

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

DESENVOLVENDO IMPRESSORA 3D
DE MATERIAIS PASTOSOS

LEONARDO CAMPOS BARRETO

ORIENTADOR: MÁRCIO BUSON

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ARQUITETURA E
URBANISMO

BRASÍLIA/DF: MARÇO – 2019

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E UR-
BANISMO**

**DESENVOLVENDO IMPRESSORA 3D
DE MATERIAIS PASTOSOS**

Arq. LEONARDO CAMPOS BARRETO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO.

APROVADA POR:

Prof. MÁRCIO ALBUQUERQUE BUSON, Dr. (FAU/UnB)
(Orientador)

Prof. FRANCISCO LEITE AVIANI, Dr. (FAU/UnB)
(Examinador Externo)

Prof. NEANDER FURTADO SILVA, Dr. (FAU/UnB)
(Examinador Interno)

BRASÍLIA/DF, 30 DE MARÇO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

BARRETO, LEONARDO

DESENVOLVENDO IMPRESSORA 3D DE MATERIAIS PASTOSOS

[Distrito Federal] 2019.

120p., 210 x 297 mm (PPG-FAU/UnB, Mestre, Arquitetura e Urbanismo, 2019).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.

Faculdade de Arquitetura e Urbanismo.

1.Fabricação Aditiva

2. Extrusor de materiais pastosos

3.Impressora 3D

4.Indústria 4.0

I. FAU/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BARRETO, L. (2019). DESENVOLVENDO IMPRESSORA 3D DE MATERIAIS PASTOSOS. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília, Brasília, DF, Xp, 2019.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Leonardo Campos Barreto

TÍTULO: DESENVOLVENDO IMPRESSORA 3D DE MATERIAIS PASTOSOS

GRAU: Mestre ANO: 2019

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

AGRADECIMENTO

Seria mesmo um feito de proporções homéricas agradecer a todos que colaboraram de alguma forma com a elaboração dessa pesquisa de mestrado, mas a contribuição deles está em cada linha aqui escrita.

Meu profundo agradecimento ao meu orientador, Prof. Marcio Buson, por todas as diretrizes e instruções a mim dispensadas, pela paciência e pela atenção. Agradeço ao meu amigo Arq. Renan Balzani, que está comigo desse o início dessa jornada de desenvolvimento de tecnologias aplicada à arquitetura e ao também amigo Arq. Rick Hudson Castro, que também abraçou a ideia e se tornou companheiro de viagem. A Lucas De Sordi, que participou do desenvolvimento do objeto de estudo da presente pesquisa. A todos os integrantes do grupo de estudos do Laboratório de Fabricação e Customização em Massa Da FAU – UnB.

Agradeço especialmente à minha família pelo apoio eterno e incondicional nessa empreitada e em todas as esferas da minha vida.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos e companheiros que, direta ou indiretamente, contribuíram para meu crescimento pessoal e profissional e me fizeram ser quem sou.

RESUMO

A presente pesquisa procura explorar as aplicações da crescente tecnologia da fabricação aditiva (impressora 3D) em diversos setores de produção, especialmente na construção civil. Para beneficiar arquitetos e estudantes de arquitetura, pretende-se ainda abordar o desenvolvimento de um extrusor de materiais pastosos de baixo custo compatível como impressoras 3D de mesa (do tipo *desktop*), para que possa auxiliar arquitetos e estudantes de arquitetura a compreenderem as tecnologias de fabricação aditiva. Com o intuito de auxiliar esses profissionais e estudantes de arquitetura, uma impressora 3D de materiais pastosos justifica-se quando podem ser inseridas em seus projetos, contribuindo para que se tornem competidores na mudança de paradigma pela qual o cenário da construção civil e da fabricação de objetos, bens e utensílios está passando.

Palavras-chave

Fabricação aditiva. Impressora 3D. Extrusor de materiais pastosos. Arquitetura impressa. Indústria 4.0

ABSTRACT

This dissertation aims to explore the application of the growing technology of additive manufacturing (3D printing) in several production sectors, especially in construction industry. In order to benefit architects and architecture students, it is intended to describe the development of a low-cost paste extruder compatible to desktop 3D printers, to help students and architects to better understand this emerging technology of additive manufacturing. With the purpose of helping architects and students, a paste 3D printer finds its relevance when it can be inserted into the process of architectural design, so as they may become competitors in this change of paradigm through which the construction and manufacturing industries are going through.

