

RECICLAGEM DE VIDROS OCOS UTILIZANDO A PROTOTIPAGEM RÁPIDA PARA DESENVOLVIMENTO DE MOLDES (RECYCLING OF GLASS USING THE RAPID PROTOTYPING FOR DEVELOPMENT OF MOLDS)

Brito, L.B.Q.¹; Brito, G.F.²; Morais, C.R.S.¹;

¹ UFCG

R. Aprígio Veloso, 882 - Campina Grande - PB, 58429-900

² UFPB

Av. Santa Elisabete, 160 - Rio Tinto - PB, 58297-000

louisebrasileiro@gmail.com

Resumo

A reciclagem de resíduos sólidos para o meio ambiente é de extrema importância, porém o uso de técnicas não industriais na geração de peças de vidro ainda está em ascensão. Esta pesquisa teve por objetivo explorar a manufatura de moldes, através do uso de técnicas de prototipagem rápida para auxílio na reciclagem de resíduos vítreos. Foram utilizadas técnicas de moldagem através de softwares, como Illustrator e Rhinoceros que auxiliaram a criação e impressão 3D em PLA (poliácido láctico) de uma matriz para os moldes. Posteriormente contramoldes em silicone, foram tirados, que por sua vez serviram de base para execução dos moldes em gesso. Em seguida, colocou-se uma mistura de resíduos de vidro oco no interior do molde de gesso e os levou ao processo de fusão, têmpera e recozimento em forno de fusão com velocidade de aquecimento e temperaturas controladas. Finalmente, obteve-se peças com elevada qualidade de reprodução e de rápida manufatura através da reciclagem de resíduos de vidros ocoss.

Palavras chave: Reciclagem, Resíduos Vítreos, Moldes, Prototipagem Rápida, Impressão 3D.

Abstract

The recycling of solid waste to the environment is of extreme importance, but the use of non-industrial techniques in the generation of glass parts is still on the rise. The aim of this research was to explore the manufacture of molds through the use of rapid prototyping techniques to aid in the recycling of vitreous residues. We used molding techniques through software such as Illustrator and Rhinoceros that assisted the creation and 3D printing in PLA (polylactic acid) of a matrix for the molds. Subsequently silicone molds were taken, which in turn served as a basis for the execution of molds in plaster. Thereafter, a mixture of hollow glass residues was placed inside the gypsum mold and led to the melt annealing, annealing and annealing process with heating rate and controlled temperatures. Finally, we obtained parts with high reproductive quality and fast manufacturing through the recycling of hollow glass residues.

Keywords: Recycling, Vitreous Residues, Molds, Rapid Prototyping, 3D Printing.

INTRODUÇÃO

O vidro é um material versátil, que pode ser aplicado para diversos fins. O que o diferencia dos outros materiais é a capacidade de transmitir luz, uma vez que poucos materiais existentes na natureza são transparentes à luz visível [1].

Apesar de ser um resíduo sólido não poluente, o vidro não é biodegradável, ou seja, é um material que não se decompõe pela ação de micro-organismos, permanecendo no meio ambiente

por tempo indeterminado, reduzindo assim a vida útil de vários lixões e aterros sanitários em função de uma ocupação volumétrica muito elevada [2].

A reciclagem do vidro surge como alternativa para diminuir o impacto causado pelo seu descarte. Devido às suas características, quando descartado, não polui o meio ambiente e é fabricado exclusivamente por matérias-primas naturais como areia, barrilha, calcário e feldspato. Há, ainda, economia de matérias-primas naturais, energia, sendo a temperatura necessária para a fusão do vidro reciclado mais baixa, gerando menos poluentes [3].

A iminente necessidade do desenvolvimento sustentável em prol da preservação dos recursos naturais tem levado a pesquisa da reutilização de materiais, outrora descartados no meio ambiente, em diversas cadeias produtivas. O Design requer da exploração de muitos tipos de recursos naturais o que leva a necessidade de se buscar novas alternativas para minimizar o impacto causado decorrente desta exploração [4].

A fabricação artesanal de vidro quente pode-se dividir em baixas temperaturas e altas temperaturas. As baixas trabalham com o vidro entre 450 e 950oC e as altas trabalham entre 950 e 1600°C. Cada uma destas técnicas utiliza um tipo de forno específico. Para trabalhos em baixas temperaturas empregou-se técnicas como a moldagem, o fusing (conformação por fusão), o kiln-casting (conformação por moldagem em forno) e a tocha, enquanto para o trabalho em altas temperaturas tem-se o sopro em cana [5].

