

CAD E MANUFATURA ADITIVA COMO FERRAMENTAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E APOIO DIDÁTICO PARA A ÁREA DE ENGENHARIA

CAD AND ADDITIVE MANUFACTURING AS SCIENTIFIC INITIATION TOOLS AND DIDACTIC SUPPORT FOR THE ENGINEERING AREA

Maria Luiza Nascimento Mendes¹ 

Sinval Pedroso da Silva² 

Resumo: O processo de ensino-aprendizagem exige aprimoramento contínuo, uso de novas tecnologias e abordagens diferenciadas e dinâmicas, a fim de superar os atuais desafios e expectativas da sociedade e do mercado de trabalho. Nesse sentido, o objetivo principal deste trabalho foi o desenvolvimento de modelos 3D (tridimensionais) de ferramentas de corte utilizadas em processos de usinagem industrial, e a impressão 3D desses modelos para serem aplicados como apoio didático em aulas de cursos técnicos de mecânica e também de engenharias. Como metodologia, foi utilizado o *software Solid Edge* para realizar o modelamento CAD (projeto e desenho assistidos por computador) 3D, e impressora da marca GTMax3D para realizar as impressões 3D. Foram estabelecidas as configurações velocidade (de impressão e viagem), tipo de preenchimento, temperatura da mesa e do extrusor, entre outras. Algumas situações que ocorreram durante o processo de impressão 3D, que incluíram variação de temperatura, fluxo de ar em direção a mesa de impressão e peça, assim como as respectivas soluções para mitigar esses problemas, e as lições aprendidas foram também descritas no trabalho. Os principais resultados obtidos indicam que a tecnologia de impressão 3D e a aplicação real dos modelos sólidos em aulas teóricas e práticas contribuíram para o processo de ensino-aprendizagem, por meio do envolvimento no processo, do auxílio no esclarecimento de conceitos e do desenvolvimento de visão espacial, fatores que contribuíram para consolidação do aprendizado segundo percepção dos alunos.

Palavras-chave: Cultura *maker*. Ferramentas de corte de usinagem. Impressão 3D. Modelamento CAD 3D. Processo de ensino-aprendizagem.

Abstract: The teaching-learning process requires continuous improvement, the use of new technologies and differentiated and dynamic approaches, in order to overcome the current challenges and expectations of society and the labor market. In this sense, the main goal of this work was the development of 3D (three-dimensional) models of cutting tools used in industrial machining processes, and the 3D printing of these models to be applied as didactic support in classes of technical courses of mechanics and of engineering. It was used as methodology, the Solid Edge software to perform the 3D CAD (computer-aided design) modeling, and a GTMax3D brand printer to perform the 3D prints. Speed settings (printing and travel), type of filling, table and extruder temperature, among others, were established. Some issues that

¹ Estudante, Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Brasil - marialnmdendes.23@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0003-0614-602X>

² Doutor em Engenharia Mecânica (UFMG), professor do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Brasil - sinvalpedroso@yahoo.com.br; <https://orcid.org/0000-0002-3622-3308>

occurred during the 3D printing process, which included temperature variation, airflow towards the printing table and the part, as well as the respective solutions to mitigate these situations, and the lessons learned were also described in the work. The main results obtained indicated that the 3D printing technology and the real application of solid models in theoretical and practical classes contributed to the teaching-learning process, through involvement in the process, helping to clarify concepts and developing the spatial vision, factors that contributed to the consolidation of learning according to the students' perception.

Keywords: 3D CAD modeling. 3D printing. Maker culture. Machining cutting tools. Teaching-learning process.

1 INTRODUÇÃO

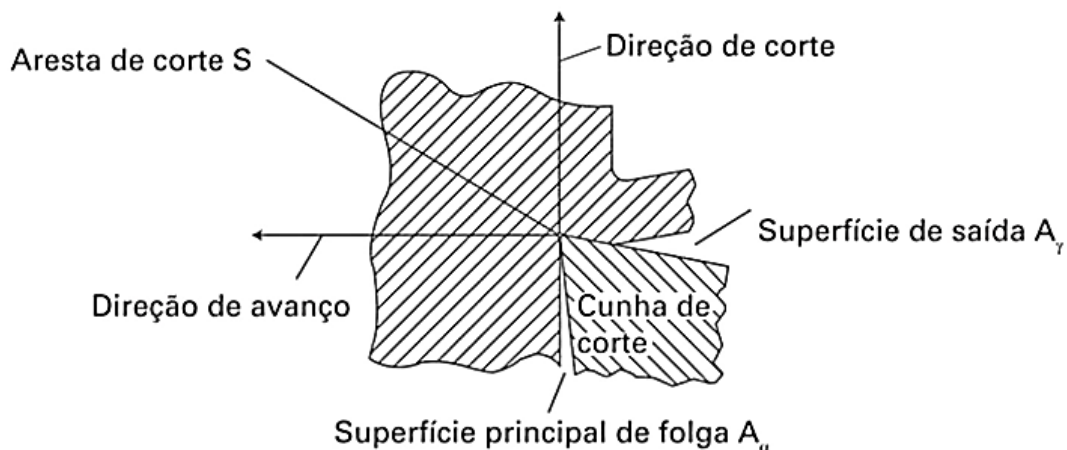
O movimento *maker* é a cultura do “Faça você mesmo” (DIY-*Do It Yourself*) (ANDERSON, 2012), que tem como objetivo mudar a forma de percepção das pessoas quanto a manipulação de objetos, com alternativas de reaproveitamento ou conserto ao invés de descartá-los (BROCKVELD, 2017). Desse modo, tal cultura, instiga as pessoas a consertarem, modificarem, criarem e fabricarem seus próprios objetos (SILVEIRA, 2016). Esse método de experimentação e construção não ficou restrito apenas a processos industriais e artesanais, mas também se difundiu em diversas áreas, dentre elas na área acadêmica. A cultura *maker* chegou às escolas por causa de dois fatores: a popularização do mundo digital – ascensão da Revolução Industrial 4.0 – e a redução dos preços de equipamentos para montar um laboratório *maker*, como o de impressoras 3D (tridimensionais), cortadoras a laser, blocos de montar e kits eletrônicos para a criação de protótipos (BLIKSTEIN, 2013). Ações do movimento *maker* aliadas à educação são capazes de potencializar o processo de ensino-aprendizagem, visto que, o contato de alunos com materiais impressos facilita o entendimento do que está sendo estudado em aulas expositivas (RAABE, 2018). Conforme Magennis; Farrel (2005), isso resulta em aprendizado mais rápido e eficiente, além de promover o trabalho coletivo e a capacidade de resolução de problemas de forma criativa. De acordo com Huang (2017), o amplo e profundo impacto da tecnologia de impressão 3D na indústria e na educação gerou a necessidade dos alunos desenvolverem habilidades de modelamento 3D independentes, e melhorar assim a eficácia do aprendizado.

