



Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Abrantes

Luís Filipe Martins da Silva

Impressora de Moldes

Sinterização Molde

Mestrado em Engenharia Mecânica – Projeto e Produção

Mecânica

Orientado por:

Professor Doutor Bruno Chaparro, - Professor-adjunto do
Departamento de Engenharia Mecânica da Escola Superior de Tecnologia de
Abrantes – Instituto Politécnico de Tomar.

Resumo

O processo de fundição consiste num conjunto de etapas necessárias para moldar certos materiais ou ligas. Na primeira etapa recorre-se à fusão do material, seguindo-se o seu escoamento ou vazamento para moldes adequados e posterior solidificação.

A Metalurgia tornou-se um dos sectores mais importantes da economia mundial por isso urgia aperfeiçoar métodos de fundição e surgiram técnicas mais modernas e eficazes.

Hoje em dia, recorre-se cada vez mais á Prototipagem Rápida. Esta técnica consiste na possibilidade de fabricar em série peças complexas a partir de um desenho em computador. A principal função de se produzirem protótipos é a de auxiliarem na análise, na funcionalidade e no efeito estético do produto projectado.

Para além disto, a prototipagem rápida é um processo fácil, de baixo custo e rápido.

Abstract

The casting process consists of a set of steps necessary to mold certain materials or alloys. In the first stage the material is melted, followed by pouring or pouring into suitable molds and then solidification.

Metallurgy has become one of the most important sectors of the world economy so it was necessary to improve casting methods and more modern and efficient techniques have emerged.

Nowadays, Rapid Prototyping is increasingly used. This technique consists in the possibility of making in series complex pieces from a computer drawing. The main function of producing prototypes is to assist in the analysis, functionality and aesthetic effect of the projected product.

In addition, rapid prototyping is an easy, low-cost, and fast process.

Agradecimentos

Em primeiro lugar um agradecimento muito especial ao Professor Doutor Bruno Chaparro, bem como à empresa Critério Radical, por toda a ajuda e disponibilidade de equipamentos.

Em segundo lugar gostaria também de deixar uma palavra de apreço à Escola Superior de Tecnologia de Abrantes, em especial ao Departamento de Engenharia Mecânica e a todos os alunos do Mestrado em Engenharia Mecânica em particular ao Levi Soares.

Por fim não podia deixar de referir a minha família, que nos bons e nos maus momentos sempre me apoiaram com a sua sabedoria e dedicação.

Índice

Capitulo - 1 - Introdução.....	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objectivos da dissertação	1
Capitulo - 2 - Revisão bibliográfica.....	3
2.1. Técnicas aditivas de fabrico e sua caracterização.....	3
2.2. Etapas das técnicas aditivas de fabrico	3
2.2.1. Geração do modelo CAD.....	3
2.2.2. Geração do ficheiro STL	4
2.2.3. Orientação do modelo.....	4
2.2.4. Criação do suporte estrutural	4
2.2.5. Escolha dos parâmetros de impressão	4
2.3. Principais processos de fabrico aditivos	5
2.3.1. SL-Estereolitografia.....	5
2.3.2. FDM- Modelação por deposição de material fundido.....	6
2.3.3. LOM - Construção de objectos em lâminas	6
2.3.4. Ink-Jet - Impressão por jacto de tinta	7
2.3.5. SLS - Sinterização Selectiva a Laser	8
Capitulo - 3 - Método e Materiais.....	9
3.1. Wildlaser 1390LS Plus	9
3.2. Materiais utilizados na mistura da areia	11
3.2.1. Areia, resina e endurecedor	11
3.2.2. Ferramentas desenvolvidas	14
3.2.3. Parâmetros do processo de sinterização	15
3.3. Produção do Molde Experimental	18

3.4. Vazamento	22
Capitulo - 4 - Máquina sinterização.....	25
4.1. Apresentação.....	25
4.2. Funcionamento	27
Capitulo - 5 - Conclusão	30
5.1. Conclusões Finais	30
5.2. Perspectivas de desenvolvimento futuro	31
Capitulo - 6 - Referências Bibliográficas	32
Capitulo - 7 - Anexos.....	33
7.1. Anexo1-Ficha Técnica da Areia	33
7.2. Ficha Técnica da Resina - SANSET HB 031	34
7.3. Anexo3-Ficha Técnica do Endurecedor - ENDURECEDOR AT 21	35
7.4. Anexo 4-Alguns desenhos 2D - Impressora de Moldes	36

Indicie Figuras

Figura 1.Etapas das técnicas aditivas de fabrico.....	3
Figura 2-Exemplo dispositivo de Estereolitografia	5
Figura 3-Modelação por deposição de material fundido	6
Figura 4-LOM- Construção de objectos em lâminas.....	7
Figura 5-Técnica de sinterização selectiva a laser.....	8
Figura 6-Wildlaser LS1390Plus	9
Figura 7- Corte a laser	10
Figura 8- Preparação de misturas de areias	11
Figura 9-Processo de pesagem de areia	13
Figura 10- Corte placa de acrílico com 6mm de espessura	14
Figura 11- Criação de espátulas através de Software CAD.....	15
Figura 12- Placa de experiência.....	16
Figura 13-Sinterização de amostras	16
Figura 14-Sinterização amostra a 38%	17
Figura 15-Alturas de sinterização em mm.....	18
Figura 16- Espátula de 0,5mm.....	19
Figura 17-Desenho CAD molde	19
Figura 18- Montagem	20
Figura 19-Sinterização laser base do molde	20
Figura 20-Sinterização laser do molde	21
Figura 21- Limpeza do molde.....	21
Figura 22-Processo de transformação chumbo	22
Figura 23-Processo de vazamento do chumbo	23
Figura 24-Desmoldação da peça.....	23
Figura 25- Máquina impressão de moldes	25
Figura 26-Caixa de trabalho e caixa de abastecimento	26
Figura 27-Principais elementos da máquina	27
Figura 28- Indicação de posição inicial de trabalho da máquina.....	27
Figura 29- Movimento 1 - descida do aro de elevação.....	28
Figura 30- Movimento 2 - deposição de areia	28
Figura 31- Movimento 3 - Sinterização	29

Indicie Tabelas

Tabela 1- Características Wildlaser LS1390 Plus	10
Tabela 2- Características areia revestida 50/20	12
Tabela 3-Constituição da mistura	14

Abreviaturas

2D - Bidimensional

3D - Tridimensional

CAD - Computer Aided Design

CAM - Computer Aided Manufacturing

PR - Prototipagem Rápida

FRF - Fabrico Rápido de Ferramentas

FDM - Fused Deposition Modeling

LOM - Laminated Object Manufacturing

SLS - Selective Laser Sintering (Sinterização seletiva a laser)

STL - Structural Triangular Language

SL - Stereolithography (Estereolitografia)

Capítulo - 1 - Introdução

1.1. Introdução

A globalização da economia criou em todos os sectores industriais uma necessidade crescente de resposta rápida às solicitações do mercado. Este tipo de resposta traduz-se na redução drástica do tempo de colocação no mercado de novos produtos (“time to market”), sendo um fator crítico para a competitividade e agressividade comercial das empresas, determinando assim a sua capacidade de subsistência. Uma das tecnologias mais determinantes na mudança radical de funcionamento das empresas perante estes novos desafios foi a introdução dos sistemas de CAD/CAM e da capacidade de modelação CAD 3D. Mais recentemente, as tecnologias de prototipagem rápida (PR) e fabrico rápido de ferramentas (FRF) vieram reforçar significativamente esta capacidade em reduzir o time to market [1]. Pretende-se com esta comunicação fazer uma curta introdução à PR e aos seus processos e finalmente apresentar a evolução da sua utilização no nosso País.

A utilização da PR pode eventualmente provocar um aumento dos custos directos de projecto, contudo, a segurança induzida na equipa de projecto pode traduzir-se em ganhos significativos em termos do time to market, garantindo assim uma maior agressividade e consequente vantagem competitiva da empresa utilizadora. Os aparentes incrementos no custo final do produto podem traduzir-se em grandes lucros globais. Paralelamente, a realização rápida de protótipos pode constituir um suporte às acções de marketing e mesmo um precioso auxiliar à comercialização dos produtos.

1.2. Objectivos da dissertação

O seguinte trabalho tem como objectivo geral o desenvolvimento de um sistema protótipo de adição controlada de materiais para a fabricação de componentes com gradientes funcionais através da técnica de sinterização selectiva a laser.

Por isso tem como objectivos específicos:

1. Realização de um projecto de baseado no processo de sinterização a laser

2. Desenvolver um estudo relacionado com a misturas para a sinterização de areias
3. Desenhar uma máquina protótipo

Capítulo - 2 - Revisão bibliográfica

2.1. Técnicas aditivas de fabrico e sua caracterização

As técnicas aditivas de fabrico referem-se aos processos pelo qual um modelo geométrico em três dimensões é utilizado para construir um componente em camadas de material.