Para adquirir formatos bi ou tridimensionais pode-se recorrer aos moldes. Estes, por sua vez, se comportam como fôrmas que com o aquecimento do vidro permitem a acomodação sobre os mesmos [6]. Antes de realizar qualquer fabricação de moldes, é essencial entender as propriedades dos ingredientes constituintes envolvidos em uma mistura de moldes.

Com base em um conceito sugerido por James Kervin e Dan Fenton em seu livro *Pâte de Verre and Kiln Casting of Glass* (1997) [7], uma mistura de moldes deve ser analisada como tendo três constituintes principais: ligantes, refratários e modificadores. Cada uma delas tem funções específicas e pode ser combinada com outras em proporções diferentes, usando uma variedade de materiais prontamente disponíveis, para criar moldes refratários.

A Prototipagem Rápida (PR) é a expressão que designa um conjunto de tecnologias de reprodução física, camada-a-camada, de protótipos virtuais 3D [8]. Ela as seguintes etapas de processo: 1) modelagem tridimensional da peça; 2) geração da geometria 3D no padrão STL (formato de arquivo padrão para prototipagem rápida que cria uma aproximação da superfície da peça usando malha de triângulos); 3) verificação da integridade do arquivo de dados; 4) processo para a fabricação por camada; e 5) pós-processamento da peça, quando necessário.

Uma variada gama de materiais está atualmente disponível para a construção de protótipos neste processo. Entre eles estão: cera, poliéster, PLA (Poliácido Láctico), ABS (Acrilonitrila-Butadieno-Estireno [9]. O PLA, ou Poliácido Láctico, é um polímero sintético termoplástico de baixa contração, biodegradável e robusto que vem substituindo os plásticos convencionais em diversas aplicações. É formado por várias cadeias de repetição do ácido láctico (composto orgânico de função mista - ácido carboxílico e álcool).

Desta forma, este trabalho pretende verificar a possibilidade da manufatura de moldes, mediante o uso de técnicas de prototipagem rápida para auxílio na reciclagem de resíduos de vidro visando a melhora na qualidade das réplicas reproduzidas. Estes processos permitem obter rapidamente ferramentas para a termo formação, usufruindo de maior liberdade na criação de objetos com moldes tridimensionais, reduzindo o tempo de colocação de novas peças no mercado e abrindo novas oportunidades no design de peças em vidro.

MATERIAIS E MÉTODOS

Materiais:

Resíduos vítreos do tipo sódico-cálcicos, provenientes de garrafas de envase nas cores azul e branco; PLA (poliácido láctico); borracha de silicone; gesso beta, sílica (#300) e caulim para o molde.

Métodos:

A metodologia deste projeto foi organizada de maneira a expor as diversas etapas que foram executadas, desde o beneficiamento dos resíduos vítreos até o tratamento térmico das peças.

- Beneficiamento dos resíduos vítreos: Os resíduos vítreos do tipo sódico-cálcicos ocos foram lavados, separados por cor e triturados. Foram utilizados neste projeto os vidros da cor branca (transparente) e o vidro azul. Em seguida eles foram triturados e peneirados entre a granulometria #8 (abertura de 2,36 mm) e #26 (abertura de 0,71 mm).
- Desenvolvimento de projeto de Design: O projeto foi esboçado, levando-se em consideração principalmente as limitações do processo devido ao ângulo de saída. Em seguida passado à limpo para o *software* vetorial Adobe Illustrator, onde os desenhos bidimensionais foram vetorizados e foram feitas simulações da peça.
- Modelagem Tridimensional da peça: utilizando o software Rhinoceros 3D, a peça, seu molde e contramolde foram modelados tridimensionalmente e foram feitos ajustes de medidas, ângulos e formas, possibilitando assim, a geração de simulações tridimensionais e estudo de volumes.
- Geração da Geometria 3D no padrão (.STL) e (.Gcode): Visando dar origem à impressão 3D, foi gerado o arquivo no formato .STL através do Software Rhinoceros. Em seguida o arquivo (.STL) foi aberto no Software Slic3r, onde as configurações de impressão, como resolução, tipo de filamento, velocidade, temperaturas entre outras foram ajustadas e por fim geraram um arquivo no formato de impressão (.Gcode).
- Impressão Tridimensional da Matriz em PLA para o contramolde: O arquivo de impressão (.Gcode) então foi aberto no Software Repetier Host e em seguida iniciou-se a impressão do molde da peça em PLA na Impressora Rep Rap Prusa Guru (Figura 1).