Referente à manufatura aditiva (AM), conforme Alafaghani et al., (2017), é uma tecnologia que foi desenvolvida inicialmente como uma ferramenta de prototipagem rápida para visualização e validação de desenhos. No entanto, o desenvolvimento de tecnologias de AM, está transformando-a de prototipagem rápida para fabricação rápida, que inclui a impressão 3D. Neste aspecto, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2015), os processos de fabricação podem ser classificados em duas categorias: (i) sem

remoção de material; (ii) com remoção de material. O processo de manufatura aditiva é consequentemente sem remoção de material, enquanto o processo com remoção de material é denominado usinagem, e consiste no uso de ferramentas de corte para realizar a remoção de material em forma de cavaco.

De acordo com Ferraresi (1970), nos processos de usinagem há três movimentos que resultam na remoção de cavaco da peça, sendo eles: movimento de corte (origina uma única retirada de cavaco e ocorre entre a peça e a ferramenta, sem o movimento de avanço); movimento de avanço (que associado ao movimento de corte, resulta na retirada contínua do cavaco); movimento efetivo (resultante dos movimentos de corte e de avanço, quando realizados simultaneamente). Para exemplificar, a Figura 1 mostra os elementos que compõem a cunha de corte de uma ferramenta de torneamento, representados no plano de trabalho, e segundo uma direção de avanço e de corte. Nota-se que dentre os elementos da cunha de corte inclui, a aresta principal de corte S , a superfície principal de folga A_α , a superfície de saída A_γ , as direções de corte e de avanço.

Figura 1 - Representação dos elementos da cunha de corte de uma ferramenta utilizada em operação de torneamento



Plano da figura = plano de trabalho

Fonte: Machado *et al.* (2015).

Conforme Ferraresi (1970); Diniz, Marcondes, Coppini (2006) e Machado et al. (2015), um dos parâmetros de qualidade de uma ferramenta de corte utilizada em operações de usinagem é a sua geometria. Assim, fez-se necessária a normalização de ângulos da cunha de corte e planos de corte, como os descritos na norma ABNT NBR ISO 3002-1:2013 (antiga ABNT NBR 6163). Conforme esta norma, para estabelecer os ângulos de cunha de uma ferramenta de corte, é necessário adotar os seguintes conceitos e definições de superfícies presentes nestas peças: (i) superfície de saída (γ), sobre a qual o cavaco se move; (ii) superfície de folga, aquela que determina a folga entre a ferramenta e a peça usinada, e que pode ser classificada como superfície principal de folga (A_α) e superfície secundária de folga (A'_α) (ABNT, 2013). Outras definições incluem: (i) a aresta principal de corte (S), que possui um ângulo de direção (φ) de 90° graus, e representa a direção de avanço; (ii) a aresta secundária de corte (S'), que possui ângulo de direção (φ) de 90° e representa a direção contrária à direção de avanço (MACHADO, 2015, p.39). Tais ângulos definidos por esses parâmetros são: ângulo de posição (χ_r), que mostra a posição da aresta de corte e é sempre positivo; ângulo de posição secundário (χ_r'), que mostra a posição da aresta secundária de corte e também é sempre positivo; ângulo de ponta (ε_r), que pode ser relacionado de acordo com a equação ($\chi_r + \varepsilon_r + \chi_r' = 180^\circ$); o ângulo de inclinação (λ_s), que é agudo e sua aresta representa a ponta de corte (MACHADO, 2015, p.48); e por fim, o ângulo de folga (α_o), o ângulo de cunha (β_o) e o ângulo de saída (γ_o), que juntos formam 90° , conforme a equação ($\alpha_o + \beta_o + \gamma_o = 90^\circ$), (MACHADO, 2015, p.49). A Tabela 1 mostra a descrição dos ângulos da cunha de corte de uma ferramenta de usinagem e a respectiva faixa de variação dos ângulos.

Tabela 1 - Ângulos da cunha de corte de uma ferramenta de usinagem.

Descrição e símbolo	Variação típica do ângulo
Ângulo de posição principal, χ_r	De 45° a 95°.
Ângulo de posição secundário, χ_r'	De 5° a 15°.
Ângulo de ponta, ε_r	Depende da geometria da ferramenta (Ex.: se a ferramenta for de geometria quadrangular, $\varepsilon_r = 90^\circ$; se triangular $\varepsilon_r = 55^\circ$ ou 60°).
Ângulo de inclinação, λ_s	De -11° a 11°.
Ângulo de folga, α_o	De 5° a 20°.
Ângulo de cunha, β_o	Depende do ângulo de saída e do ângulo de folga sendo estabelecido pela fórmula: $\beta_o = 90^\circ - \alpha_o - \gamma_o$.
Ângulo de saída, γ_o	De -8° a 20°.

Fonte: Ferraresi (1970); Machado *et al.* (2015).

Diante disso, o objetivo principal deste trabalho foi a criação de modelos 3D (tridimensionais) de ferramentas de corte utilizadas em processos de usinagem, e a impressão 3D destes modelos para serem utilizados como materiais de apoio didático durante aulas, por exemplo, das disciplinas processos de fabricação, usinagem e metrologia, as quais são ministradas em cursos técnicos de mecânica e cursos de engenharia, em uma instituição federal. O modelamento 3D foi realizado por meio de *software CAD* (desenho e projeto auxiliados por computador), *Solid Edge* Siemens. A configuração dos parâmetros de impressão 3D foi realizada por meio do *software Repetier-Host*, com uso de impressora 3D da marca GTMax3D, disponibilizada pela instituição acadêmica.

