas do concreto**. 2015. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/3028/1/J%C3%A9ssicaSpricigoRochaBonif%C3%A1cio.pdf>. Acesso em: 14 Jul. de 2020.

CORRÊA, Lorena Tameirão de Moura. **Manufatura aditiva como princípio de solução para industrialização construção civil**. 2016. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15954/1/2016_LorenaTameiraoDeMouraCorrea_tcc.pdf. Acesso em: 17 Jun. de 2020.

GREGÓRIO, Prof. Esp. Jorge Luís. Fatec Jales, 2018. **Impressoras 3D irão revolucionar o setor da construção civil**. Disponível em: <http://www.fatecjales.edu.br/publicacoes/fatecnologia/423-impressoras-3d-irao-revolucionar-o-setor-da-construcao-civil>. Acesso em: 03 Ago. de 2020.

LOEST, Marcos Raymundo. AECIC, 2017. **Manufatura Aditiva na Produção Industrial – Faz Sentido?**. Disponível em: <http://www.aecic.org.br/espaco-isae->

[de-inovacao/manufatura-aditiva-na-producao-industrial-faz-sentido/](#). Acesso em: 06 Ago. de 2020.

MUNHOZ, André Luiz. et al. **Manufatura** aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D. 1ª Edição. Editora Edgard Blücher Ltda, 2017. p. 15-65.

NASCIMENTO, Allan Andre do. **Tendências tecnológicas em prototipagem rápida e manufatura aditiva**. 2013. Disponível em:

<https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/11495/1/monopoli10008740.pdf>.

Acesso em: 12 Jul. de 2020.

PEREIRA, Jefferson Ricardo et al. **Push-out bond strength of fiberglass posts cemented with adhesive and self-adhesive resin cements according to the root canal surface**. The Saudi Dental Journal, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1013905219309277>. Acesso

em: 16 Jul. de 2020.

RAULINO, Bruno Ribeiro. **Manufatura aditiva: desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (modelagem por fusão e deposição)**. 2011. Disponível em:

[https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15472/1/2011_BrunoRibeiroRaulino_tcc.p](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15472/1/2011_BrunoRibeiroRaulino_tcc.pdf)

[df](https://bdm.unb.br/bitstream/10483/15472/1/2011_BrunoRibeiroRaulino_tcc.pdf). Acesso em: 12 Jul. de 2020.

RILKO, Jéssica Crauss; DOS SANTOS, Marcelo Augusto Rozan. **Manufatura Aditiva Aplicada ao Ensino de Engenharia Mecânica**. 2017. Disponível em:

<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/J%C3%89SSICA%20CRAUSS%20RILKO.pdf>. Acesso em: 07 Jun. de 2020.

VOLPATO, Neri; COSTA, Carlos Alberto. **Competências e recursos da Rede de Manufatura Aditiva (RMA) no Brasil**. In: Itatiaia: Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânica, 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. 2013. Disponível em:

<http://www.swge.inf.br/siteCOBEF2013/anais/PDFS/COBEF2013-0287.PDF>.

Acesso em: 17 Jul. de 2020.

ZAPAROLLI, Domingos. **O avanço da impressão 3D**. Pesquisa FAPESP, Ed. 276, disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/o-avanco-da-impressao-3d/>.

Fev. de 2019. Acesso em: 03 Ago. de 2020.