O termo "impressão 3D" é cada vez mais utilizado como sinónimo de técnica aditiva de fabrico. Os componentes são produzidos utilizando materiais que podem ser sob forma de pó, líquida ou sólida [2]. Independentemente da técnica utilizada, os processos aditivos de fabrico têm em comum, as seguintes etapas apresentadas na figura 1[3]

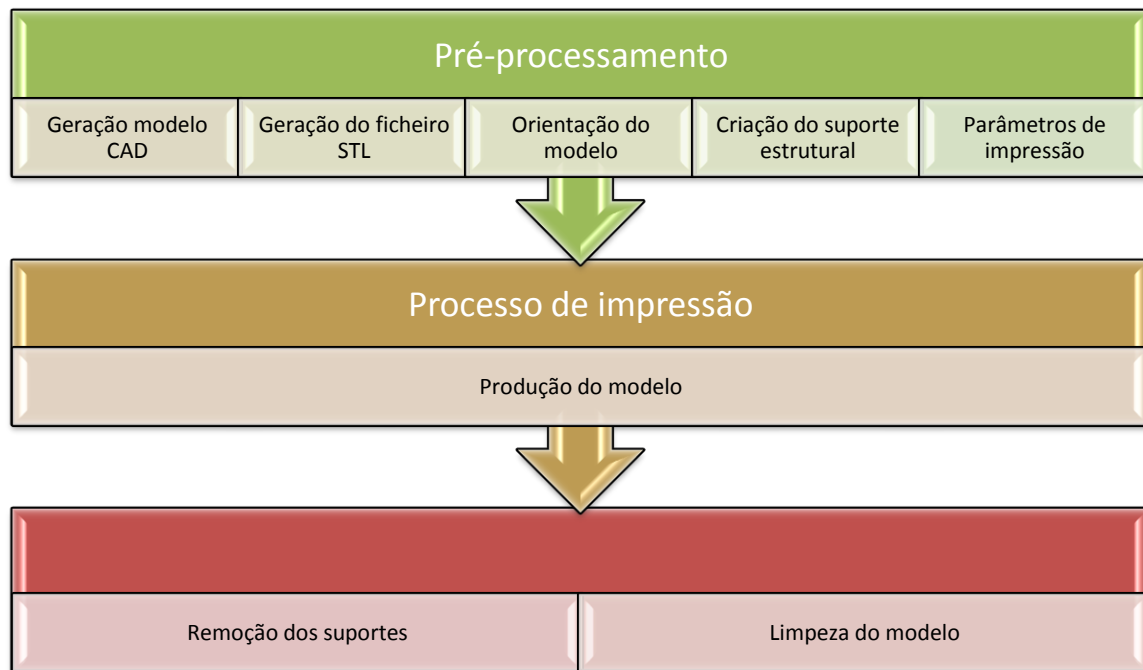


Figura 1. Etapas das técnicas aditivas de fabrico

2.2. Etapas das técnicas aditivas de fabrico

2.2.1. Geração do modelo CAD

De forma a conseguir produzir um modelo digital tridimensional, existe a necessidade de utilizar software de desenho assistido por computador (CAD).

2.2.2. Geração do ficheiro STL

Nesta etapa ocorre a conversão para um ficheiro do tipo STL [4], sendo este o formato mais usual em técnicas aditivas de fabrico. Este formato faz uma aproximação do modelo sólido através de pequenos triângulos. Quando menores forem os triângulos, melhor vai ser a aproximação da superfície. Quando obtido o ficheiro STL, este deve ser convertido num conjunto de camadas finas de secções transversais através da intersecção de uma série de planos XY sobre o modelo

2.2.3. Orientação do modelo

A orientação da peça influencia a qualidade superficial do modelo final, resistência mecânica, necessidade de suportes estruturais e tempo de fabrico [5].

2.2.4. Criação do suporte estrutural

Em modelos que na sua geometria possuam zonas sem apoio, necessitam de ter suportes estruturais. Os suportes servem para fazer a fixação do modelo à plataforma de construção, evitando que o modelo seja correctamente produzido. Após a fabricação de peças com suporte estrutural é necessário realizar a sua remoção, que pode ser remoção mecânica, remoção por dissolução química e remoção térmica.

2.2.5. Escolha dos parâmetros de impressão

Após carregar o ficheiro STL no software do equipamento de fabricação aditiva, existe a necessidade de escolher os parâmetros de impressão mais adequados ao modelo a construir.

Sendo dada a ordem de fabrico o software faz a conversão do modelo STL para código-G. O código-G é uma linguagem de programação no qual máquinas de fabricação usualmente são programadas. No fundo consiste no conjunto de instruções que é dada à máquina sobre a forma como se move (caminho, velocidade, temperatura, rotação).

2.3. Principais processos de fabrico aditivos

2.3.1. SL-Estereolitografia

Esta tecnologia, mais conhecida por SL (Stereolithography), permite fazer a construção de modelos tridimensionais a partir de um polímero líquido sensível à luz que solidifica quando exposto a radiação ultravioleta.

O modelo é construído sobre uma placa situada abaixo da superfície de um banho líquido de resina epóxi ou acrílica. Uma fonte de raio laser ultravioleta faz o mapeamento da primeira camada, fazendo desta forma que a secção transversal do modelo solidifique deixando todas as outras áreas líquidas.

A placa é de novo submersa no banho de polímero líquido e o laser cria a segunda camada acima da primeira. O processo é repetido até o modelo estar completo. Existe a necessidade de introduzir o modelo num forno de radiação ultravioleta de forma a permitir fazer uma cura mais completa. A Estereolitografia foi a primeira técnica que apresentou bons resultados de prototipagem rápida [6].

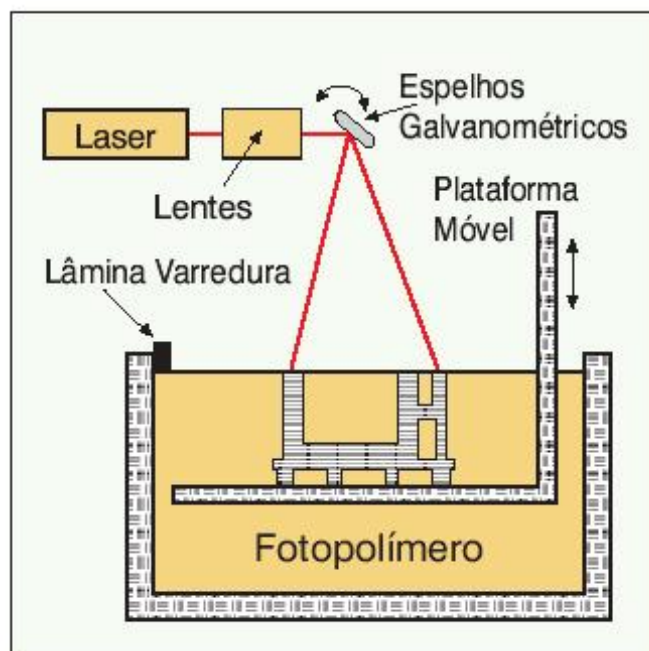


Figura 2-Exemplo dispositivo de Estereolitografia

2.3.2. FDM- Modelação por deposição de material fundido

Neste tipo de tecnologia, de nome "Modelação por deposição de material fundido" ou FDM, um filamento de material plástico é forçado por uma cabeça de extrusão que se encontra à temperatura de fusão do material [7]. O material é depositado enquanto que o bico de extrusão e a plataforma se movimentam em X e Y de forma a mapear a primeira camada.

Assim que esta fica completa, o bico de extrusão sobe e inicia-se a criação de uma nova camada. O processo é repetido até que o modelo fique completo.

O material de suporte é criado conforme haja necessidade de apoio vertical na peça. O material de suporte pode ser do próprio material a ser utilizado ou caso o equipamento possua duas cabeças de extrusão, é feito de um polímero solúvel.

Dentro das diferentes técnicas aditivas disponíveis, o processo FDM tem-se distinguido dos restantes por ser uma tecnologia cujo custo de aquisição de equipamento é inferior.

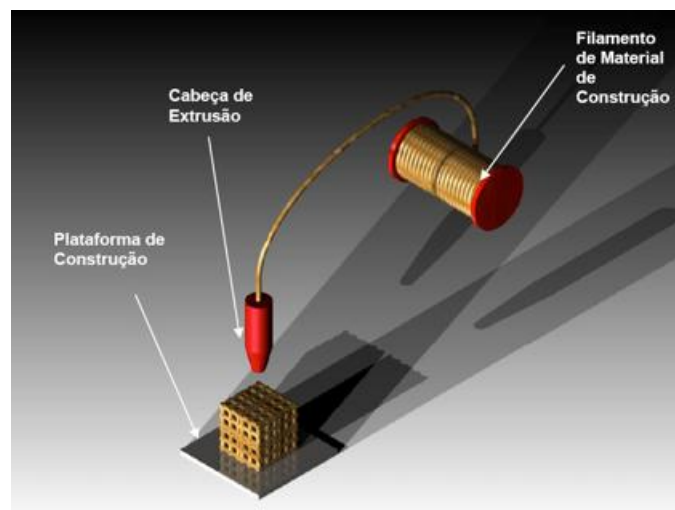


Figura 3-Modelação por deposição de material fundido

2.3.3. LOM - Construção de objectos em lâminas

Esta técnica de fabrico, com o nome de "Construção de Objectos em Lâminas" (LOM), consiste no corte de camadas de material serem unidas entre elas com um adesivo de forma a criar o objecto pretendido. A matéria-prima consiste em papel

laminado proveniente de uma bobine, sendo que o agente adesivo é activado por calor. O recorte das várias camadas que vão constituir a peça final é feito através de um feixe laser de alta precisão.