3 METODOLOGIA

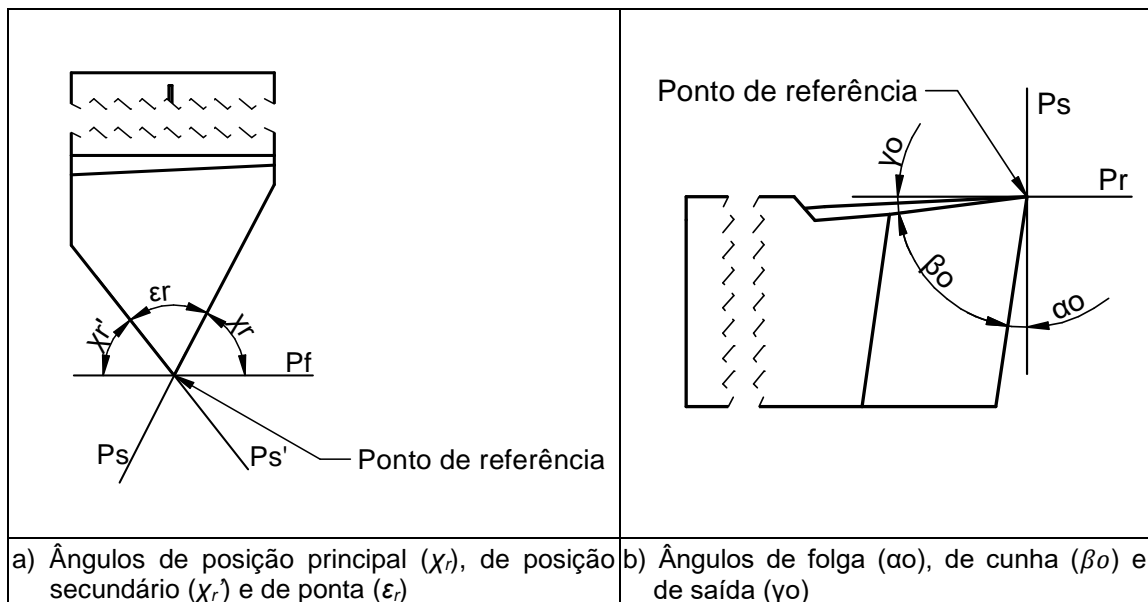
O tipo de metodologia utilizada neste trabalho foi a de pesquisa exploratória, a qual é caracterizada por proporcionar maior familiaridade com o problema e é amplamente utilizada em pesquisas bibliográficas e estudos de caso (RODRIGUES, 2007). As medidas dos ângulos das ferramentas de corte e as técnicas utilizadas na fabricação de peças, foram definidas por meio de literaturas específicas sobre processos de fabricação e usinagem. Alguns dos

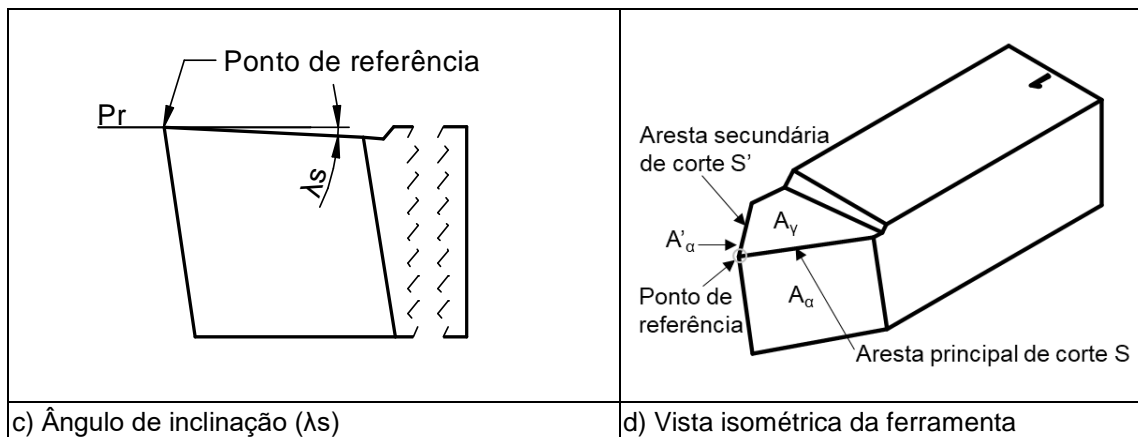
fabricantes e catálogos pesquisados foram: Mitsubishi (MITSUBISHI, 2019), Sandvik (SANDVIK, 20--a), Widia (WIDIA, 2021), WorldTools (WORLDTOOLS, c2010-2021), Ferrec (FERREC, 2022) e CediFER (CEDIFER, c2011-2015). A maioria das ferramentas que constam nesses catálogos possuem insertos montados em suportes, porém, para os modelos definidos neste trabalho, foram desenvolvidos e impressos peças inteiriças (sem insertos), por possuírem tamanhos maiores e maior facilidade de manuseio durante as aulas práticas e/ou teóricas das disciplinas.

3.1 Modelamento 3D de ferramentas de corte e caixa de armazenamento

Para realizar o modelamento 3D das ferramentas de corte, utilizadas em operações de usinagem, foi estudado e seguido as definições da geometria da cunha de corte de uma ferramenta de torneamento externo, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Geometria de ferramenta de torneamento externo: a), b), c) representação 2D dos ângulos da cunha de corte; d) vista isométrica





Fonte: Autores - Adaptado de Machado *et al.* (2015).

Após este estudo, foram definidos nove (9) tipos de ferramentas de corte para a realização do modelamento CAD 3D, as quais são utilizadas em operações de torneamento externo convencional na área de usinagem. Foi definido também o modelo 3D de uma caixa para armazenamento das nove ferramentas. Os modelos 3D foram gerados por meio do *software CAD Solid Edge* Siemens, o qual gera arquivos no formato *.par (*parasolid*), e que foi convertido para o formato STL (*STereoLithography*), estereolitografia, também conhecido como "linguagem triangular padrão" ou "linguagem de mosaico padrão" (*Standard Triangle Language* ou *Standard Tessellation Language*). De acordo com Lira (2021), STL gera finitos triângulos representando toda a superfície do modelo para que ele seja reconhecido pela impressora 3D. Neste trabalho foram utilizados os recursos "exportar" e "salvar como", do próprio *Solid Edge*, para realizar a conversão dos arquivos CAD 3D para o formato STL, o qual é reconhecido pelo software da impressora 3D.

