

EXPLORANDO OS CONCEITOS MATEMÁTICOS NO PROCESSO DE IMPRESSÃO 3D

ARTICLE TEMPLATE WITH THE FORMATTING TO BE FOLLOWED

Carmen Vieira Mathias¹, Fernando Mariano Bayer², Andressa Paula Wrzesinski³, Quendra Silva Cartier Larangeira⁴

Recebido: abril/2025 - Aprovado: julho/2026

RESUMO: O artigo, de caráter bibliográfico, explora e descreve os conceitos matemáticos aplicados durante o processo de impressão 3D, com o intuito de promover uma abordagem mais prática e integrada no ensino da Matemática. Inicia-se com um olhar simplificado aos processos de impressão 3D, destacando a importância do Teorema de Fubini que estabelece a base para entender como as técnicas de manufatura aditiva são aplicadas. Seguindo, explora-se os principais conceitos matemáticos relacionados à impressão 3D, começando pelas coordenadas cartesianas, que são fundamentais para a definição da posição e a construção dos modelos digitais. Em seguida, aborda-se a triangulação de superfícies, crucial para a representação e o detalhamento das formas tridimensionais. A orientação das superfícies é discutida, com foco nos conceitos de vetor normal e produto vetorial, importantes para garantir a orientação correta das faces do objeto, no momento da impressão. Também são abordados os conceitos de áreas e volumes, fundamentais para determinar a quantidade de filamento utilizado. Ao integrar esses conceitos matemáticos com o processo de impressão 3D, busca-se destacar como a Matemática pode ser aplicada de maneira prática e relevante no cotidiano, o que pode despertar o interesse dos alunos pela disciplina e mostrando a sua utilidade em contextos tecnológicos reais.

PALAVRAS-CHAVE: conceitos matemáticos. impressora 3d. manufatura aditiva. aplicações.

ABSTRACT: The article, resulting from a bibliographical survey, explores and describes the mathematical concepts applied during the 3D printing process, aiming to promote a more practical and integrated approach to teaching mathematics. It begins with a simplified overview of 3D printing processes, highlighting the importance of Fubini's Theorem, which provides a foundation for understanding how additive manufacturing techniques are applied. This is followed by an exploration of the main mathematical concepts

- 1 <https://orcid.org/0000-0001-5667-159X> - Doutora em Matemática (UFRGS). Professora Associada (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Av. Roraima, 1000, P. 13 – sala 1218A, Camobi, CEP 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: carmen@ufsm.br
- 2 <https://orcid.org/0000-0002-2064-4749> - Doutora em Engenharia Agrícola (UFSM). Professora Associada (UFSM), Santa Maria, RS, Brasil. Av. Roraima, 1000, CTISM, Camobi, CEP 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: bayer.ctism@gmail.com
- 3 <https://orcid.org/0000-0002-2082-0482> - Licenciada em Matemática (UFSM). Professora da rede Municipal de ensino, Getúlio Vargas, RS. Av. Roraima, 1000, CTISM, Camobi, CEP 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: andressa.wrzesinski@outlook.com
- 4 <https://orcid.org/0000-0002-2082-0482> - Licenciada em Matemática (UFSM). Aluna do Programa de Pós-graduação em Educação Ciências (UFSM). Av. Roraima, 1000, CTISM, Camobi, CEP 97105-900. Santa Maria, RS, Brasil. E-mail: quendra.larangeira@acad.ufsm.br





related to 3D printing, starting with Cartesian coordinates, which are fundamental for defining the position and construction of digital models. The discussion then moves to surface triangulation, crucial for representing and detailing three-dimensional shapes. The orientation of surfaces is examined, focusing on the concepts of normal vector and vector product, which are essential for ensuring the correct orientation of the object's faces during printing. Additionally, the concepts of areas and volumes are covered, which are fundamental for determining the amount of filament used. By integrating these mathematical concepts with the 3D printing process, the article aims to highlight how mathematics can be applied in a practical and relevant way in everyday life, potentially increasing students' interest in the subject and demonstrating its usefulness in real technological contexts

KEYWORDS: mathematical concepts, 3d printer, additive manufacturing, applications.

Introdução

O termo “impressão 3D” atualmente engloba uma série de técnicas de manufatura aditiva, que envolvem o uso de equipamentos capazes de fabricar objetos através da adição de material, geralmente camada por camada, a partir de um modelo digital desenvolvido por modelagem computacional. Esses métodos de fabricação contrastam com os métodos tradicionais, nos quais o objeto é obtido por meio da remoção de material, como corte, furação e usinagem (Rodrigues *et al.*, 2017).

O processo de fabricação de um objeto tridimensional (ou impresso em 3D) envolve duas etapas conceituais distintas: o projeto e a impressão. O projeto consiste em uma ideia que deve ser desenvolvida para criar um produto digital, ou seja, um arquivo de computador que contenha uma representação numérica do objeto a ser construído. A impressão propriamente dita é o processo pelo qual essa representação numérica é transformada em comandos que serão interpretados pela impressora, resultando na criação do objeto com as características pré-determinadas. Por muito tempo, o custo para imprimir objetos limitou seu uso a laboratórios de pesquisa. No entanto, com o surgimento das impressoras 3D no mercado comercial (Ranellucci, 2013), essa tecnologia tem sido amplamente adotada e utilizada.