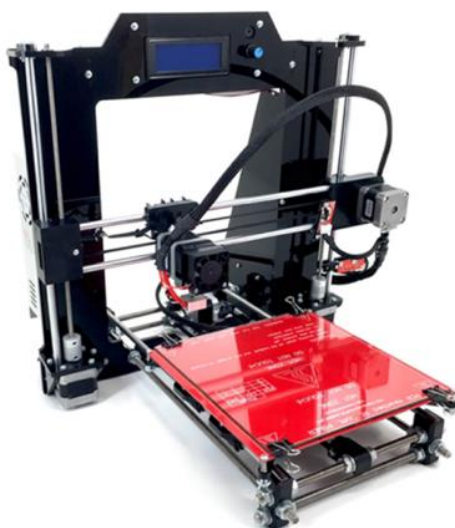


Figura 1 – Impressora 3D Rep Rap Guru Prusa (fonte: <https://reprapguru.com>)

- Obtenção do contramolde em silicone: Foi elaborada uma caixa de papelão rígido e o molde em PLA foi fixado na sua base para receber a borracha de silicone. Esta, por sua vez, foi preparada mediante a adição do catalizador do mesmo. Após o processo de cura o contramolde em borracha de silicone foi obtido.
- Manufatura dos moldes de gesso, sílica e caulim: Para conseguir resistir às altas temperaturas do forno (cerca de 840°C), foram gerados moldes em gesso, sílica #300 e caulim utilizando a proporção, em gramas de acordo com a Figura 2. Estes após secos foram preenchidos com o vidro beneficiado.

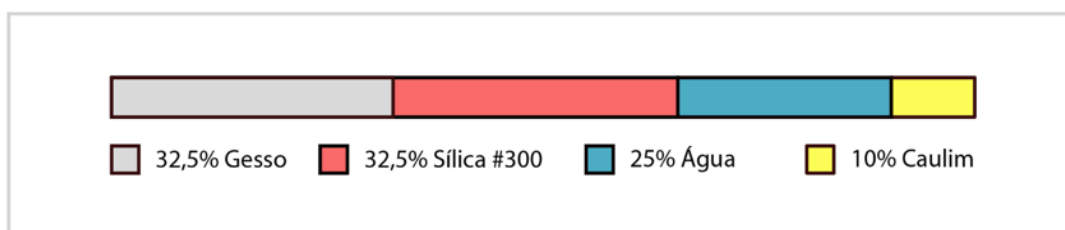


Figura 2 – Composição dos Moldes (acervo do autor).

- Tratamento Térmico: Os moldes em gesso, sílica e caulim receberam o vidro na granulometria entre #8 e #26 e foram levados ao forno para o tratamento térmico. Para tal foi utilizado o forno marca *Linn High Therm*, modelo *Elektro-Term KK260* com resistências internas nas laterais e fundo do forno e controlador para programação de até 20 ciclos de temperaturas. A Programação de queima utilizada para o tratamento térmico pode ser vista na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do Tratamento Térmico

	Faixa de Temperatura (°C)	Razão de Aquecimento/Resfriamento (C°/min)	Patamares de Temperatura (°C)	Patamares de Tempo (Min)	Aquecimento/Resfriamento
1	24 – 482	2,5	482	15	Aquecimento
2	482 – 663	0,6	663	30	Aquecimento
3	663 – 824	10,0	840	30	Aquecimento
4	824 – 516	10,0	516	60	Resfriamento
5	516 – 385	1,6	385	0	Resfriamento
6	385 – 24	4,3	24	0	Resfriamento

RESULTADOS E DISCUSSÃO

- Beneficiamento dos resíduos vítreos: Os resíduos vítreos foram devidamente beneficiados e armazenados. Em seguida formulou-se a mistura do vidro branco (90%) com o vidro azul (10%) para a granulometria entre #8 e #26, como pode ser visto na Figura 3.