3.2 Impressão 3D das ferramentas de corte e da caixa

As impressões 3D dos modelos de ferramentas de corte foram realizadas com o uso de impressora da marca GTMax3D, disponível no Ambiente de Inovação e Laboratório *Maker* da instituição federal. O *software Repetier-Host* foi utilizado para realizar as impressões 3D e também para estabelecer as configurações de velocidade, tipo de estrutura, extrusão, calibração do extrusor e para realizar o fatiamento por meio do *CuraEgine*, que

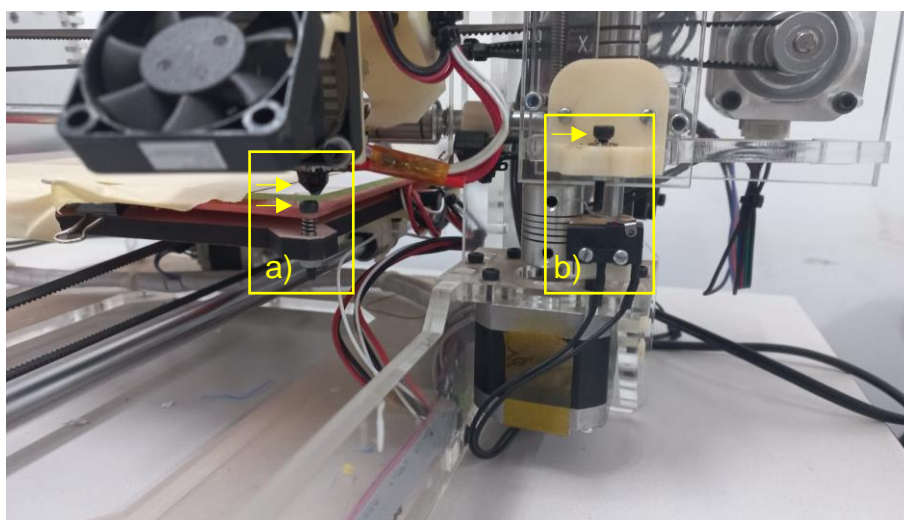
é um aplicativo disponível no *Repetier-Host*, destinado a geração de arquivos com códigos G (*GCodes*). A norma ISO 6983-1 (ISO, 2009), descreve que o código G é uma linguagem de comando padronizada, e frequentemente é usada para operar dispositivos por meio de controle numérico computadorizado (CNC).). Conforme Rais; Li; Ahmed (2021), o arquivo de código G é uma série de instruções fornecidas à impressora, tais como, define movimento nos eixos x, y, z, parâmetros como valores de temperatura, velocidade máxima, aceleração máxima, entre outros. Ao estabelecerem essas configurações, há a redução de perda de material devido à erros, a garantia de rigidez da peça e a fixação da peça a mesa (RITTER, 2014).

Nesta etapa foram realizadas pesquisas sobre as configurações de impressão (por ex.: velocidade, fixação e aderência da peça na mesa, tipo de preenchimento, qualidade de acabamento, entre outros). A pesquisa foi realizada por meio de tutoriais disponibilizados pela empresa GTMax3D (GTMAX3D, 2006), contato com especialistas, e também por meio de artigos disponibilizados pela empresa 3D FILA (3DFILA, c2022a). Dentre estas pesquisas incluem: calibração do extrusor, ou seja, definir quantos passos do motor de passo são necessários para alimentar um certo comprimento de filamento em milímetros, passos/mm, (3DFILA, c2022c), e especificações sobre o filamento utilizado (3DFILA, c2022a; 3DFILA, c2022d). A calibração do extrusor é importante e consiste em definir a distância (*gap*) correta e constante entre o bico extrusor e a mesa de impressão, conferindo assim o nivelamento, que é feito por meio do ajuste de quatro (4) parafusos localizados nos quatro cantos da mesa de impressão, conforme mostra a Figura 3a). Conforme WanHao (c2022), o nivelamento correto do bico extrusor com a mesa, garante que o filamento seja empurrado ligeiramente para a mesa, maximizando a área de contato superficial do material depositado com a mesa, e mantendo o fluxo de extrusão. A não calibração ou nivelamento incorreto pode causar os seguintes problemas: i) bico muito alto - não há pressão suficiente sobre o filamento na mesa, e portanto, pequena área de contato entre o filamento e a mesa, podendo causar desprendimento de material durante o processo de impressão; ii) bico muito baixo - não há folga suficiente para que o filamento

seja extrudado, causando obstrução de material e falha de impressão, além de danificar a extrusora ou a mesa, pois pode haver colisão.

Para determinar a distância constante entre o bico do extrusor e a mesa de impressão, foi utilizado como referência neste trabalho, a espessura de um papel cartão. Após realizar a calibração em diferentes posições do bico extrusor em relação a mesa (região frontal do lado esquerdo e direito; traseira, lado esquerdo e direito; e central), foi realizado o ajuste de posição do parafuso de contato no sensor fim de curso (interruptor *micro switch*), conforme mostrado na Figura 3b), de forma a determinar o limite máximo de movimentação no eixo z durante o processo de impressão 3D.

Figura 3 – Pontos de calibração da impressora GTMax3D: a) parafuso de ajuste da altura da mesa de impressão e posição do bico extrusor após calibração; b) parafuso de ajuste do fim de curso

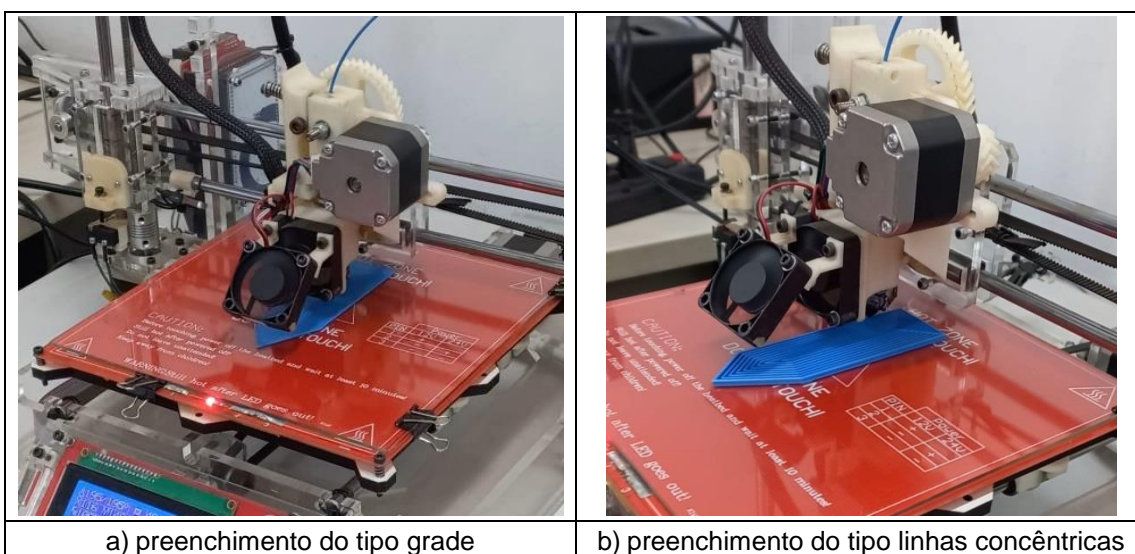


Fonte: Autores.