Na área de ensino e aprendizagem, o desenvolvimento de aulas utilizando impressão 3D seguiu caminhos pedagógicos diversos, como cita Guadagnini (2026). Nesse contexto, Novak *et al.* (2021) destaca alguns focos principais: a possibilidade de preparar uma nova geração de engenheiros; a democratização da tecnologia e a produção de objetos impressos; o apoio ao ensino e à aprendizagem por meio de recursos impressos em 3D de baixo custo; e a produção de tecnologias assistivas. A tecnologia de fabricação 3D tem o potencial de impactar indivíduos e aplicações, desde que as pessoas possuam conhecimento sobre os procedimentos envolvidos. Ela é uma das tecnologias digitais emergentes nos contextos educacionais. Como afirma Loss *et al.* (2020), o uso pedagógico dessas tecnologias pode oferecer estratégias de ensino diferenciadas, permitindo ao professor mediar o conhecimento e ao estudante explorar e imergir em um ambiente educacional de aprendizagem.



Embora os conceitos de projeto e impressão estejam interligados, muitos aspectos das aulas que utilizam impressão 3D concentram-se principalmente no processo de impressão. No ensino de Matemática, Ford e Minshall (2017) apresentam uma revisão da literatura sobre como e onde a impressão 3D tem sido utilizada. Os autores observaram que a grande maioria usou a tecnologia para criar objetos com fins de demonstração, e apenas um pequeno número envolveu os alunos no processo.

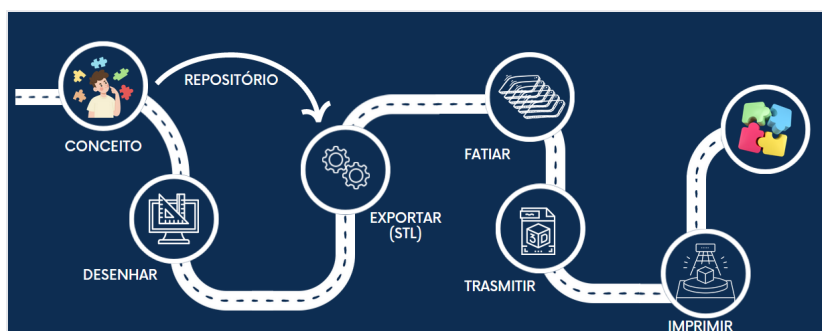
É evidente a necessidade de intensificar as iniciativas para envolver os alunos na impressão 3D, a fim de explorar completamente essa tecnologia e enriquecer a aprendizagem de forma mais abrangente e diversificada. Embora a tecnologia de impressão 3D possa servir como uma ferramenta educacional, é importante que os estudantes não se limitem a apenas observar a peça impressa. É fundamental que os alunos participem da produção dos objetos, engajando-se em todos os processos e compreendendo os conceitos matemáticos envolvidos desde a construção até a impressão final.

Neste cenário, o objetivo do artigo é explorar e descrever os conceitos matemáticos aplicados durante o processo de impressão 3D, promovendo uma abordagem mais prática e integrada no ensino da Matemática. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica, que, conforme esclarece Pizzani *et al.* (2012), “é uma revisão da literatura sobre as principais teorias que norteiam o trabalho científico”. Assim, as fontes de informação utilizadas foram artigos científicos e livros que tratam do tema em questão. A seguir, apresentam-se alguns detalhes dos processos de impressão 3D, descrevem-se os conceitos matemáticos envolvidos e são feitas as considerações finais.

Sobre os processos de impressão

A tecnologia de fabricação digital, também conhecida como impressão 3D ou tecnologia de manufatura aditiva (TMA), cria objetos físicos a partir de uma representação geométrica por meio da adição sucessiva de materiais. Conforme Gibson *et al.* (2021), a TMA envolve uma série de etapas que vão desde a criação da peça em softwares, geralmente do tipo CAD (*Computer Aided Design*), até a obtenção da peça física resultante. O grau de complexidade envolvido na fabricação depende do tipo de produto final. No entanto, em geral, a maioria dos processos de TMA envolve sete etapas, conforme ilustra a Figura 1.

Figura 1 – Etapas dos processos de impressão.



Fonte: Sistematizado pelos autores com o auxílio do Aplicativo Canva)



A primeira etapa envolve o desenho do objeto, ou seja, é necessário possuir ou criar uma versão virtual do objeto que se pretende imprimir. O modelo pode ser obtido de um repositório ou gerado em softwares e aplicativos de modelagem 3D, como *SolidWorks* ou *Tinkercad*, por exemplo. Após a construção ou escolha do modelo, ele deve ser exportado para o formato .STL. O arquivo .STL descreve apenas a geometria da superfície do objeto, sem incluir outras propriedades. No entanto, os dados contidos nesse arquivo permitem a comunicação entre o programa de modelagem 3D e a impressora 3D (Fischer; Lee; Sullivan, 2020).

Para que outras propriedades, como a quantidade de material e o tempo de impressão, sejam informadas, o arquivo .STL deve ser aberto em um software fatiador (*slicer*). A função do *slicer* é converter o referido arquivo para a linguagem da impressora (*G-code* ou código G) e fatiar o modelo em camadas. Ou seja, o arquivo .gcode contém toda a sequência de movimentos, codificados como coordenadas cartesianas dos pontos em que a impressora deve depositar o material para obter o objeto físico final desejado. Segundo Gibson *et al.* (2021), essa etapa é fundamental, pois nela são definidas as propriedades relacionadas à impressão.