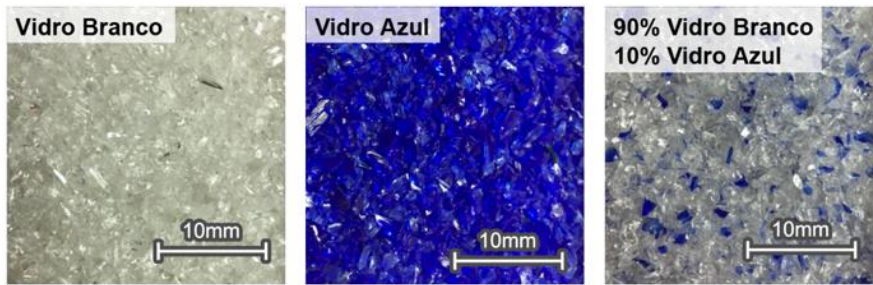


Figura 3 – Vidros Branco, Azul e 90%Branco com 10%Azul (fonte do autor)

- Desenvolvimento de Projeto de Design: Como resultado obteve-se a forma Bidimensional que dará origem à modelagem 3D da peça. Foram feitas simulações do enquadramento das peças em diferentes posições, gerando efeitos e texturas visuais distintas com uma mesma peça reproduzida (Figura 4).

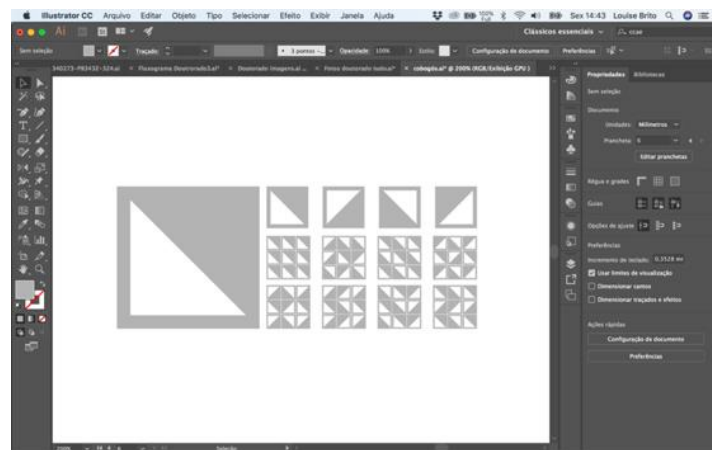


Figura 4 - Interface do Illustrator com Projeto de Design (fonte do autor).

- Modelagem Tridimensional da peça: A partir da forma projetada foi elaborada a modelagem 3D da peça no Rhinoceros 3D que será em Vidro. Em seguida foram geradas as modelagens do molde, que será em PLA inicialmente e em Gesso, Sílica e Caulim posteriormente, e contramolde em Borracha de Silicone (Figura 5).

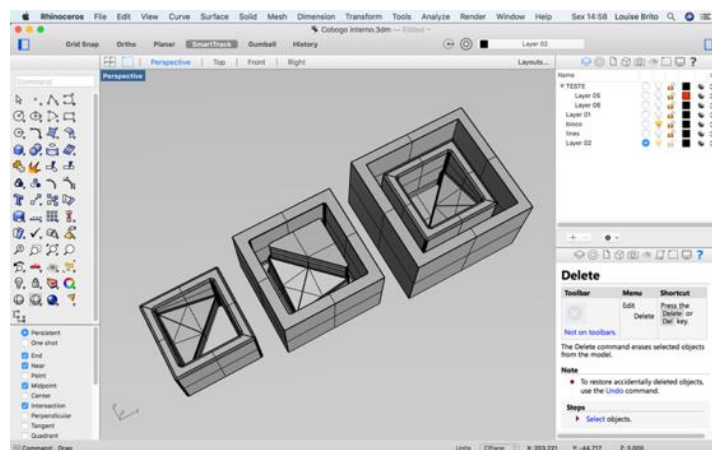


Figura 5 – Interface do Software Rhinoceros com a modelagem da peça, seu molde e contramolde (fonte do autor).

- Geração da Geometria 3D no padrão STL e Gcode: Como resultado obteve-se os arquivos (.STL) e (.Gcode) do molde da peça que serão utilizados para impressão 3D na Impressora (Figura 6).