Quanto às velocidades de impressão dos modelos de ferramentas desenvolvidas, foram utilizadas para a primeira camada, do perímetro exterior e do perímetro interior as velocidades máximas de 25 mm/s, 50 mm/s e 80 mm/s, respectivamente. De acordo com 3DFILA (c2022e), se essas velocidades forem muito altas, a qualidade de impressão pode ficar prejudicada, sendo que velocidades menores resultam em melhor acabamento para a peça.

Outros parâmetros que interferem na qualidade de impressão são a rigidez e a fixação da peça na mesa. Para melhor rigidez da peça, foi utilizado o preenchimento do tipo “grade” (Figura 4a), pois, após a realização de pré-testes com o preenchimento do tipo “linhas concêntricas” (Figura 4b), notou-se que este tipo gera maior fragilidade à peça, apesar de resultar em boa qualidade de impressão.

Figura 4 - Imagens que representam o preenchimento do tipo: a) grade; b) linhas concêntricas.



Fonte: Autores.

Quanto a aderência da peça à mesa de impressão 3D, foi utilizado suporte do tipo “aba”, pois, de acordo com 3DFILA [c2022b], ao criar camadas extras com contornos impressos na peça, espécie de saia, aumenta a área de impressão 3D, conseqüentemente, melhora a aderência à superfície da mesa. Outra opção utilizada para obter melhor aderência da peça, é a definição da temperatura da mesa, cuja faixa, tanto da mesa quanto do extrusor, é definida pelo fabricante do filamento, e pode ser encontrada nas especificações fornecidas junto a embalagem do filamento, ou no próprio site do fornecedor. Assim, neste trabalho foi utilizada a temperatura de 50 °C para a mesa e 195 °C para o extrusor, sendo a temperatura do extrusor definida em função do tipo de material do filamento, que neste trabalho foi utilizado o PLA poli(ácido láctico). De acordo com KAPLAN (1998), PLA é um polímero termoplástico de

alta resistência e alto módulo, fabricado com ácido lático a partir de matérias-primas obtidas de fontes renováveis, sendo portanto biodegradável, e que pode ser compostado e degradado através do mecanismo de hidrólise do éster para retornar ao ácido lático, que é consumido naturalmente para produzir dióxido de carbono, água e biomassa.

Após definir as temperaturas da mesa e do extrusor, notou-se que o fluxo de ar no interior do laboratório, e a redução de temperatura ambiente devido ao anoitecer, por exemplo, interferem no processo de impressão, especialmente na fixação da peça à mesa, devido à contração. Tal fato foi observado também por outros pesquisadores, como descrito por Leite (2022) durante o trabalho de impressão 3D de um relógio solar em espaço *maker* astronômico. Os recursos utilizados pelos autores do presente trabalho, a fim de evitar essas influências e condições ambientais, foram: i) manter aberturas de acesso ao laboratório fechadas, como portas; ii) colocar em volta da impressora um anteparo de papelão, o qual contribuiu para impedir o fluxo de ar em direção a mesa de impressão; iii) revestir a mesa da impressora com fita adesiva, para auxiliar na aderência da peça à mesa, ou aplicação de *spray* fixador (laquê de cabelo) na superfície da mesa, que também contribuiu para melhorar a aderência da peça, e evitou o deslocamento da peça durante o processo de impressão.

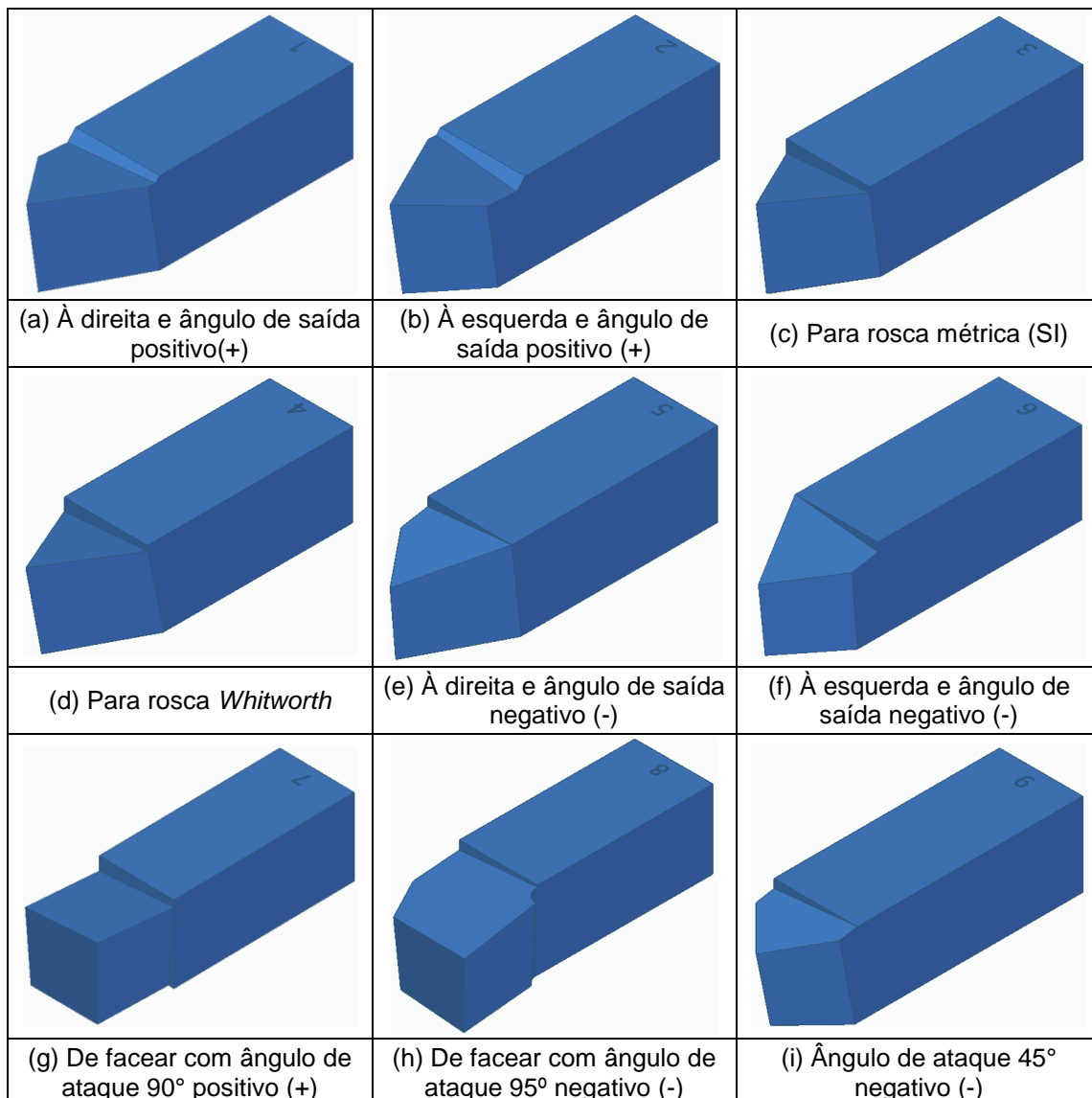
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Ferramentas de corte e caixa modeladas em CAD 3D