Em seguida, o arquivo deve ser transferido para a impressora. Existem diferentes formas de realizar esse processo, como transmissão via Wi-Fi, Bluetooth ou diretamente através da porta USB, sendo a mais comum o uso de cartões de memória. A fase seguinte do processo é a impressão propriamente dita. Após transferir o arquivo para a máquina, a impressora inicia a preparação para a impressão da peça. Isso inclui o aquecimento do material a ser utilizado, além do aquecimento da máquina (bico de extrusão e mesa de impressão).

Mesmo alguns usuários mais experientes não têm ideia dos princípios matemáticos que possibilitam a impressão 3D. Esse fato nos desafia a refletir sobre como foi possível projetar uma impressora capaz de derreter materiais plásticos e, em seguida, fundir camadas desse material derretido para criar um objeto sólido. Conforme Anastasiou *et al.* (2013), todo esse processo não seria viável sem o trabalho do matemático italiano Guido Fubini (1879-1943), que contribuiu em diversas áreas da matemática, incluindo Análise, Cálculo Variacional e Teoria de Grupos. No entanto, ele é mais lembrado pelo teorema que leva seu nome, frequentemente abordado em disciplinas de Cálculo nos cursos das áreas de Ciências Exatas e Engenharia.

Teorema de Fubini: A integral dupla de uma função contínua $f(x, y)$ em um retângulo $R = [a, b] \times [c, d]$ é igual à integral iterada (e, qualquer ordem).

$$\iint_R f(x, y) dA = \int \int f(x, y) dy dx = \int \int f(x, y) dx dy.$$

(Rogawski; Adams, 2018, p.823).

Ou seja, o Teorema de Fubini afirma que qualquer objeto de dimensões pode ser representado como uma aglomeração de formas com dimensões. Isso significa que uma forma tridimensional pode ser retratada como camadas de formas bidimensionais. Na tecnologia de impressão 3D, isso significa que somos capazes de expressar qualquer objeto 3D como camadas de planos 2D.

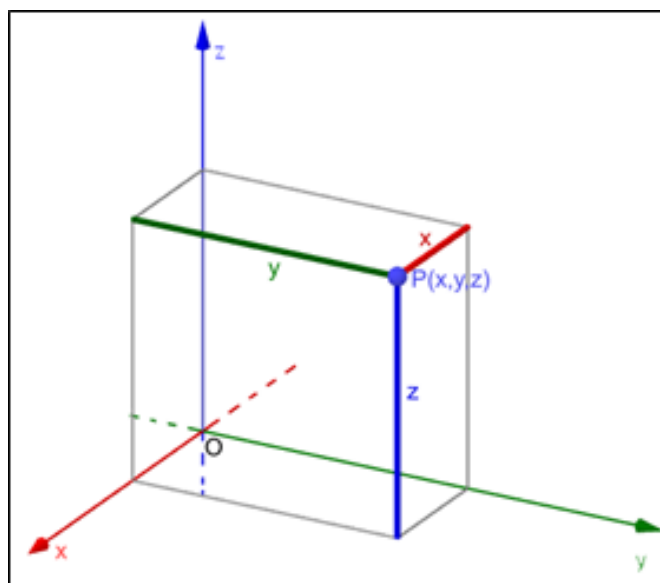


Para além do referido teorema, ao trabalharmos com TMA, observamos que os conceitos matemáticos estão presentes em todas as etapas, desde a construção do objeto até a geração do arquivo G-code. Esses conceitos envolvem tridimensionalidade, coordenadas cartesianas, triangulação, vetores, entre outros. Na próxima seção, serão detalhadas as situações em que tais conceitos são utilizados no processo de impressão 3D.

Os conceitos

O primeiro conceito matemático a ser considerado em uma impressora 3D é a tridimensionalidade do espaço. A maioria das impressoras 3D que utiliza a deposição de material fundido opera com base no sistema de coordenadas cartesianas. Em matemática, a posição de um ponto no espaço é descrita fornecendo sua localização em relação a três eixos de coordenadas perpendiculares entre si, que se interceptam na origem O . Assim, um ponto P no espaço tem coordenadas cartesianas retangulares x , y e z , que representam, respectivamente, as distâncias dos planos yz , xz e xy , conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – O ponto e suas coordenada.

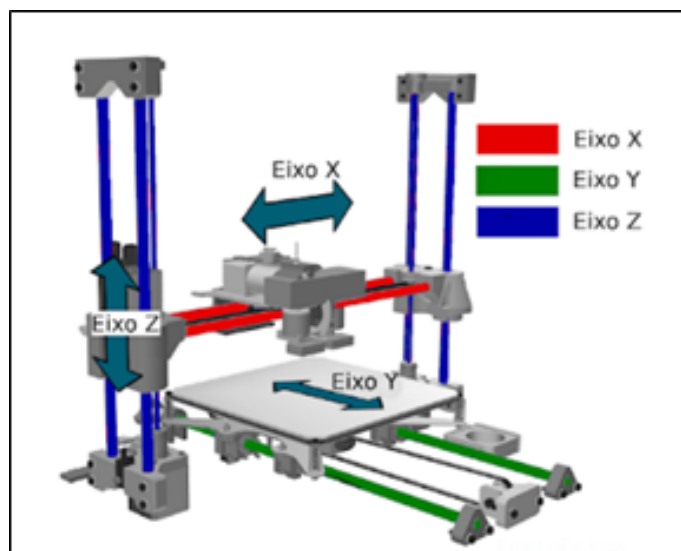


Fonte: Sistematizado pelos autores com o auxílio do Aplicativo GeoGebra)

Ou seja, no sistema de coordenadas cartesianas, um ponto é localizado usando as distâncias em relação aos planos formados pelos eixos x , y e z . A Figura 3 ilustra o esqueleto de uma impressora 3D do tipo cartesiana, detalhando os suportes de movimentação.