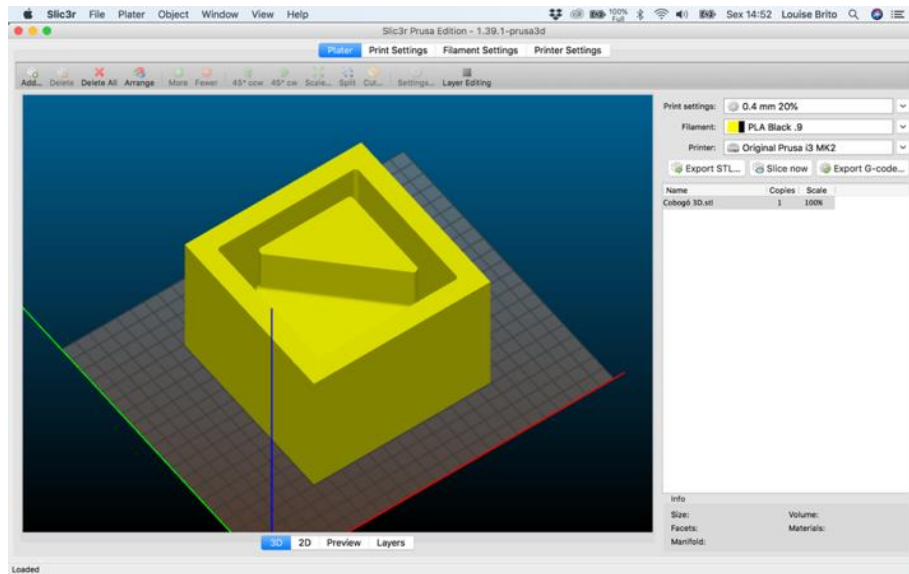


Figura 6 – Interface do Programa Slic3r com o arquivo do molde da peça para ser impresso (fonte do autor).

- Impressão Tridimensional da Matriz em PLA para o contramolde: O arquivo de impressão (.Gcode) então foi aberto no Software Repetier-Host (Figura 7) e em seguida iniciou-se a impressão do molde da peça em PLA na Impressora Rep Rap Prusa Guru.

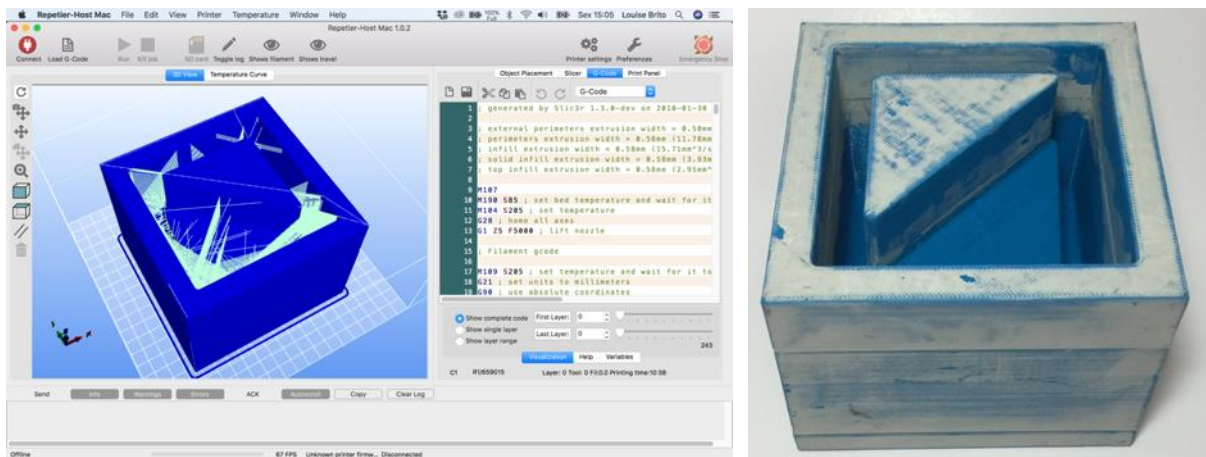


Figura 7 – Interface do Software Repetier-Host (esquerda) e Impressão do Contramolde finalizada e com acabamento (direita) (acervo do autor).