Após o corte da primeira camada, a plataforma no qual esta se encontra baixa, e um colector avança uma nova tira de papel. Um outro rolo aquecido avança fazendo a cura do agente adesivo. Repete-se agora todo o processo, sendo adicionadas as camadas necessárias de papel.

Os modelos feitos em papel devem ser selados e revestidos de tinta ou verniz de forma a evitar danos provocados pela humidade. De momento já é possível aplicar esta tecnologia utilizando diferentes materiais como plásticos, cerâmicos e metais.

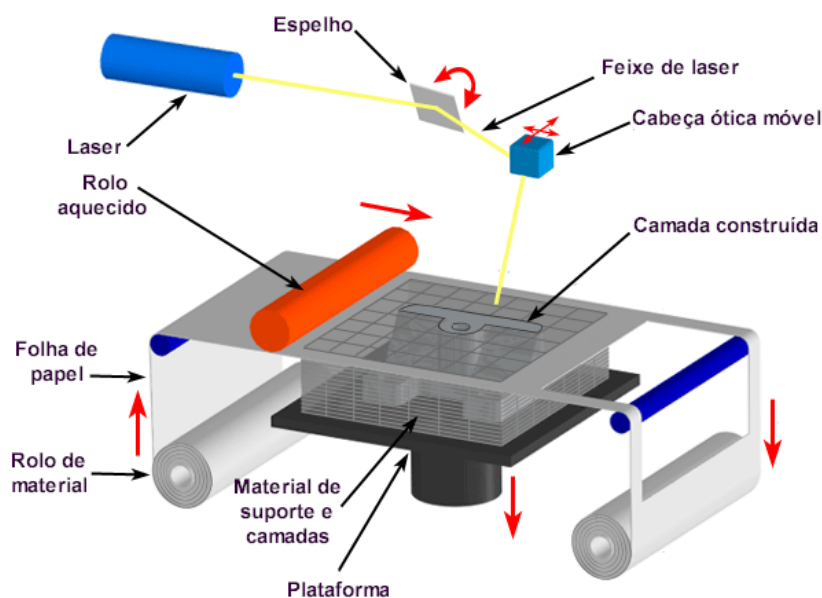


Figura 4-LOM- Construção de objectos em lâminas

2.3.4. Ink-Jet - Impressão por jacto de tinta

Esta tecnologia, de nome "Impressão por jacto de tinta", utiliza tecnologia de jacto de tinta para criar peças.

O modelo é construído sob uma plataforma situada num recipiente preenchido com material sob forma de pó. Uma cabeça de impressão por jacto de tinta deposita selectivamente um agente ligante que funde e aglomera o pó nas áreas desejadas. O pó solto serve de material de suporte vertical para o modelo.

A plataforma baixa, é adicionado mais material sob forma de pó e o processo é repetido até todas as camadas estarem completas. É possível utilizar materiais poliméricos, cerâmicos e metálicos.

2.3.5. SLS - Sinterização Selectiva a Laser

Esta técnica, com o nome de "Sinterização Seletiva a Laser" (SLS) utiliza um feixe laser para, de forma selectiva, fundir materiais pulverulentos, num objecto sólido. As peças são construídas sobre uma plataforma que se encontra imediatamente abaixo da superfície de um recipiente preenchido com o pó fusível (por calor).

Um feixe laser sintetiza a primeira camada na forma do objecto que se pretende obter. A plataforma desce ligeiramente, o pó é reaplicado e o laser traça a segunda camada. O processo repete-se até todas as camadas estarem terminadas. O pó em excesso dá suporte vertical à peça durante o fabrico [8].

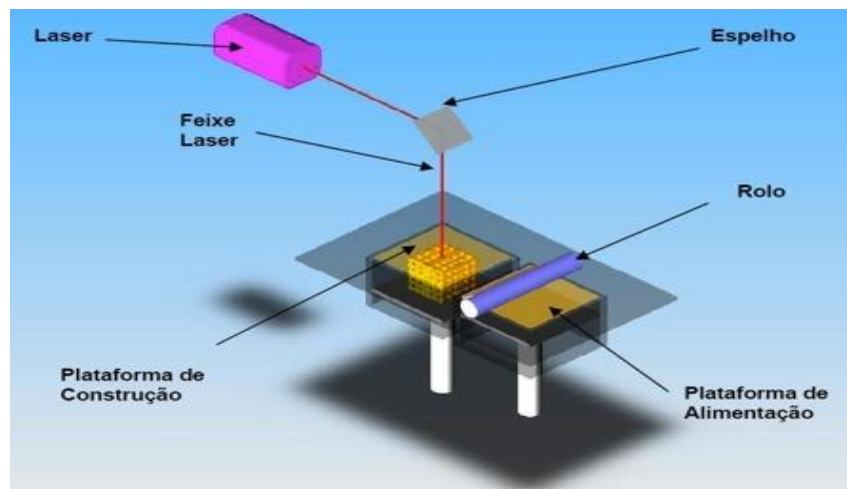


Figura 5-Técnica de sinterização selectiva a laser

Capítulo - 3 - Método e Materiais

Diversos são os modelos encontrados na literatura de projecto de engenharia para o desenvolvimento sistemático do projecto de produtos.

Na maior parte das regras de projecto ocorre a indicação, passo a passo, sobre a maneira de como proceder e sobre os recursos que devem ser utilizados na resolução de determinados tipos de problemas

Existem diversas metodologias e ferramentas que auxiliam o desenvolvimento de projectos, não há uma que seja indicada para todos os tipos de projecto. É necessário, portanto adaptar estas metodologias de acordo com o tipo de projecto a ser realizado.

Tendo em consideração as diferentes fases deste projecto, em seguida apresentam-se os objectivos principais que são abordados neste capítulo.

Assim sendo será abordada a temática das misturas das areias, quais os compostos utilizados na mistura, procedimentos da mistura, equipamentos utilizados e conclusões retiradas das respectivas misturas. Será também criado um molde a partir da mistura seleccionada.

3.1. Wildlaser 1390LS Plus

Máquinas e equipamentos cada vez mais eficientes que apresentam níveis de exigência e qualidade estão nas listas de prioridades das indústrias.

A Wildlaser 1390LS plus é uma máquina de corte a laser, máquina essa que será o ponto de partida para a realização deste projecto. Através desta máquina irá ser produzido todo o material de suporte ao processo experimental, bem como a criação de um molde experimental.



Figura 6-Widlaser LS1390Plus

Esta máquina apresenta várias funcionalidades, sendo as mais utilizadas a função de gravação e a função de corte.

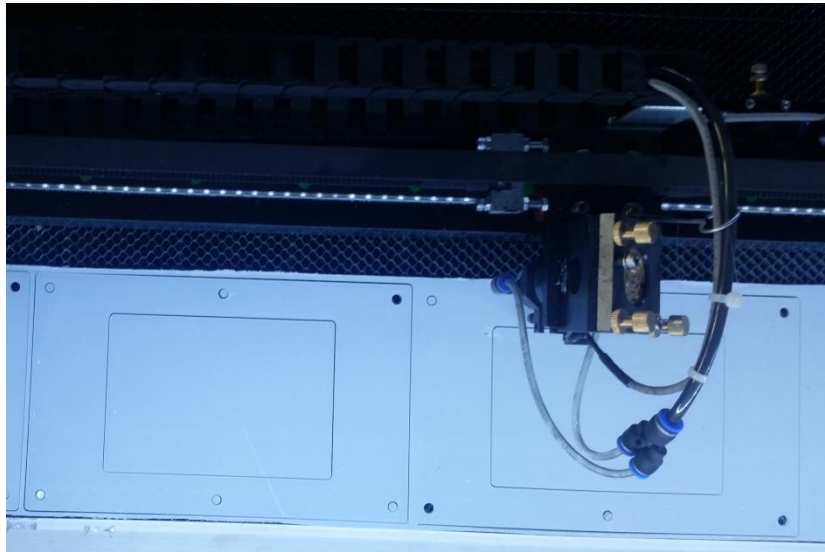


Figura 7- Corte a laser

Na tabela seguinte apresentam-se as características da máquina:

Tabela 1- Características Wildlaser LS1390 Plus

Tipo de Laser	Tubo Selado CO2
Potência Laser	RECI 120 W
Tamanho Mínimo de Letra	1mm x 1mm
Velocidade Máxima	Até 60.000mm / min
Área Trabalho	1.300 x 900mm
Refrigeração	Chiller Industrial a água
Conectividade	USB
Software	RDCAM
Formato Ficheiros	PLT,BMP,DXF, AI
Dimensões	1.370 x 1.780 x 1.100 mm
Peso	320 kg
Mesa de trabalho ajustável em altura, com gavetas de recolha; Entrada frontal e traseira para materiais de maiores dimensões e rolos; Ponto Zero com Red Dot; Sistema de extracção de fumos;	

3.2. Materiais utilizados na mistura da areia

Para a realização deste projecto foi necessário realizar um estudo relacionado com misturas de areia. Esta fase é muito importante uma vez que as misturas seleccionadas vão ser utilizadas para a concepção de um molde.