Figura 3 – Impressora do tipo cartesiana e os eixos coordenadas.

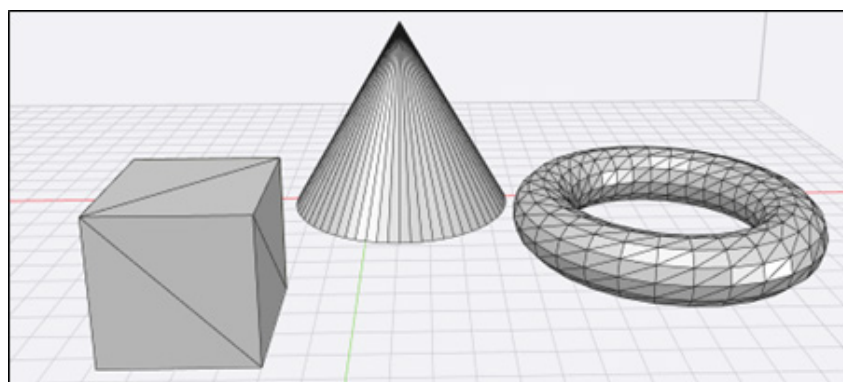


Fonte: Neto, 2018).

Nesse tipo de impressora, o movimento necessário para a impressão da peça envolve a movimentação tanto do cabeçote de impressão quanto da mesa de impressão. Em geral, o eixo y move a mesa da impressora para frente e para trás; o eixo x move o cabeçote (dispositivo por onde flui o filamento plástico) para a direita e para a esquerda; e o eixo z move o cabeçote para cima e para baixo. Assim, os movimentos dos eixos x e y criam a forma e os limites laterais do objeto, enquanto o movimento do eixo z cria as camadas que conferem altura à impressão (Shaik; Schuster; Shaik, 2020).

O segundo conceito a ser observado é o de triangulação de uma superfície, que, conforme Szilvsi-Nagy e Mátyási (2003), inclui um conjunto finito de triângulos que satisfazem as seguintes condições: (i) cada aresta é compartilhada por no máximo dois triângulos; (ii) um vértice pode ser compartilhado por qualquer número de triângulos; (iii) cada triângulo tem pelo menos um ponto em comum com outro triângulo; (iv) se um vértice é compartilhado por um segundo triângulo, então também é um vértice desse segundo triângulo; e (v) nenhum triângulo se intersecta com o interior de outros triângulos (não há sobreposição ou lacunas). A Figura 4 ilustra a triangulação das superfícies de um cubo, um cone e um toro.

Figura 4 – Triangulação de superfícies.

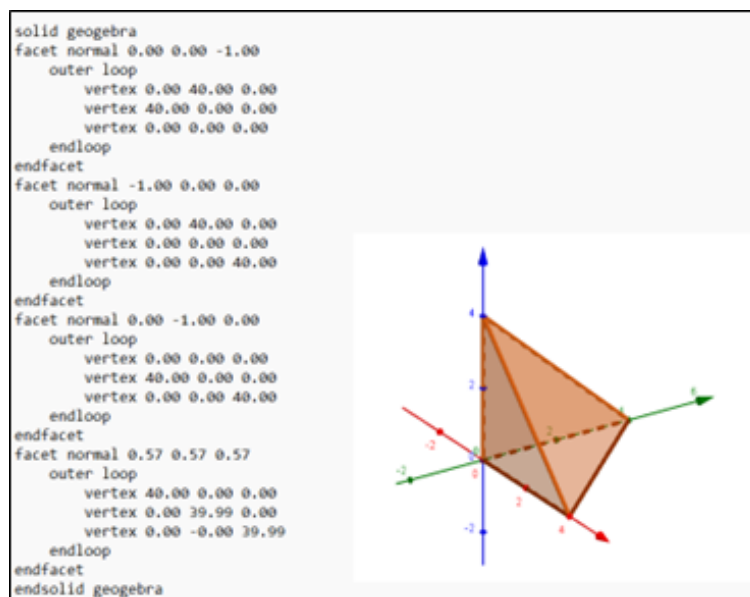


Fonte: Sistematizado pelos autores com o auxílio do software IdeaMaker)



Observa-se que a triangulação da superfície é um elemento chave na constituição de um arquivo .STL, pois ele consiste em uma lista de dados que indica as facetas triangulares que definem a superfície de um objeto tridimensional. Cada faceta é identificada exclusivamente por um vetor normal unitário e por três vértices (HU, 2017). A Figura 5 ilustra a organização de um arquivo .STL que descreve a estrutura de uma pirâmide triangular em ângulo reto.