- Obtenção do contramolde em silicone: O contramolde em borracha de silicone (Figura 8) foi obtido através da conformação do silicone em uma base com a impressão 3D posicionada no meio. Após cerca de dez horas o contramolde estava pronto para ser utilizado. Optou-se por cortar o contramolde e biparti-lo para facilitar o desmolde do gesso do seu interior.



Figura 8 – Contramolde da peça em silicone sendo conformado (esquerda); Contramolde pronto (meio); Contramolde bipartido para facilitar o desmolde (direita) (fonte do autor).

- **Manufatura dos moldes de gesso, sílica e caulim:** A mistura de gesso, sílica e caulim foi hidratada e em seguida levada ao interior do contramolde de borracha de silicone. Após cerca de duas horas o molde de gesso foi retirado do interior do contramolde de borracha de silicone e em seguida foi reservado para que ocorresse a secagem natural do molde (Figura 9).



Figura 9 – Mistura de gesso hidratado, sílica e caulim no interior do contramolde de silicone para dar origem ao molde de gesso (esquerda) Moldes prontos secando (direita) (fonte do autor)

- **Tratamento Térmico:** Para realização do tratamento térmico o molde de gesso recebeu a mistura de 90% de Vidro branco com 10% de Vidro azul, ambos na granulometria entre #8 e #26 e foi levado ao forno. Após cerca de 12 horas de tratamento térmico obteve-se a peça final em vidro reciclado (Figura 10).



Figura 1 – Peça final obtida através da reciclagem de vidro (fonte do autor).

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve por objetivo estudar a manufatura de moldes, mediante o uso de técnicas de prototipagem rápida para auxílio na reciclagem de resíduos de vidro. A partir do processo de criação foi possível desenvolver a forma bidimensional que deu origem à Modelagem 3D da peça no Rhinoceros. Modelagem esta que possibilitou a simulação das peças em diferentes posições, gerando efeitos e texturas visuais distintas com uma mesma peça reproduzida e auxiliou na geração do molde que após impresso em PLA serviu de base para o contramolde em borracha de silicone. Este que, após concluído deu origem aos moldes reproduzidos rapidamente em gesso, sílica e caulim, mistura resistente à temperatura máxima do tratamento térmico escolhido. O vidro foi beneficiado, misturado e posicionado no interior do molde e deu origem à peça final. Foi possível verificar neste trabalho a viabilidade da manufatura de moldes, mediante o uso de técnicas de prototipagem rápida para auxílio na reciclagem de resíduos de vidro visando a melhoria na qualidade das réplicas reproduzidas. Estes processos permitem obter rapidamente ferramentas para a termo formação, usufruindo de maior liberdade na criação de objetos com moldes tridimensionais, reduzindo o tempo de colocação de novas peças no mercado e abrindo novas oportunidades no design de peças em vidro.

REFERÊNCIAS

- [1] SHELBY, James. E. **Introduction of Glass Science and Technology**. 2nd Edition, Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2005.
- [2] ABIVIDRO. Disponível em <[http://www.abividro.org.br/vidro/cenario/vidro-construcao -civil](http://www.abividro.org.br/vidro/cenario/vidro-construcao-civil)> Acesso em: 20 nov. 2014.
- [3] BELCHIOR, M. F., SILVA, D. D. E., MORAIS, C. R. S. **A tecnologia social na reciclagem de vidros: o caso da Associação de Catadores e Recicladores do município de Campina Grande**. Encontro Nacional Conhecimento e Tecnologia: Inclusão Socioeconômica de Catadores de Materiais Recicláveis, Brasília, 2014.
- [4] PEREIRA, V. S. **Utilização de Resíduos de Vidros Planos como Filler em Misturas Asfálticas** – Avaliação das Propriedades Físico-Químicas e Mecânicas, 2008.
- [5] SCHUARTZ, E. M. **Manual de Vidraria Artesanal**, São Paulo, 2002.
- [6] THWAITES, Angela. **Mould making for glass**. A & C Black, 2011.
- [7] KERVIN, Jim; FENTON, Dan. **Pate de verre and kiln casting of glass**. GlassWear Studios, 1997.
- [8] COOPER, G.K., **Rapid Prototyping Technology – Selection and Application**, 1 ed., New York, Marcel Dekker Inc, 2001.
- [9] KAI, C.C., FI, L.K., SIN, L.C., **Rapid Prototyping: Principles and Applications**, 1ed., New York, Manufacturing World Scientific Pub Co. 2, 2003.