Os nove modelos de ferramentas de corte utilizadas em processos de usinagem, e que foram modeladas com o uso do *Solid Edge*, estão mostradas na Figura 5, com suas respectivas descrições. Observa-se que foram modeladas as ferramentas para aplicações de torneamento externo: à direita e ângulo de saída positivo (Fig. 5a); à esquerda e ângulo de saída positivo (Fig. 5b); para abrir roscas métrica (sistema internacional - S.I.) com ângulo de cunha de 60° (Fig. 5c); para abrir roscas padrão *Whitworth* com ângulo de

cunha de 55° (Fig. 5d); à direita e ângulo de saída negativo (Fig. 5e); à esquerda e ângulo de saída negativo (SANDVIK, 20--b), (Fig. 5f); para facear com ângulo de ataque de 90° positivo (Fig. 5g); para facear com ângulo de ataque de 95° negativo (Fig. 5h), e; para facear com ângulo de ataque de 45° negativo (Fig. 5i). As dimensões básicas definidas para todas essas ferramentas foram: 120 mm de comprimento; 35 mm de altura e 35 mm de largura.

Figura 5 - Modelos 3D das ferramentas de usinagem desenvolvidas.

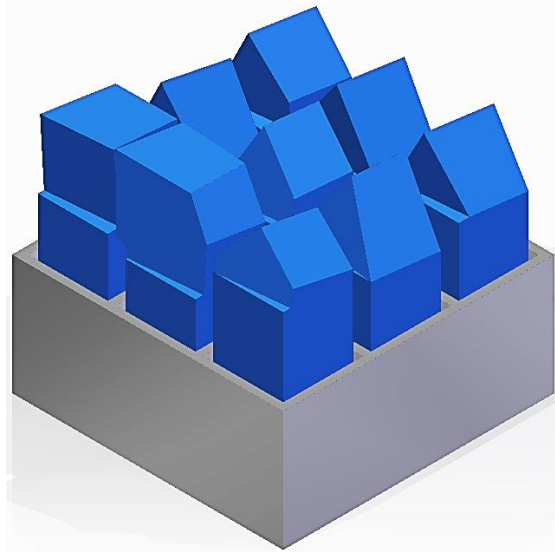


Fonte: Autores.

Todas as ferramentas possuem a função de, através da operação de usinagem, gerarem perfis cilíndricos e arredondados, mas diferem no sentido de corte e do ângulo de saída: a ferramenta para tornear à direita com ângulo de saída positivo (Fig. 5a) e a ferramenta para tornear à direita com ângulo de saída negativo (Fig. 5e), são aplicadas para usinagem à direita; a ferramenta para tornear à esquerda com ângulo de saída positivo (Fig. 5b) e a ferramenta para tornear à esquerda com ângulo de saída negativo (Fig. 5f), são para usinagem à esquerda (SANDVIK, 20--b). Já o modelo da ferramenta para abrir rosca padrão métrico, (Fig. 5c) e o modelo da ferramenta para abrir rosca padrão *Whitworth* (Fig. 5d), ambas têm a função de realizar roscas externas, porém, a ferramenta (Fig. 5c), é destinada a abrir roscas gerais métrica e possui perfil de 60° (ISO Métrico), e a ferramenta (Fig. 5d), é aplicada para abrir roscas de tubos e possuem perfil de 55°, denominada rosca *Whitworth* (SANDVIK, 20--c). Por fim, as ferramentas para a operação de faceamento foram desenvolvidas com base em catálogo técnico da empresa Cedifer (CEDIFER, c2011-2015), e possuem ângulos de ataque de: 90° positivo (Fig. 5g); 95° negativo (Fig. 5h); 45° negativo (Fig. 5i).

Para armazenar essas ferramentas, foi realizado o modelamento 3D de uma caixa de formato quadrado com nove compartimentos, cujas dimensões são: comprimento 120,0 mm; largura 120,0 mm; altura 60,0 mm; espessura constante de 4 mm. A Figura 6 mostra a representação 3D da montagem destas ferramentas distribuídas dentro da caixa de armazenamento.

Figura 6 - Representação 3D das ferramentas de usinagem montadas em caixa de armazenamento.

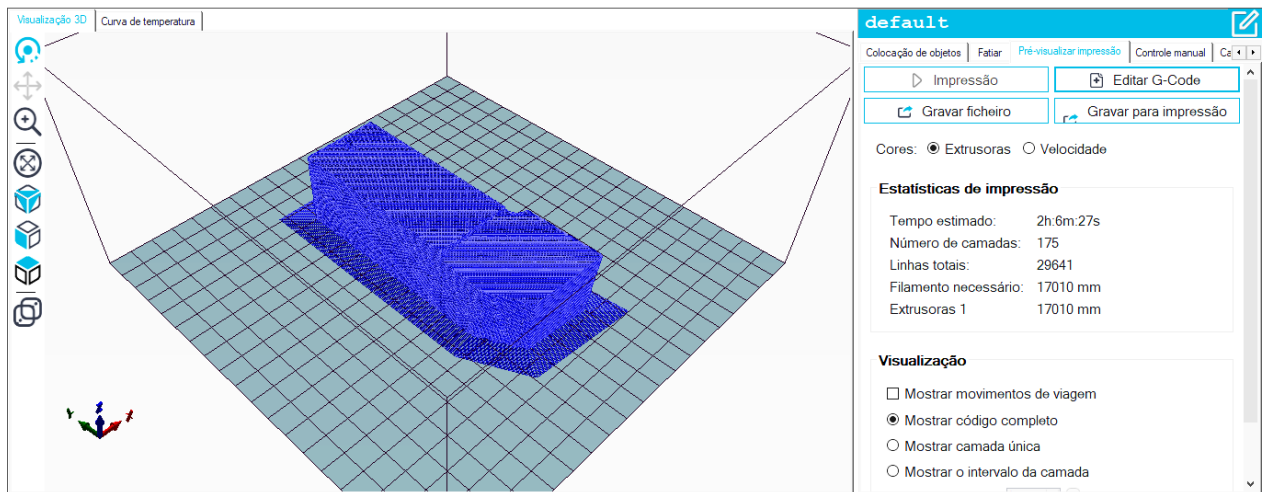


Fonte: Autores.