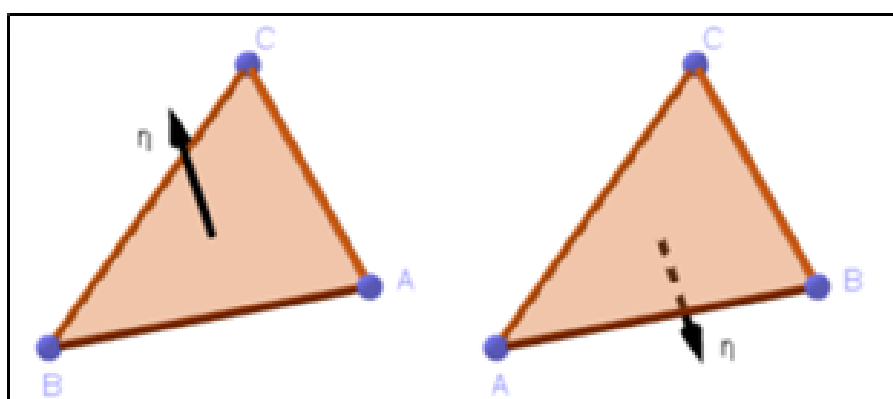
Figura 5 – Coordenadas de um arquivo .STL.



Fonte: Sistematizado pelos autores com o auxílio do aplicativo GeoGebra)

Conforme ilustrado na figura, o arquivo inicia com o nome do objeto, delimitado como um sólido, seguido pela denominação do software em que foi produzido. A normal e cada vértice são especificados por três coordenadas, resultando em um total de doze números armazenados para cada faceta. Cada faceta faz parte do limite entre o interior e o exterior do objeto. A orientação de uma faceta, como ilustrado na Figura 6, é determinada pela direção do vetor normal ($\vec{n}$) e pela ordem em que os vértices (A, B e C) do triângulo são listados.

Figura 6 – Direção do vetor normal com base na regra da mão direita.



Fonte: Sistematizado pelos autores com o auxílio do aplicativo GeoGebra)

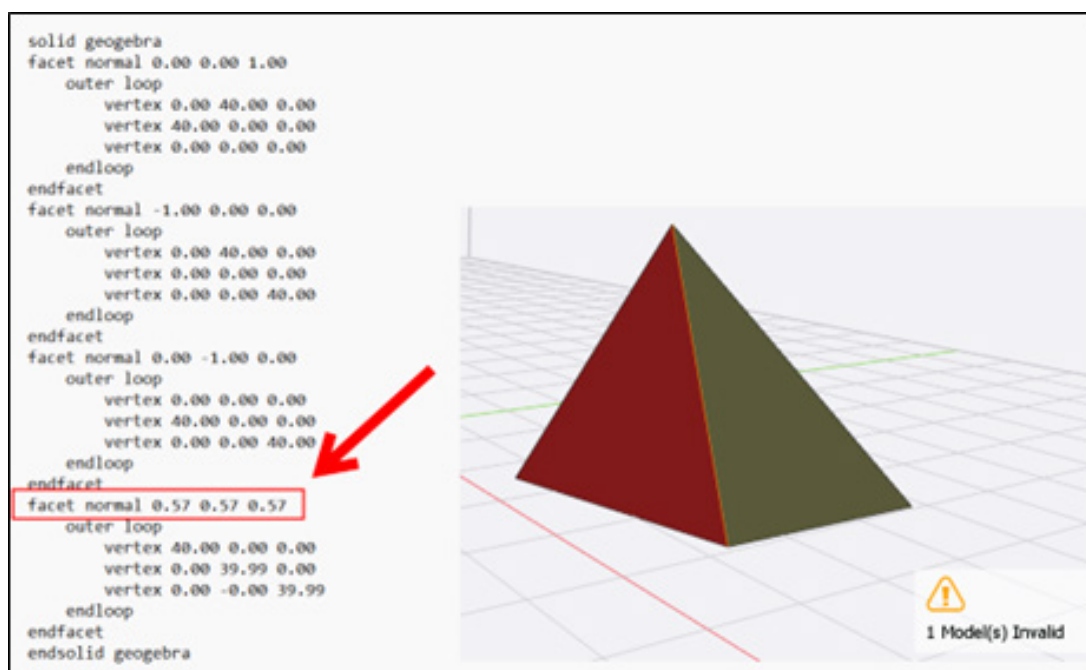


Na figura à esquerda, a direção da normal é externa. À direita, os vértices são listados no sentido anti-horário ao olhar para o objeto (regra da mão direita). Este é o terceiro conceito matemático envolvido na impressão 3D: o produto vetorial.

Considerando os vetores $\vec{u} = \overrightarrow{CB}$ e $\vec{v} = \overrightarrow{CA}$, o vetor normal unitário é dado por $\vec{n} = \frac{\vec{u} \times \vec{v}}{\|\vec{u} \times \vec{v}\|}$. Ou seja, essa é uma aplicação direta dos conceitos estudados em cursos de Geometria Analítica e Álgebra Linear.

Para os arquivos .STL, a orientação dos triângulos é fundamental para garantir uma impressão correta. Como o arquivo .STL consiste basicamente em triângulos, todos devem estar voltados para fora (ou seja, com os vetores normais apontando para fora) e não devem se sobrepor. Caso contrário, isso pode resultar em falhas na impressão ou em superfícies irregulares. A Figura 7 ilustra a estrutura do arquivo .STL da pirâmide triangular mencionada anteriormente, mostrando uma alteração em um vetor normal e a indicação de erro (faceta verde) no software fatiador.

Figura 7 – Arquivo com erro de impressão.