Figura 8- Preparação de misturas de areias

3.2.1. Areia, resina e endurecedor

As misturas realizadas durante o estudo têm como principais componentes a areia, a resina e o endurecedor.

A areia tem uma extrema importância, estando esta presente na mistura em grande quantidade. A finura do grão tem de ser levada em consideração, uma areia mais grosseira requer menos ligante, tornando-se menos permeável, mas irá provocar um acabamento rugoso. Uma areia mais fina implica um acabamento bom mas necessita de mais resina e catalisador, devido á maior superfície específica.

A areia utilizada na mistura foi a areia revestida 50/20 [Anexo1] da empresa Fundipor e tem como principais aplicações o fabrico de pequenos machos apresentando boas propriedades de desagregação após vazamento.

Na seguinte tabela apresenta-se as principais características mecânicas da areia revestida 50/20:

Tabela 2- Características areia revestida 50/20

Referência	Resistência Flexão a Quente	Resistência Flexão a Frio	Granulometria	Densidade
50/20	9-12 Kg/cm ²	20-24 Kg/cm ²	50-60 AFS	1,560-1,630

A resina epoxídica ou poliepóxido, é um polímero termoendurecível, que polimeriza quando se mistura com um agente catalisador.

As resinas usadas são fenólicas, furânicas e misturas destes dois tipos. As resinas furânicas são compostas por furfurílico formaldeído e polímeros de ureia formaldeído enquanto as resinas fenólicas são polímeros fenol formaldeído, contendo alguns polímeros de ureia formaldeído para aumentar a resistência.

A resina utilizada na mistura foi a resina Sanset HB 031 [Anexo2] da empresa Fundipor. Esta resina apresenta uma cor verde, de base ureia-formol para caixa quente.

É uma resina especialmente indicada para machos em peças de alumínio e latão (torneiras e acessórios).

A adição de Conservador KP 64 (10% sobre o peso da resina) facilita a desagregação dos machos e aumenta a vida de bancada e fluidez da areia.

Mistura típica:

- 100 Kg de areia seca 50 AFS
- 0,5 Kg de Endurecedor AT 21
- 2 Kg de Resina Sanset 031

A nível de catalisadores ou de agentes de endurecimento, o número de produtos disponíveis comercialmente é muito extenso, mas a sua escolha depende de factores como o custo, a facilidade de utilização, tempos de cura e as propriedades mecânicas, químicas, térmicas e eléctricas do produto após cura.

Em conjunto com as características de cada agente endurecedor utilizado, convém ter em consideração que as temperaturas e os tempos de cura usados têm sempre um papel fundamental nas propriedades finais da resina.

Neste processo foi então utilizado o endurecedor AT21 [Anexo3] da empresa Fundipor, que é composto por uma solução aquosa de ureia, sais de amónio e outros aditivos.

Tem como principais objectivos servir de catalisador para resinas de caixa quente especialmente Sanset HB 031.

3.2.1.1. Seleção mistura de areia

O critério de selecção da mistura da areia foi baseado segundo os seguintes parâmetros:

- ✚ Homogeneidade da mistura
- ✚ Textura da areia
- ✚ Grau de humidade da mistura
- ✚ Resistência da mistura

Para que fosse possível atingir estes parâmetros foram realizados vários testes com várias quantidades de areia resina e endurecedor. Para isso foram utilizados alguns equipamentos como balança e recipientes para a pesagem como se demonstra na seguinte figura

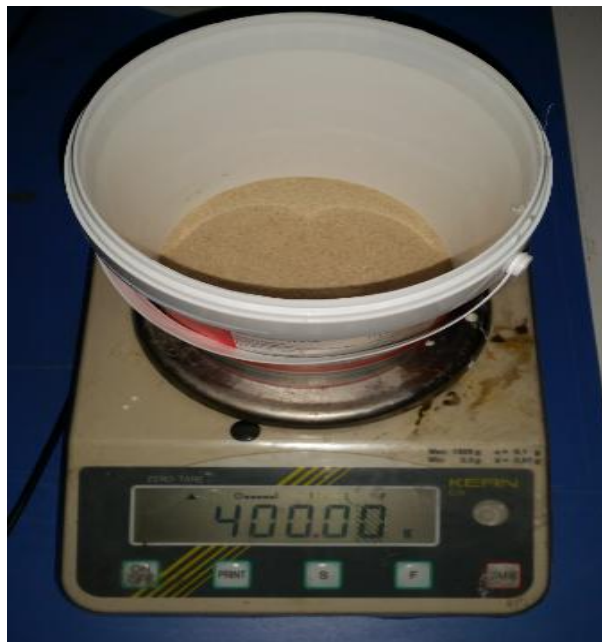


Figura 9-Processo de pesagem de areia

No caso concreto a mistura que apresentou melhores condições para a experiência foi a seguinte:

Tabela 3-Constituição da mistura

Mistura	Areia [g]	Resina [%]	Endurecedor [%]
M1	400	0,062	0,025

De salientar também que após realizar a mistura várias vezes, chegou-se á conclusão que após aguardar sensivelmente 30 minutos dentro do recipiente, a areia começou a perder a humidade da resina e do endurecedor, o que revelou ser bastante importante uma vez que quando for necessário espalhar a mistura manualmente camada a camada esta não irá conter impurezas nem formar pequenos detritos que podem prejudicar a deposição da mesma.

3.2.2. Ferramentas desenvolvidas

Para se determinar as características técnicas do processo proposto, é importante conhecer os materiais utilizados, bem como a forma como foram processados. Para iniciar o processamento do material é necessário definir previamente determinados parâmetros e efectuar certas tarefas.

Relativamente aos equipamentos produzidos, estes foram feitos a partir do corte de placas em acrílico, devido ao seu baixo custo associado bem como a facilidade de manuseamento das mesmas.

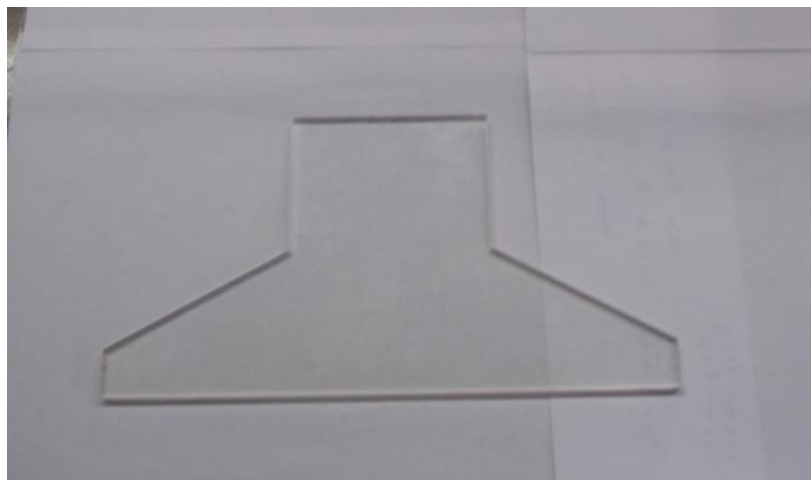


Figura 10- Corte placa de acrílico com 6mm de espessura

O acrílico é classificado como um polímero termoplástico que apresenta as seguintes características:

- Transparência cristalina
- Boa dureza superficial
- Boa resistência química
- Estabilidade mecânica

Desta forma as ferramentas utilizadas foram inicialmente desenhadas com o auxílio de software CAD (solidworks), que foram gravadas em formato DXF e que por fim foram transferidas para máquina de corte a laser.

Entre os diversos componentes produzidos, estão espátulas de várias espessuras para o auxiliar na deposição correcta e uniforme da mistura da areia. Foram produzidas também placas estruturais de forma a conseguir colocar as misturas de areia para a sinterização.