4.2 Ferramentas de corte e caixa impressas 3D

Para o processo de impressão 3D das peças, foi realizado o fatiamento do respectivo modelo sólido, em formato STL, para possibilitar a impressora 3D realizar o reconhecimento e gerar as camadas do modelo no *software* adequado, que no caso foi utilizado o *CuraEngine*, que é um dos módulos do *Repetier-host*. O *CuraEngine* gera arquivos em código G, os quais comandam a impressora 3D. A Figura 7 mostra um exemplo de ferramenta que foi fatiada por meio do *software CuraEngine*, com base no modelo 3D em formato STL.

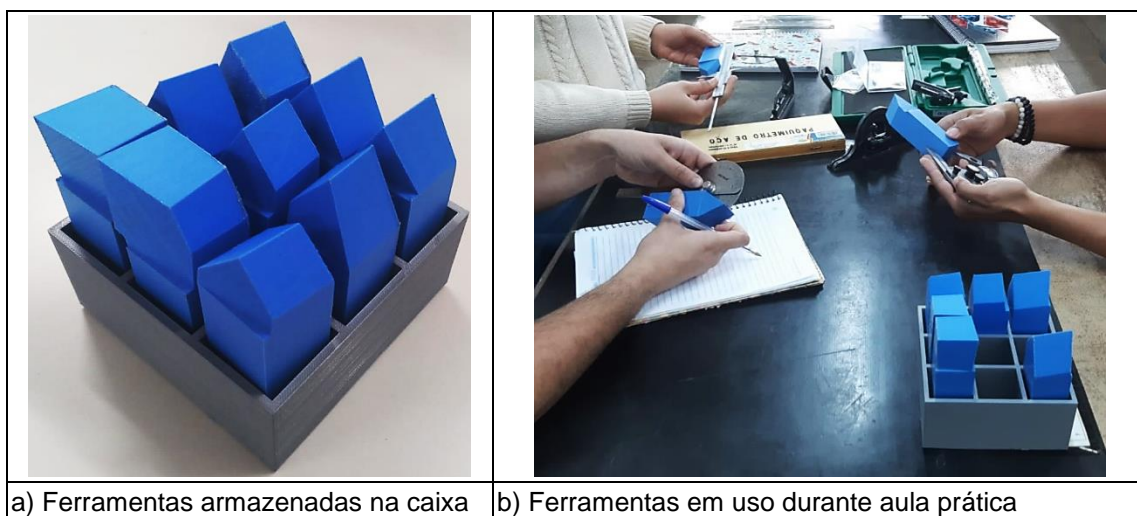
Figura 7 – Exemplo de uma peça no formato STL que foi fatiada por meio do *software CuraEngine*.



Fonte: Autores.

Após o processo de fatiamento de cada peça, foi realizado as impressões 3D dos modelos das ferramentas de corte e da caixa de armazenamento, com o uso de impressora GTMax3D e *software Repetier-Host*. A Figura 8(a) mostra uma fotografia das peças impressas 3D. Após o processo de impressão 3D, as peças passaram a ser utilizadas como suporte didático durante aulas práticas de disciplinas dos cursos técnicos e de engenharia, ofertados pela instituição acadêmica, conforme pode ser visto na Figura 8(b). Em geral, o contato físico com as ferramentas impressas 3D, possibilitou aos discentes identificar melhor cada ângulo da geometria de corte e as respectivas medições, de forma mais interativa. Como lições aprendidas, destaca-se a importância de realizar as pesquisas e planejar bem o trabalho no início do processo, pois, a definição correta do que fazer e como fazer, são essenciais para o sucesso do uso desta tecnologia 3D.

Figura 8 – Fotografias das ferramentas de corte impressas 3D: (a) armazenadas na caixa; (b) em uso durante aula prática de engenharia.



Fonte: Autores.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no objetivo geral, na metodologia adotada e nos principais resultados obtidos neste trabalho, definiu-se as seguintes conclusões:

- Foi possível vivenciar a cultura *maker* em uma instituição federal, por meio do desenvolvimento de modelos 3D de ferramentas de corte utilizadas em operações de usinagem e de uma caixa para armazenamento dessas ferramentas, e de suas respectivas impressões 3D.
- A fabricação de modelos 3D em laboratório *maker* da própria instituição, contribuiu para o processo de ensino-aprendizagem, uma vez que esses modelos foram e serão utilizados como apoio didático em aulas expositivas (teóricas e práticas).
- Foi possível conciliar atividades de ensino e pesquisa com aplicação prática, por meio de impressões de modelos sólidos 3D, despertando assim o interesse dos alunos à diversas possibilidades oferecidas por esta tecnologia.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a expansão da utilização da cultura *maker* para outros alunos e docentes da instituição. Espera-se também, a ampliação e interação do uso desta tecnologia de impressão 3D

com outras escolas e alunos da região, por meio de apresentações dos equipamentos, dos materiais produzidos, reforçando desta forma os pilares “ensino-pesquisa-extensão”, além de captar a atenção e atrair futuros ingressos à cursos ofertados pela instituição.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG). Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Iniciação Científica Júnior (PIBIC-Jr.). Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) pela disponibilização de recursos técnicos e laboratoriais.

REFERÊNCIAS

3DFILA. **Principais configurações de impressão 3D do fatiador que você precisa conhecer!** [c2022a]. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/principais-configuracoes-de-impressao-3d-do-fatiador-que-voce-precisa-conhecer/>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

3DFILA. **10 maneiras fáceis de corrigir empenamentos com ABS, PLA e PETG.** [c2022b]. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/blog/10-maneiras-de-corriger-empenamentos-com-abs-pla-e-petg/>>. Acesso em: 03 jul. 2022.

3DFILA. **Calibração do extrusor da impressora 3D.** [c2022c]. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/blog/calibracao-do-extrusor-da-impressora-3d/>>. Acesso em: 01 jul. 2022.

3DFILA. **Filamento PLA.** [c2022d]. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/categoria-produto/filamento-3d-para-impressora-3d/filamento-pla/>>. Acesso em: 27 jun. 2022.