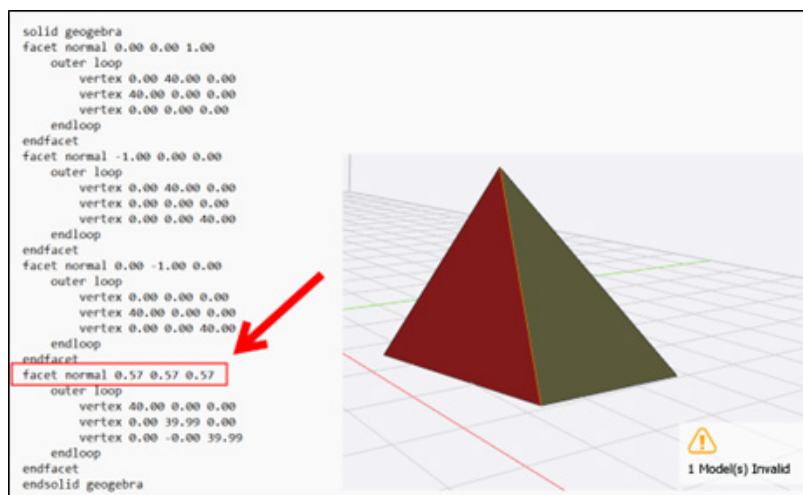


Fonte: Sistematizado pelos autores com o auxílio do software IdeaMaker)

Conforme detalhado na seção anterior, o processo de manufatura aditiva é composto principalmente de três fases. A primeira fase envolve o uso de software CAD para criar um modelo 3D. A segunda fase inclui o fatiamento das superfícies trianguladas e a geração do caminho da ferramenta para cada camada, representado pelos códigos G. A etapa final é a fabricação da peça física, que depende da impressora 3D. Assim, ao utilizar um software de fatiamento para converter o arquivo .STL em um arquivo .gcode, realiza-se a transformação do caminho da ferramenta em dados que a máquina compreende, gerando as informações necessárias para que a impressora saiba como e onde depositar, ou em termos técnicos, extrudar o material. A Figura 8 ilustra a estrutura de um arquivo .gcode.



Figura 8 –Estrutura de um arquivo .gcode.

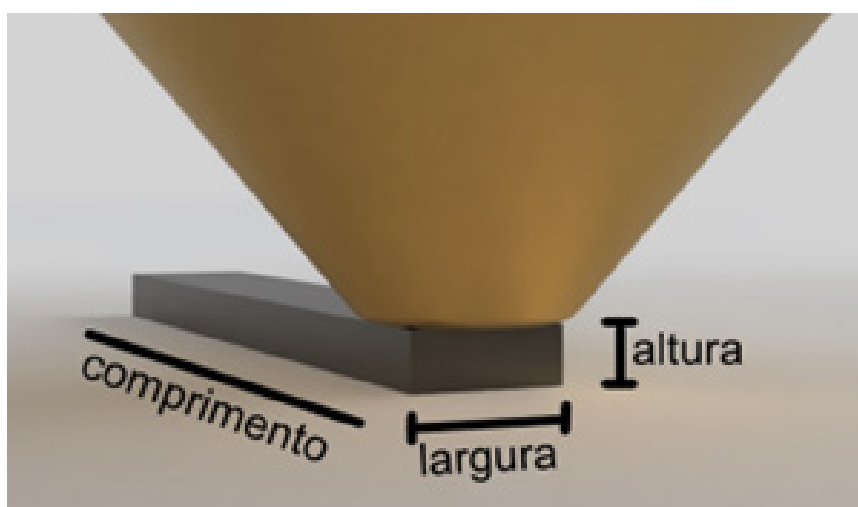


Fonte: Adaptado de Gao et al., 2018).

Observa-se que a linguagem apresentada no arquivo é composta por vários parâmetros, e as letras X, Y e Z referem-se aos três eixos da impressora 3D, determinando as coordenadas. Dessa forma, qualquer valor de X maior que zero move o cabeçote de impressão para a direita, qualquer valor de Y maior que zero move o cabeçote para trás e qualquer valor de Z maior que zero move o cabeçote para cima (GAO *et al.*, 2018). Por outro lado, a letra G refere-se à velocidade com que o bico se move (indicada em mm/minuto), enquanto a letra E se refere ao comprimento do filamento (indicado em mm).

Compreendendo a estrutura do arquivo .gcode, é possível identificar um quarto conceito matemático: o volume do material depositado, ou seja, a vazão volumétrica do bico da impressora 3D. Para determinar esse volume, são necessárias três informações: o comprimento da extrusão, a altura da camada e o diâmetro do filamento, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Deposição do filamento.



Fonte: Adaptado de Yougitech, 2023)



Todos esses dados são fornecidos no arquivo G-code, mas é possível aproximar o comprimento do filamento, conhecendo as coordenadas dos pontos iniciais e finais onde o filamento é depositado. Ou seja, considerando os pontos $P(x_0, y_0)$ e $Q(x_1, y_1)$, a distância entre eles dada por:

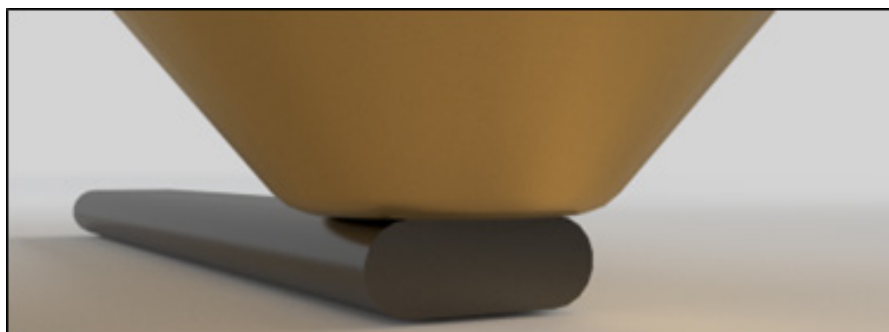
$$d(P, Q) = \sqrt{(x_1 - x_0)^2 + (y_1 - y_0)^2}.$$

Essa é a aproximação procurada. Na sua forma mais simples, a vazão volumétrica do bico em um determinado caminho de impressão é dada por:

$$V = \text{Comprimento} \times \text{Largura} \times \text{Altura}.$$

Observa-se que a largura é sempre o diâmetro do bico extrusor. No entanto, o filamento não é extrudado na forma de um bloco retangular, como sugerido. Como a borda do bico tem formato circular, o filamento depositado na mesa possui o formato de um cilindro achatado, como ilustrado na Figura 10.

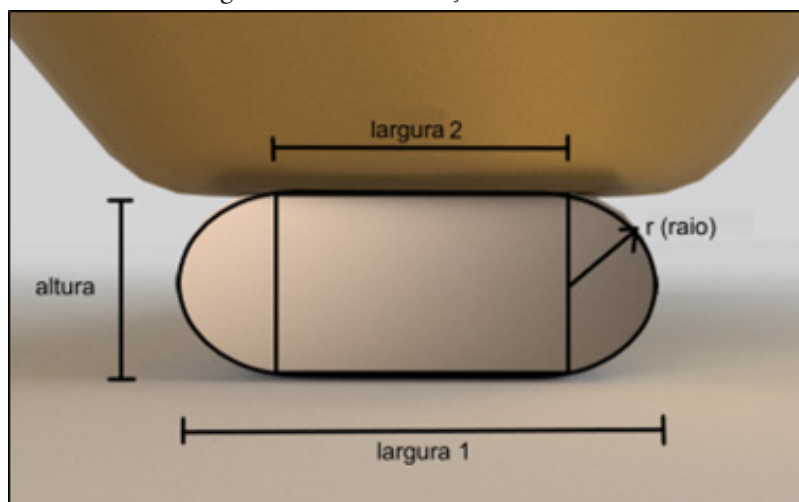
Figura 10 – Bico extrusor.



Fonte: Adaptado de Yougitech, 2023)

Logo, para determinar com maior precisão a vazão, é necessário levar em consideração a borda arredondada do material extrudado e calcular a área da seção transversal, conforme ilustrado na Figura 11.

Figura 10 – Área da seção transversal.



Fonte: Adaptado de Yougitech, 2023)



Observa-se que, nesse caso, a diferença entre as larguras é o raio dos semicírculos e a altura é o diâmetro desses semicírculos. Portanto, a área da seção é dada por:

$$\text{Área da seção} = \pi r^2 + 2r(\text{largura } 2)$$

Assim, um volume mais preciso será dado por:

$$V = \text{área da seção} \times \text{comprimento}.$$

Adicionalmente, é fundamental mencionar que a coordenada E corresponde à movimentação do motor da extrusora da impressora 3D. Nesse caso, a extrusão pode ser calculada por meio de um balanço de massa, considerando o cabeçote da impressora como o volume de controle. Para isso, a variação do diâmetro do filamento depositado durante o processo de impressão pode ser desconsiderada. Assim, o cálculo do material depositado para cada linha que compõe a trajetória pode ser feito em função das coordenadas em cada camada.

Considerações

O objetivo deste artigo foi explorar e descrever os conceitos matemáticos aplicados durante o processo de impressão 3D, com o intuito de promover uma abordagem mais prática e integrada ao ensino da Matemática. Ao analisar as várias etapas envolvidas na impressão 3D, desde a modelagem inicial até a fabricação do objeto final, evidenciamos a importância dos conceitos matemáticos, como a representação tridimensional, a triangulação de superfícies e o cálculo de volumes e áreas.

A exploração desses conceitos não apenas ilustra a relevância da Matemática em um contexto tecnológico moderno, mas também pode oferecer uma oportunidade valiosa para que professores e estudantes compreendam uma aplicação prática da teoria matemática. A abordagem prática proporcionada pela impressão 3D pode auxiliar a conectar a Matemática com situações do dia a dia, facilitando uma compreensão mais concreta e aplicável da disciplina.

Ao envolver os alunos em todas as fases do processo de impressão 3D, desde a criação do modelo até a análise dos resultados, podemos aprimorar a compreensão dos conceitos matemáticos e estimular o desenvolvimento de habilidades técnicas essenciais. Essa integração da impressão 3D no ensino da Matemática não só facilita a aprendizagem, mas também prepara os estudantes para um futuro em que a tecnologia e a Matemática estão cada vez mais interligadas.

Portanto, este estudo reforça a necessidade de incorporar a impressão 3D como uma ferramenta educacional eficaz, destacando seu potencial para enriquecer o ensino da Matemática e despertar o interesse dos alunos. A aplicação prática dos conceitos matemáticos através da impressão 3D pode transformar a forma como a Matemática é ensinada e compreendida, oferecendo uma experiência de aprendizagem mais rica e contextualizada.