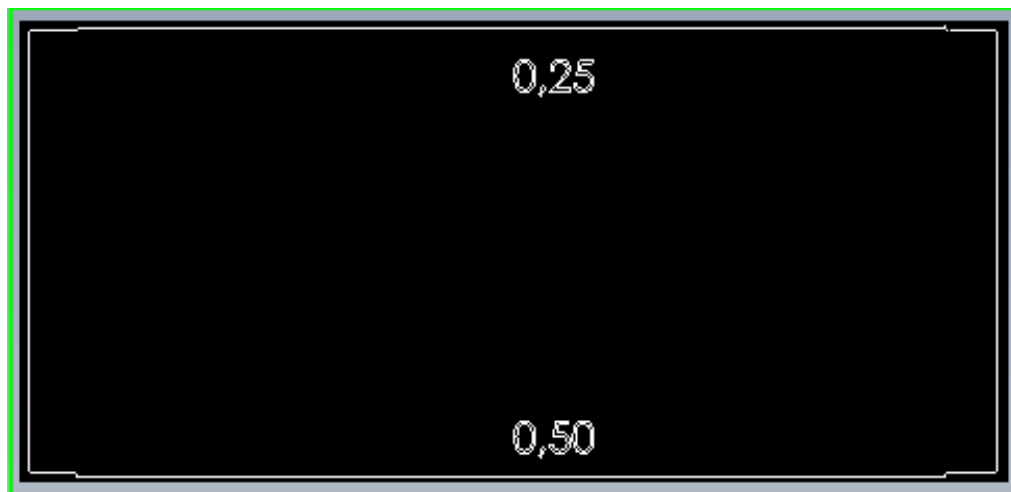


Figura 11- Criação de espátulas através de Software CAD

3.2.3. Parâmetros do processo de sinterização

Após a seleção da mistura da areia, seguiram-se novas experiências para a escolha do processo de sinterização mais adequado à criação do molde

Estas experiências foram realizadas segundo três aspetos diferentes, que foram os seguintes:

- Percentagem de potência do laser
- Velocidade de sinterização
- Altura da camada de areia a sinterizar.

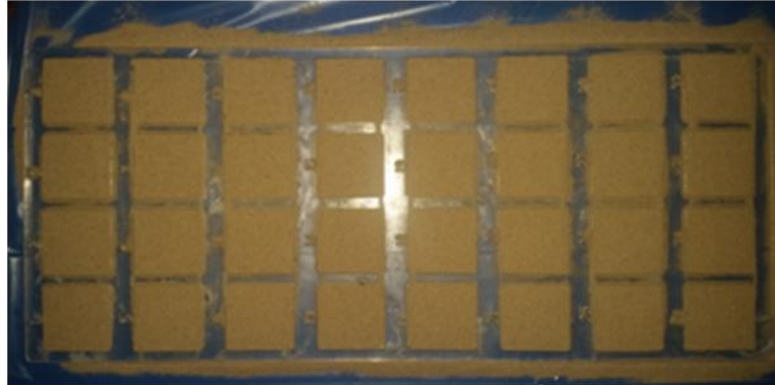


Figura 12- Placa de experiência

Um dos parâmetros mais importantes nesta fase do projeto, foi a escolha da potência do laser, uma vez que é através deste parâmetro que as camadas da mistura da areia irão fundir, ou seja, ficarão ligadas entre si.

Como já foi descrito anteriormente, o laser que foi utilizado para a experiência foi um laser de 120W de potência. Esta potência é assumida na máquina em forma de percentagem, percentagem essa que vai de 1% até aos 100% respectivamente.

Assim sendo, utilizou-se a mistura de areia selecionada, colocou-se em placas de ensaio, previamente construídas e iniciou-se o processo de sinterização com diferentes percentagens de potência como se ilustra na seguinte figura.

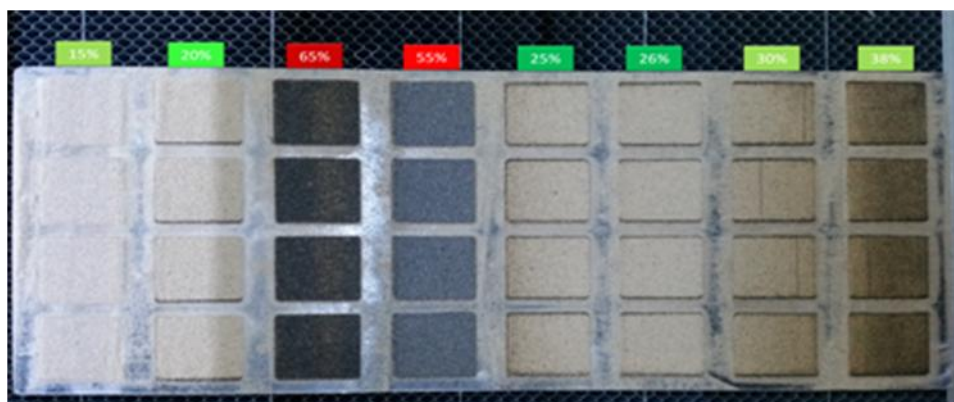


Figura 13-Sinterização de amostras

Como se pode verificar na figura13, as amostras sinterizadas apresentam texturas bastante distintas. A gama de percentagens, nesta amostra varia entre os 15% e os 65%, uma vez que foi neste intervalo que se registaram os melhores resultados.

Verificou-se também que a amostra que apresentou melhores qualidades, foi a amostra sinterizada com uma percentagem de potência de 38% uma vez que foram conseguidas espessuras de sinterização de cerca de 0,5mm e com níveis de resistência pretendidos em comparação com as outras amostras.



Figura 14-Sinterização amostra a 38%

Para que fosse possível obter estes resultados, foi necessário conjugar a velocidade de sinterização com o laser.

A máquina cujos testes foram realizados consegue atingir velocidades de 60000mm/min. Na realidade os valores utilizados nestas experiências foram substancialmente mais baixos.

A velocidade de sinterização não pode ser demasiado elevada, uma vez que conjugada com a percentagem de potência do laser, a amostra não fica sinterizada. De igual modo a velocidade de sinterização não pode ser demasiado baixa, uma vez que associada à percentagem de potência, as amostras ficam queimadas

3.3. Produção do Molde Experimental

Para a realização do molde, após a selecção da mistura da areia, surgiu um problema relacionado com a altura de sinterização. Esse problema estava relacionado com o eixo Z da máquina de corte a laser uma vez que a cada nova camada de areia, teria de ser feito o incremento manualmente.

Para isso foram construídas placas de acrílico com várias alturas, de forma a conseguir efectuar testes de sinterização para determinar a altura necessária para fazer a sinterização camada a camada.



Figura 15-Alturas de sinterização em mm

Como se verifica na figura15, foram marcadas várias alturas na placa de acrílico. A placa inicial tem uma espessura de 2mm, e as alturas foram marcadas com intervalos de 0,25mm.

Através da construção destas placas foi possível indicar à máquina através da marcação do ponto zero a altura de sinterização pretendida que no caso concreto foi de 0,5mm.

Para garantir que as camadas de 0,5mm eram depositadas de forma correta, foram construídas espátulas com a altura indicada.

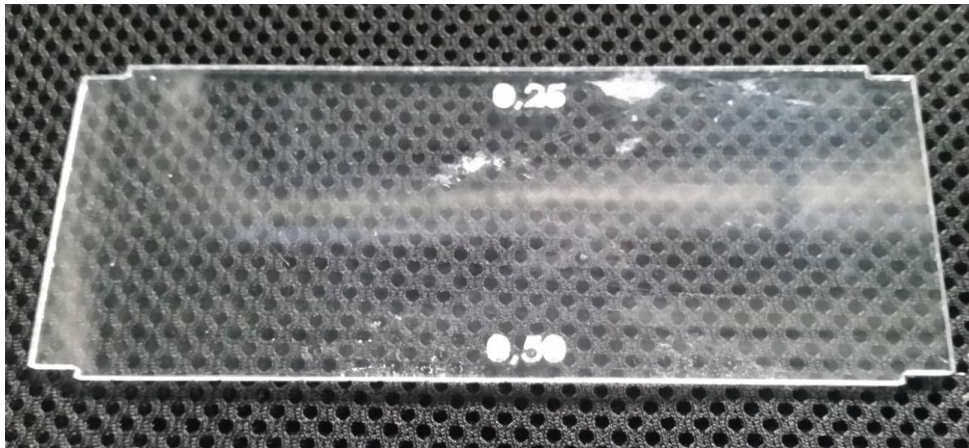


Figura 16- Espátula de 0,5mm

Em seguida, foi desenvolvido um molde com o auxílio de software CAD. Este molde teve como principal objetivo testar a mistura de areia selecionada. Trata-se de uma peça de forma simples e sem dificuldade geométrica, com objetivo de poder mostrar que é possível desenvolver e apurar ainda mais esta técnica.

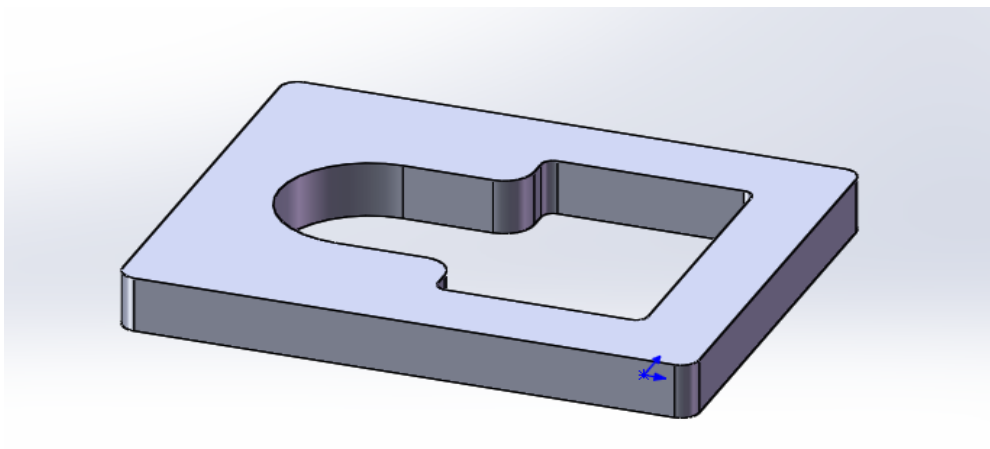


Figura 17-Desenho CAD molde

Ao iniciar o processo de sinterização, foi necessário proceder à montagem da estrutura desenvolvida para o molde. De salientar que todo o processo foi feito de forma manual com intuito de ser simples e prático. Assim sendo a montagem apresenta a seguinte constituição:

- Base em acrílico de 6mm
- Placas da estrutura de acrílico com 2mm
- Varão roscado M6
- Porcas M6



Figura 18- Montagem

O início da sinterização teve relacionado com a criação da base do molde. É através desta base que todo o molde irá ser construído. Esta base irá ter uma espessura de 5mm, o que significa a necessidade de utilização de três placas de acrílico. Sendo a altura de sinterização de 0,5mm o processo foi repetido 10vezes.