3DFILA. **40 Erros mais comuns de impressão 3D e como evitá-los.** [c2022e]. Disponível em: <<https://3dfila.com.br/blog/40-erros-mais-comuns-de-impressao-3d-que-voce-deve-evitar/>>. Acesso em: 10 jul. 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6175: usinagem-processos mecânicos.** Rio de Janeiro, 2015.

ALAFAGHANI, A.; QATTAWI, A.; ALRAWI, B.; GUZMAN, A., **Experimental optimization of fused deposition modelling processing parameters: a design-for manufacturing approach**, Proc. Manuf. 10 (2017) 791–803, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.079>.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 3002-1: grandezas básicas em usinagem e retificação: parte 1 - geometria da parte cortante das**

ferramentas de corte - termos gerais, sistemas de referência, ângulos da ferramenta e de trabalho e quebra-cavacos. Rio de Janeiro. 2013.

ANDERSON, Chris. **Makers: a nova revolução industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

BLIKSTEIN, P. **Digital fabrication and 'making' in education: the democratization of invention**. 2013. Disponível em: <<https://titlab.org/wp-content/uploads/2019/02/2013.Book-B.Digital.pdf>>. Acesso em: 16 jun. 2022.

BROCKVELD, M. V. V.; TEIXEIRA, C. S.; SILVA, M. R. D. 2017. **A cultura maker em prol da inovação: boas práticas voltadas a sistemas educacionais**. Disponível em: <<https://via.ufsc.br/wp-content/uploads/2017/11/maker.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2022.

CEDIFER. **Catálogo de produtos-torneamento externo**. [c2011-2015]. Disponível em: <http://www.cedifer.com.br/cat_detalhes_angulo.asp?Grupo=1&Subgrupo=1&Pesq=&TipoProduto=2&acao=Buscar>. Acesso em: 04 jun. 2022.

DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 5. ed. São Paulo: Artliber, 2006.

FERMEC. **Suportes intercambiáveis externos**. 2022. Disponível em: <<https://www.fermec.com.br/produtos/catalogos/SUPORTES-INTERCAMBIAVEIS-EXTERNOS-9.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

FERRARESI, D. **Fundamentos da usinagem dos metais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1970.

GTMAX3D. 2006. **GTMax3d - canal youtube sobre impressão 3D**. Disponível em: <<https://www.youtube.com/c/GTMax3DImpressoras3D/about>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

HUANG, T.-C.; Lin, C.-Y. **From 3D modeling to 3D printing: development of differentiated spatial ability teaching model**. Telematics and Informatics, 34, 604–613. 2017. doi.org/10.1016/j.tele.2016.10.005.

ISO. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6983 parte 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems**. p. 13, 2009.

KAPLAN, D. L. **Biopolymers from renewable resources**. 1. ed. New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1998.

LEITE, Y. P.; NUNES, K. M.; CARVALHO, F. G.; BARROS, H. W. S. **Impressão 3D e conhecimento astronômico como ferramenta de iniciação e divulgação da ciência**. 2022. Disponível em: <<https://ojs.ifsp.edu.br/index.php/rinte/article/view/2021/1252>>. Acesso em: 23 jun. 2022.

LIRA, Valdemir Martins. **Processos de fabricação por impressão 3D: tecnologia, equipamentos, estudo de caso e projeto de impressora 3D**. 2021. São Paulo: Edgard Blucher.

MACHADO, A.R.; COELHO, R.T.; ABRÃO, A.M.; SILVA, M.B. **Teoria da usinagem dos materiais**. 2015. São Paulo: Edgard Blucher.

MAGENNIS, S.; FARRELL, A. Teaching and learning activities: expanding the repertoire to support student learning. **Emerging issues in the practice of university learning and teaching**, v. 1, p. 45–54, 2005.

MITSUBISHI. **Catálogo Ferramentas de corte – Torneamento, fresamento, furação**. 2019. Disponível em: <http://www.mitsubishicarbide.com/application/files/5915/8277/8714/catalog_c009z_full.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2022.

RAABE. **Maker: uma nova abordagem para tecnologia na educação**. 2018. Disponível em: <<http://tecedu.pro.br/wp-content/uploads/2018/09/Art1-vol.26-EdicaoTematicaVIII-Setembro2018.pdf>>. Acesso em: 17 jun. 2022.

RAIS, M. H.; LI, Y.; AHMED, I. Spatiotemporal G-code modeling for secure FDM-based 3D printing. **ICCPS 2021 - Proceedings of the 2021 ACM/IEEE 12th International Conference on Cyber-Physical Systems (with CPS-IoT Week 2021)**, p. 177–186, 2021.

RITTER, G. M. **Influência dos parâmetros de uma impressora 3D sobre a produção de peças**. 2014. Disponível em: <http://www.fahor.edu.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2014/Gustavo_Marques_Ritter.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2022.

RODRIGUES, W. C. **Metodologia científica**. 2007. Disponível em: <http://pesquisaemeducacaoufrgs.pbworks.com/w/file/64878127/Willian%20Costa%20Rodrigues_metodologia_cientifica.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2022.

SANDVIK. **Faceamento**. [20--a]. Disponível em: <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/milling/pages/face-milling.aspx>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

SANDVIK. **Torneamento geral**. [20--b]. Disponível em: <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/general-turning/pages/external-turning.aspx>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

SANDVIK. **Rosqueamento**. [20--c]. Disponível em: <<https://www.sandvik.coromant.com/pt-pt/knowledge/threading/pages/default.aspx>>. Acesso em: 28 mai. 2022.

SILVEIRA, Fábio. Design & Educação: novas abordagens. p. 116-131. In: MEGIDO, Victor Falasca (Org.). **A Revolução do design: conexões para o século XXI**. São Paulo: Editora Gente, 2016.

WIDIA. **Advances / Inch 2021**. 2021. Disponível em: <<https://s7d2.scene7.com/is/content/Kennametal/widia/catalogs/Advances%202021/A->

21-06405_WIDIA%20Hanita%20Advances_2022_Inch_FINAL_LR.pdf>. Acesso em: 18 jun. 2022.

WORLDTOOLS. **Ferramentas soldadas**. [c2010-2021]. Disponível em: <<https://www.worldtools.com.br/ferramentas-para-usinagem/ferramentas-soldada>>. Acesso em: 15 jun. 2022.

Enviado em: 12 set. 2022.

Aceito em: 04 dez. 2022.

Editor responsável: Mateus das Neves Gomes