Referências

- ANASTASIOU, A.; TSIRMPAS, C.; ROMPAS, A.; GIOKAS, K.; KOUTSOURIS, D. 3D printing: Basic concepts mathematics and technologies. In: **13th IEEE International Conference on BioInformatics and BioEngineering**. IEEE, 2013. p. 1-4. DOI: <https://doi.org/10.1109/BIBE.2013.6701672>.
- FISCHER, Z.; LEE, T.; SULLIVAN, L. Palm Print: Handheld 3D Printer. **Bachelor of Science thesis, Worcester Polytechnic Institute, Massachusetts**, 2020. Disponível em: <https://digital.wpi.edu/downloads/1831cn367>
- FORD, S.; MINSHALL, T. 3D printing in teaching and education: A review of where and how it is used. **Additive manufacturing**, v. 25, p. 131-150, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.10.028>
- GAO, Y.; LI, B.; WANG, W.; XU, W.; ZHOU, C.; JIN, Z. Watching and safeguarding your 3D printer: Online process monitoring against cyber-physical attacks. **Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies**, v. 2, n. 3, p. 1-27, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1145/3264918>
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B.; KHORASANI, M.; ROSEN, D.; STUCKER, B.; KHORASANI, M. **Additive manufacturing technologies**. Cham, Switzerland: Springer, 2021.
- GUADAGNINI, P. H.. KIT PARA MONTAGEM DE MODELOS MOLECULARES COM IMPRESSÃO 3D PARA O ENSINO DE QUÍMICA. **Ensino de Ciências e Tecnologia em Revista-ENCITEC**, v. 16, n. 2, p. 455-471, 2026.
- HU, J. Study on STL-based slicing process for 3D printing. In: **2017 International solid freeform fabrication symposium**. University of Texas at Austin, 2017. Disponível em: <https://repositories.lib.utexas.edu/items/654c5b34-181a-4da3-a50f-1662741db0f7>. Acesso: 03 mai. 2024
- LOSS, T.; MOCROSKY, L. F.; FABIANA, R. G.; HUSSEIN, S.; MOTTA, M. S. Mapeamento Sistemático dos Produtos Educacionais dos Programas Profissionais de Pós-Graduação da UTFPR que tratam de Tecnologias Digitais no Ensino de Matemática. **Revista Paranaense de Educação Matemática**, v. 11, n. 24, p. 421-441, 2022. DOI: <https://doi.org/10.33871/22385800.2022.11.24.421-441>
- NETO, F. Como funciona uma impressora 3D. Blg 3D Recicler. 2018. Disponível em: <http://3drecycler.blogspot.com/2018/04/como-funciona-uma-impressora-3d.html?m=1>. Acesso: 04 mai. 2024
- NOVAK, E.; BRANNON, M.; LIBREA- CARDEN, M. R.; HAAS, A. L. A systematic review of empirical research on learning with 3D printing technology. **Journal of Computer Assisted Learning**, v. 37, n. 5, p. 1455-1478, 2021. DIO: <https://doi.org/10.1111/jcal.12585>
- PIZZANI, L.; DA SILVA, R. C.; BELLO, S. F.; HAYASHI, M. C. P. I. A arte da pesquisa bibliográfica



na busca do conhecimento. **RDBCI: Revista Digital de Biblioteconomia e Ciência da Informação**, Campinas, SP, v. 10, n. 2, p. 53–66, 2012. DOI: <https://doi.org/10.20396/rdbci.v10i1.1896>

RODRIGUES, V. P.; ZANCUL, E. DE S.; MANÇANARES, C. G.; GIORDANO, C. M.; SALERNO, M. S. Manufatura aditiva: estado da arte e framework de aplicações. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 12, n. 3, p. 1-1, 2017. DOI: <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i3.1657>

ROGAWSKI, Jon; ADAMS, Colin. **Cálculo: Volume 2**. Bookman Editora, 2018.

RANELLUCCI, A. Reprap, Slic3r and the future of 3D printing. **Canessa, E., Fonda, C., and Zennaro, ed., “Low-cost 3D Printing for Science, Education, and Sustainable Development**, p. 75-82, 2013. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bd3869ba16fd0690d1348e25e67db9ac7c18dbe8#page=77>. Acesso: 03 ago. 2024

SERRAVALLE, L. F. F.; DA SILVA, Jorge Vicente Lopes; DÁVILA, José Luis. Programação visual de algoritmos aplicada à geração de código-g para manufatura aditiva. **XXIV Jornada de Iniciação Científica do Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer - JICC'2022**. PIBIC/CNPq/CTI. Campinas, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cti/pt-br/publicacoes/producao-cientifica/jicc/xxiv-jicc-2022/pdf/jicc-2022-paper-17.pdf>. Acesso: 03 ago. 2024

SHAIK, Y. P.; SCHUSTER, J.; SHAIK, A. A scientific review on various pellet extruders used in 3d printing fdm processes. **Open Access Library Journal**, v. 8, n. 8, p. 1-19, 2021. DOI: 10.4236/oalib.1107698

SZILVÍ-NAGY, M.; MÁTYÁSI, G. Y. Analysis of STL files. **Mathematical and computer modelling**, v. 38, n. 7-9, p. 945-960, 2003. DOI:10.1016/S0895-7177(03)90079-3

YOGITECH, **Volumetric Flow Rate Calculator for 3D Printer Nozzle**, 2023. Disponível em: <https://www.yogitech.eu/volumetric-flowrate-calculator-for-3d-printer/>.