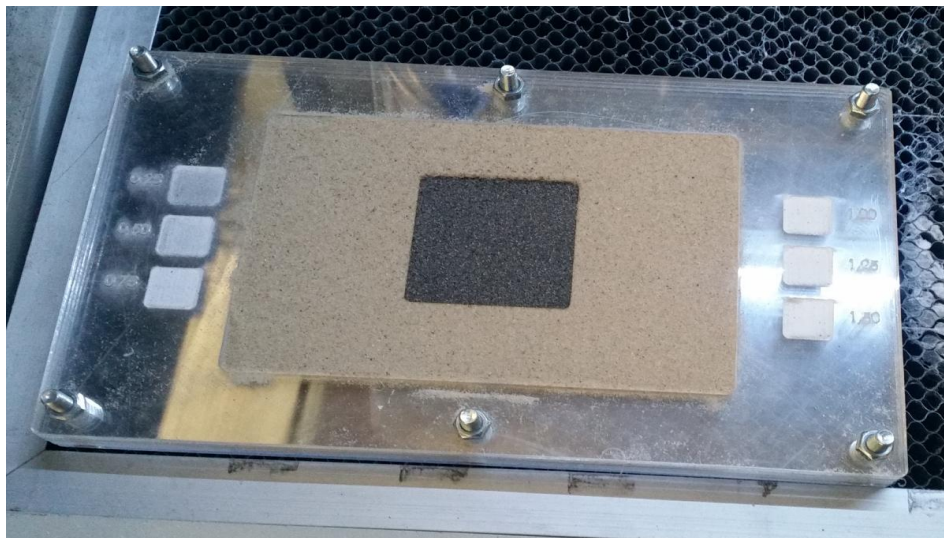


Figura 19-Sinterização laser base do molde

Depois de sinterizar a base do molde, deu-se início ao processo sinterização ao molde. Após de sinterizar os 5mm da base, para o restante molde foram sinterizadas mais 30 camadas o que fez um total de 15mm.



Figura 20-Sinterização laser do molde

Com o processo de sinterização do molde completo, iniciou-se os trabalhos finais de acabamento e limpeza do molde

Este processo requer algum cuidado, uma vez que se a limpeza do molde não for feita de forma adequada, poderá existir a possibilidade de danificar o mesmo. A limpeza foi feita com o auxílio de um pincel e de uma pistola de ar comprimido.

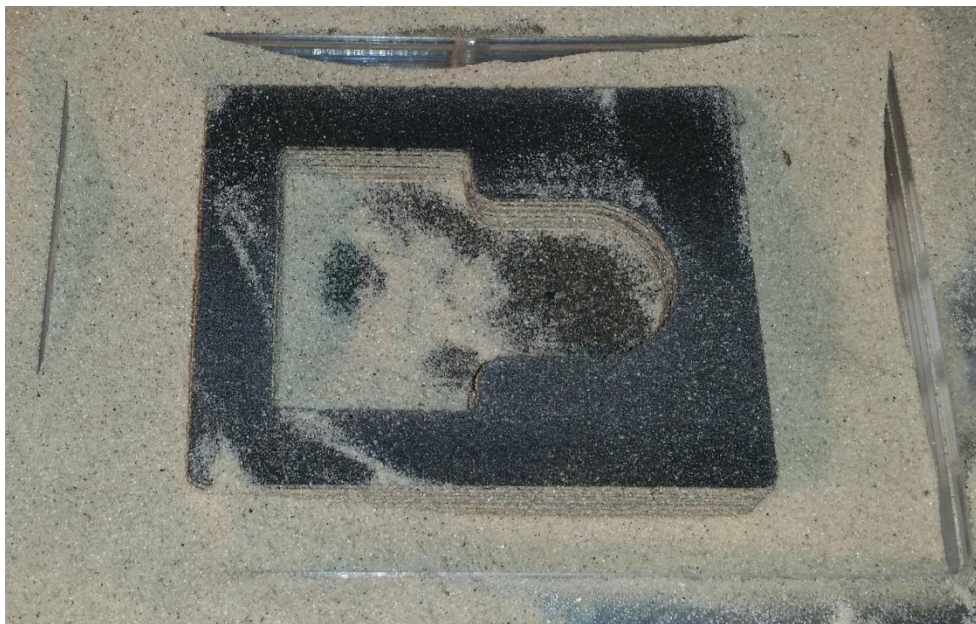


Figura 21- Limpeza do molde

3.4. Vazamento

Para poder comprovar que a técnica de sinterização da areia é possível de realizar, decidiu-se proceder ao vazamento de uma peça para o molde produzido.

Este vazamento surgiu como uma oportunidade de mostrar fisicamente o resultado final desta dissertação.

Para a realização do vazamento foi selecionado o chumbo. O chumbo pertence á família dos metais, e a razão da sua escolha esteve relacionada com o seu baixo ponto de fusão, que é de aproximadamente 330°C .

Para poder transformar o chumbo em estado sólido, no estado liquido, foi necessário recorrer a uma série de equipamentos de auxílio tais como:

- Maçarico
- Colher de vazamento
- Equipamento de proteção individual



Figura 22-Processo de transformação chumbo

Após obter o chumbo no estado liquido, procedeu-se ao vazamento do mesmo para o molde anteriormente produzido.



Figura 23-Processo de vazamento do chumbo

Depois da realização do vazamento do chumbo para o molde, foi feito o arrefecimento da peça até à temperatura ambiente.

Após a peça atingir a temperatura ambiente, precedeu-se á desmoldação da mesma.



Figura 24-Desmoldação da peça

Após a realização da mistura ela deverá ter um tempo de repouso de pelo menos 30 minutos, para que possa perder a humidade e seja mais fácil a sua aplicação em camadas finas.

Utilizando um processo rudimentar, com pouco controlo das camadas de areia aplicadas e fazendo uso uma máquina de corta laser convencional, foi possível a produção de um molde de areia para fundição com sucesso.

Capítulo - 4 - Máquina sinterização

4.1. Apresentação

Após a realização do molde através da máquina de corte a laser, o seguinte capítulo pretende demonstrar de uma forma sucinta e prática um esboço de uma máquina tipo [Anexo4], para a realização de moldes através da técnica de sinterização a laser.

A máquina contará com aproximadamente 1371mm de comprimento, 833mm de largura e uma altura total de 1211.5mm. O peso total estimado será de 180kg.

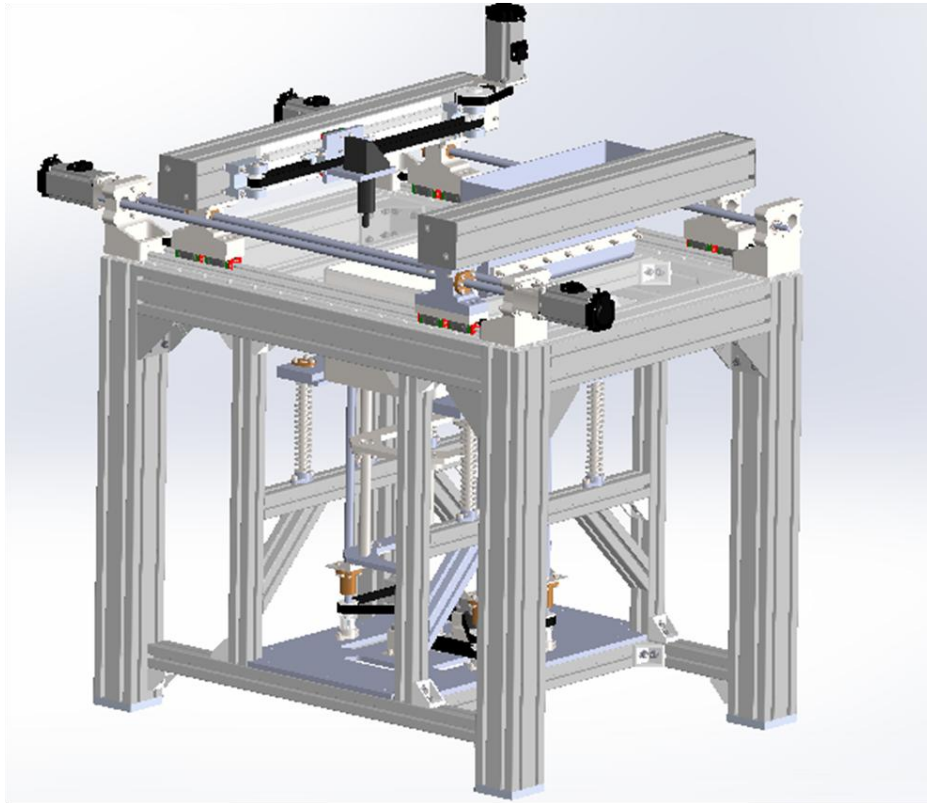


Figura 25- Máquina impressão de moldes

Possui um depósito de areia superior, que servirá para abastecer a caixa principal de trabalho por meio da deposição controlada da areia, camada a camada. A caixa principal tem 400mmx260mmx200mm (CxLxA).

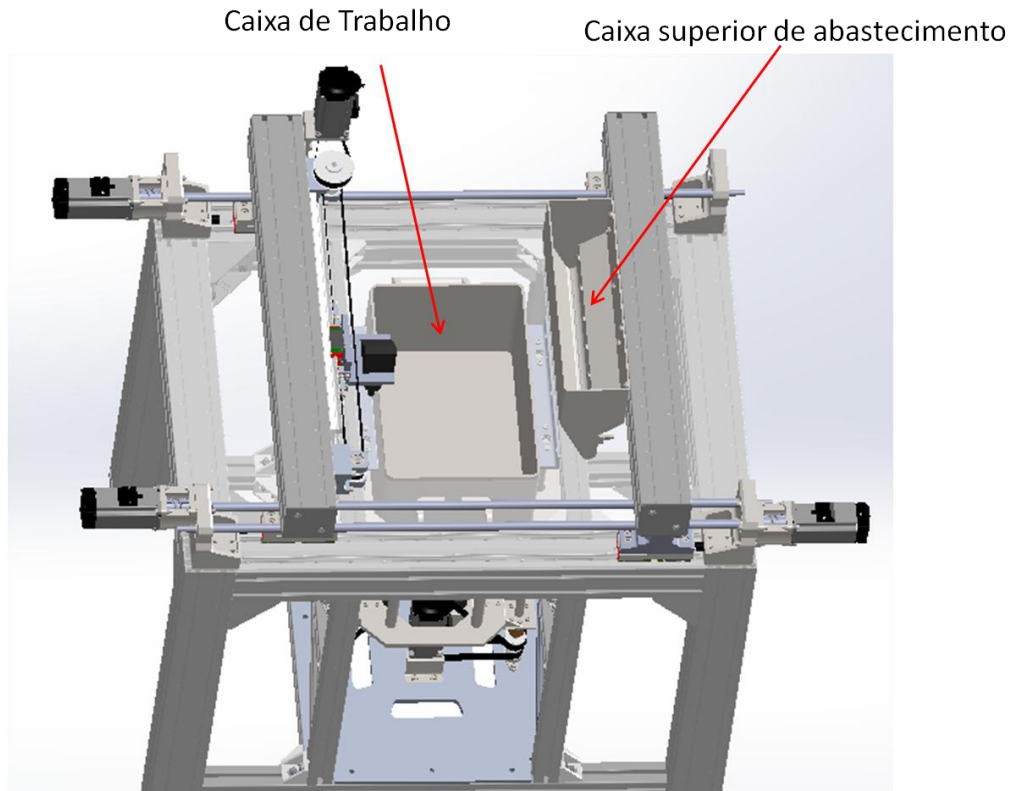


Figura 26-Caixa de trabalho e caixa de abastecimento

A estrutura projetada é em perfil de alumínio, um material que confere resistência à máquina e ao mesmo tempo a torna mais leve, comparativamente ao aço por exemplo.

Elementos principais:

1. Laser;
2. Caixa Superior ou depósito de Abastecimento de areia;
3. Caixa de trabalho;
4. Conjunto de Elevação (eixo vertical);
5. 6. e 7. - Motores;
8. Estrutura
9. Base de assentamento da caixa de trabalho.

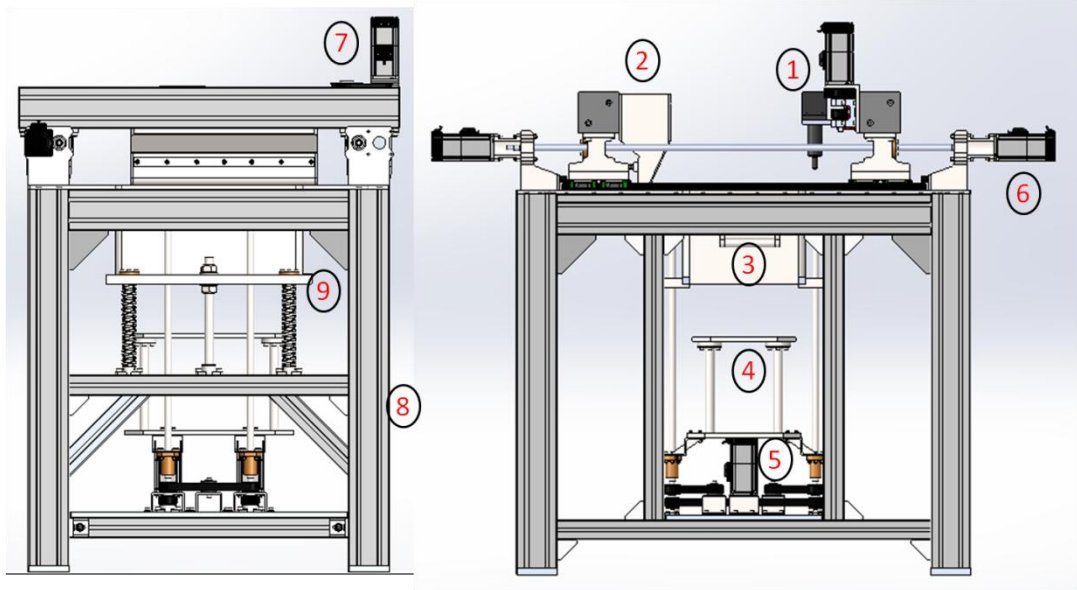


Figura 27-Principais elementos da máquina

4.2. Funcionamento

Inicialmente o aro de elevação deverá estar na posição 1, (figura 28), colocando o fundo da caixa na posição mais elevada.

Com a mistura de areia no depósito superior, a máquina estará pronta a dar início ao ciclo trabalho.

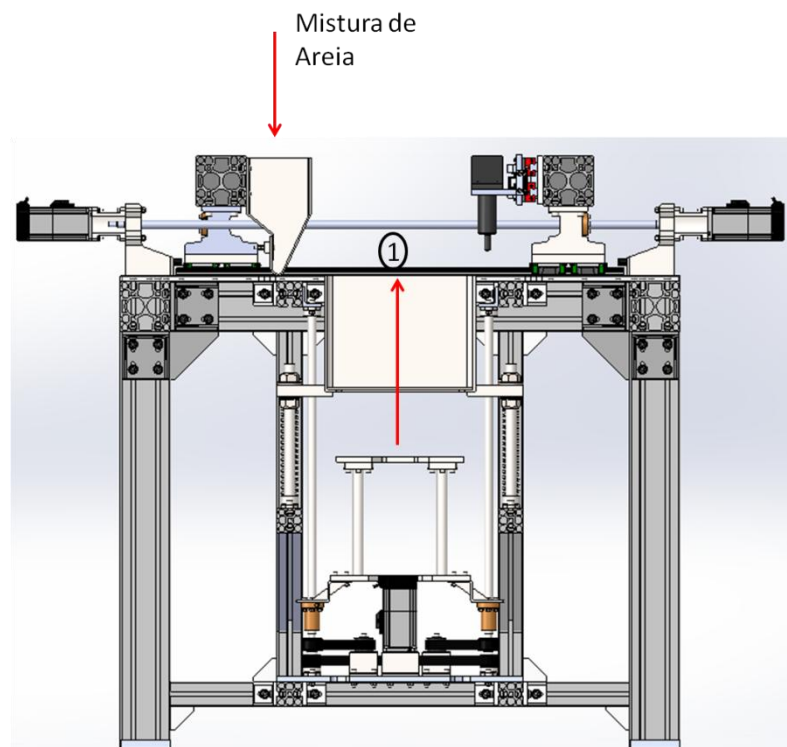


Figura 28- Indicação de posição inicial de trabalho da máquina

Início do ciclo:

Movimento 1- Com o aro de elevação na posição mais alta, este irá descer apenas o correspondente à espessura de uma camada de areia desejada (ex: 0.2mm).

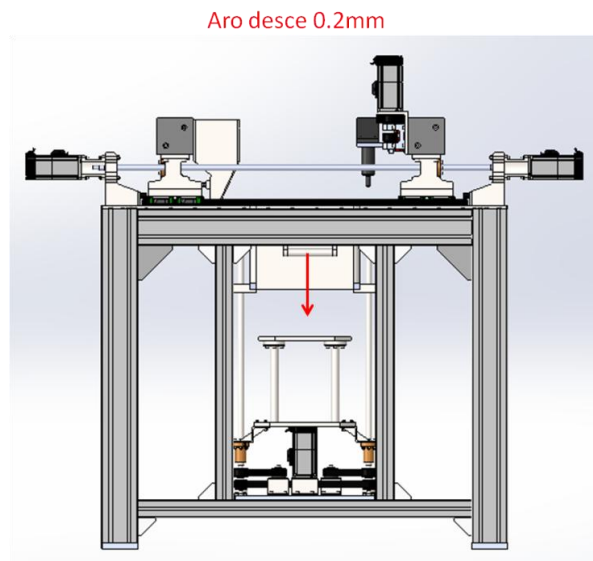


Figura 29- Movimento 1 - Descida do aro de elevação

Movimento 2 - A caixa de superior avança fazendo o varrimento da caixa de trabalho e depositando uma camada de areia (0,2mm). Voltando de seguida para a sua posição inicial.

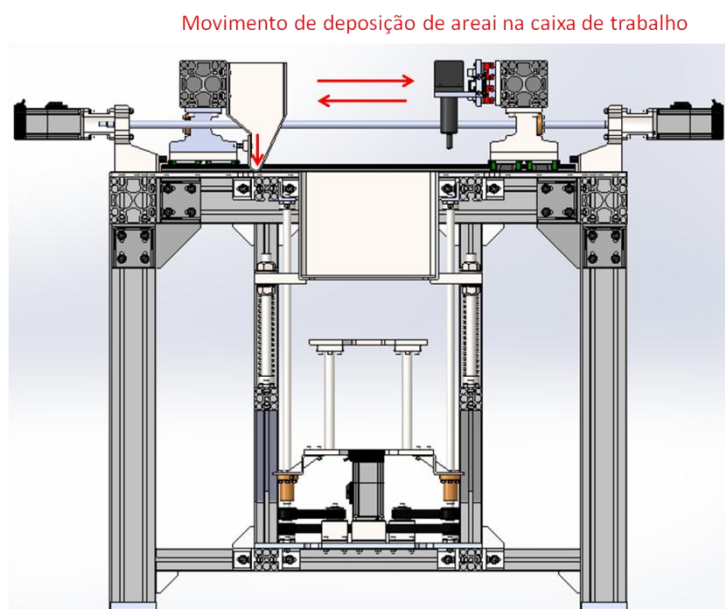


Figura 30- Movimento 2 - Deposição de areia

Movimento 3 - O Laser inicia o movimento, aplicando calor nos pontos específicos desejados de acordo com a programação feita, sinterizando a mistura de areia, resina e endurecedor. Após concluir a sinterização, o laser voltará à sua inicial.

Movimentos de Sinterização do Laser

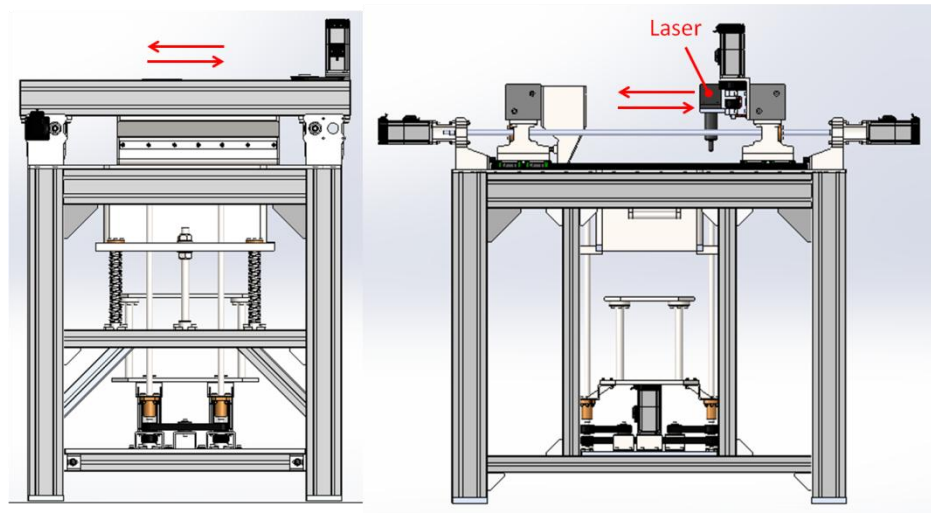


Figura 31- Movimento 3 - Sinterização

Seguidamente, o aro de elevação irá baixar mais 0.2mm dando-se início a um novo ciclo de trabalho da máquina. Os ciclos irão repetir-se até à conclusão do molde ou dos moldes que eventualmente estejam em produção.

Capítulo - 5 - Conclusão

5.1. Conclusões Finais

A presente dissertação tem como objetivo principal demonstrar a possibilidade de construir moldes a partir da técnica de sinterização a laser através da realização de misturas de areias, resinas e endurecedor

Apesar de ainda não se ter construído a máquina de impressão 3D, foi possível testar a sua viabilidade, bem como apurar alguns parâmetros relacionados com o seu funcionamento e operação do laser, como potencia e velocidade. Do mesmo modo testou-se os parâmetros de funcionamento das matérias-primas, areia, resina e endurecedor lançando bases sólidas e encorajadoras para a construção efetiva da Impressora 3D de moldes de Areia.

Com base nas experiências realizadas pode-se concluir que:

- A espessura das camadas de areia deverão ser mais baixas que 0.5mm, portanto 0.2 ou 0.1mm. Só é possível realizar esse valores numa máquina com movimentos controlados no eixo da caixa de trabalho, como a máquina aqui projetada.
- Após a realização das misturas de areia, constatou-se que ao fim de algum tempo a mistura perde a sua humidade vinda da resina e do endurecedor, não afetando as suas características na sinterização
- É necessário garantir melhores condições aquando a realização das misturas (controlo temperatura ambiente, materiais utilizados para misturar os componentes, etc.)
- É possível obter moldes e proceder ao vazamento dos mesmos
- O laser utilizado nos testes pode ser modificado afim de garantir mais rapidez no processo de sinterização, aplicando outros tipo de laser.

Após a realização deste projeto pode-se concluir que a sinterização a laser é uma tecnologia com uma potencialidade muito grande, mas ao mesmo pouco desenvolvida em Portugal.

5.2. Perspectivas de desenvolvimento futuro

Após a realização desta dissertação, facilmente se consegue observar uma potencialidade enorme em relação ao tema abordado, mas por vezes a falta de tempo e também a falta de alguns conhecimentos técnicos não permitiram satisfazer todas as questões relacionadas com o tema.

Como trabalho futuro seria interessante desenvolver uma série de estudos, designadamente:

- Desenvolvimento da máquina de moldes, aprofundando o estudo aqui realizado
- Realização de um estudo sobre métodos de misturas utilizadas no processo de sinterização de areias
- Aprofundar o conhecimento sobre molde desenvolvido através da mistura
- Desenvolver um estudo relacionado com custos de fabricação de uma máquina desta natureza.

Capítulo - 6 - Referências Bibliográficas

- [1] - Ferreira, José M. G. de Carvalho, Tecnologia da Fundição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1999.
- [2] - Osório, António, Projecto Mobilizador RNPR - Rede Nacional de Prototipagem Rápida, revista O MOLDE, ano 12, nº29, Março 1999.
- [3] - Oliveira, Eng.^a Helena, Rapid Prototyping/Rapid Tooling em Fundição, Revista FUNDIÇÃO, Associação Portuguesa de Fundição, Nº215, pág.12-14, 3º trimestre, 2000.
- [4] - Ferreira, J. M. G. C. Métodos de Tecnologias para o Fabrico Rápido de Protótipos na Indústria de Fundição Portuguesa, revista FUNDIÇÃO da Associação Portuguesa de Fundição, Nº204, pág. 6-9, 1º trimestre, 1997
- [5] - Aguiar, Paulo, Emprego de Técnicas de Prototipagem Rápida SLS à Industria de Fundição, 11º Congresso Nacional de Fundição, Porto, Novembro de 2001.
- [6] - Alves, Fernando Jorge; Braga, Fernando J.; São Simão, Manuel; Neto, Rui Jorge L.; Duarte, Teresa Pereira, Protoclick! Prototipagem Rápida, Fevereiro de 2001.
- [7] - Martins Augusto, Vitor, apontamentos da disciplina: Engenharia Assistida por Computador, do cursos de Engenharia Metalúrgica e de Materiais. FEUP.
- [8] - Jost, Peter, Selective Laser Sintering for Casting Applications, DTM GmbH, Hilden, 4th European SLS Users Group Meeting, Lycee Diderot, Paris Setembro 2000.

Capitulo - 7 - Anexos

7.1. Anexo1-Ficha Técnica da Areia

7.2. Ficha Técnica da Resina - SANSET HB 031

7.3. Anexo3-Ficha Técnica do Endurecedor - ENDURECEDOR AT 21

7.4. Anexo 4-Alguns desenhos 2D - Impressora de Moldes