Key-words

Additive manufacturing. 3D printing. Clay printing. Printed architecture. Industry 4.0.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA	12
1.2	SOBRE A INDÚSTRIA 4.0	13
1.3	ARQUITETURA NA INDÚSTRIA 4.0.....	17
1.4	IMPRESSORAS 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	23
2	O PROBLEMA	36
3	OBJETIVO GERAL	41
3.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	41
4	MÉTODOS E PROCEDIMENTOS	42
5	IMPRIMINDO COM MATERIAIS PASTOSOS.....	43
6	CONSTRUINDO IMPRESSORA DE MATERIAIS PASTOSOS.....	45
6.1	ESTRUTURA	45
6.2	<i>HARDWARE E FIRMAWARE</i>	47
6.2.1	Os componentes da placa controladora.....	51
6.3	EXTRUSOR.....	53
7	PASTA DE ARGILA	60
8	CONCLUSÃO.....	65
9	PESQUISAS FUTURAS.....	67
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68
	Anexo 1 – Impressora Ub adaptada para extrusor de material pastoso	71
	Anexo 2 – Tabela de componentes e preços	75
	Anexo 3 – montagem do Extrusor.....	76
	Anexo 4 – Ramps 1.4	83
	Anexo 5 –Transcrição das linhas de programação da controladora da impressora de materiais pastosos.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Impressora 3D. Fonte: Makerbot	15
Figura 2 – Impressoras RepRap de rápida replicação. Fonte: repprap.org.....	16
Figura 3 – Tecnologias da Indústria 4.0. Fonte: http://www.industria40.gov.br/	17
Figura 4 – Curso de impressão 3D na Universidade da Carolina do Norte. Fonte: 3dprint.com.....	18
Figura 5 – Laboratório de impressão 3D da Universidade da Flórida. Fonte: 3dprint.com	18
Figura 6 – Impressora 3D Apis Cor. Fonte Jamie D. – www.3dnatives.com	21
Figura 7 – Impressora de argila, companhia WASP. Fonte: 3dptinr.com.....	22
Figura 8 – Impressora D-Shape. Fonte: <i>archdaily</i>	24
Figura 9 – Escultura impressa pela D-Shape. Fonte: <i>archdaily</i>	24
Figura 10 – Habitação lunar. Fonte: <i>Foster + Partners</i>	25
Figura 11 – Projeto <i>Contour Crafting</i> . Fonte: <i>Contour Crafting</i>	26
Figura 12 – CNC SSS. Fonte: Dr. Khoshnevis	27
Figura 13 – Pista de pouso. Fonte: Khoshnevis	27
Figura 14 – <i>SpiderFab</i> . Fonte: NASA.....	28
Figura 15 – <i>SpiderFab</i> . Fonte: NASA.....	28
Figura 16 – <i>Minibuilders</i> . Fonte: IAAC	29
Figura 17 – Coluna à prova de abalos sísmicos. Fonte: <i>Emerging Objects</i>	30
Figura 18 – esquema da impressão do <i>Office of the Future</i> . Fonte: <i>officeofthefuture.ae</i>	31
Figura 19 – <i>Office of the Future</i> . Fonte: <i>officeofthefuture.ae</i>	32
Figura 20 – Impressora <i>Pylos</i> . Fonte: pylos.iaac.net	33
Figura 21 – <i>Pylos</i> imprimindo. Fonte: pylos.iaac.net	33
Figura 22 – <i>New Century City Art Centre</i> , China. Fonte: Zaha Hadid Architects	35
Figura 23 – Projeto Milestone. Fonte: www.3dprintedhouse.nl	38
Figura 24 – Residência de interesse social, New Story. Fonte: https://www.iconbuild.com/	39
Figura 25 – Impressão das residências, representação. Fonte: https://www.iconbuild.com/	39
Figura 26 – Detalhe externo. Fonte: https://www.iconbuild.com/	39
Figura 27 – Detalhe interno. Fonte: https://www.iconbuild.com/	40
Figura 28 – Delta WASP 400303030. Fonte: www.3dwasp.com	44
Figura 29 – Extrusor LVE. Fonte: K. Pusch et al.....	45
Figura 30 – Impressora Ub, Fonte própria	46
Figura 31 – Impressora Prusa Air 2. Fonte: Mecano, www.thingiverse.com/Mecano/designs	46
Figura 32 – Arduino Mega 2560	51
Figura 33 – Shield Ramps 1.4	52
Figura 34 – Ramps 1.4 com drivers A4988.....	52
Figura 35 – <i>Large Volume Paste Extruder</i> . Fonte: AtomKemp.....	54
Figura 36 – Extrusor universal de materiais pastosos. Fonte própria.....	55
Figura 37 – Componentes para montagem do extrusor. Fonte: www.richrap.blogspot.com	56
Figura 38 – Polia GT 20 dentes	57
Figura 39 – Extrusor de materiais pastosos vista frontal.....	58
Figura 40 – Extrusor de materiais pastosos vista posterior	59
Figura 41 – Seringa de 10ml	60

Figura 42 – Teste de extrusão da massa-corrida	61
Figura 43 – Biomassa – argamassa polimérica	61
Figura 44 – Teste com a Biomassa.....	62
Figura 45 – argila e água	63
Figura 46 – Teste manual	64
Figura 47 – primeiras formas.....	64
Figura 48 – Diferença entre a massa de argila (esquerda, mais fina) e a Biomassa (direita, mais grossa).....	65
Figura 49 – Impressora Ub adaptada.....	71
Figura 50 – Impressora Ub - Eixo X.....	72
Figura 51 – Impressora Ub - Eixo Y	72
Figura 52 – Impressora Ub - Eixo Z.....	73
Figura 53 – Impressora Ub - Detalhe Eixo Y.....	73
Figura 54 – Impressora Ub Detalhe Eixo Y	74
Figura 55 – Extrusor vistas frontal e posterior	76
Figura 56 – Extrusor perspectivas	76
Figura 57 – Perspectiva Explodida.....	77
Figura 58 – Extrusor – Detalhe	77
Figura 59 – Extrusor Detalhe – Motor	78
Figura 60 – Extrusor Detalhe – Engrenagens.....	78
Figura 61 – Extrusor Detalhe - Engrenagens.....	79
Figura 62 – Extrusor Detalhe - Parafusos e Molas.....	79
Figura 63 – Montagem da Seringa	80
Figura 64 – Montagem do Bico Móvel	81
Figura 65 – Montagem no Eixo X.....	81
Figura 66 – Montagem no Eixo X.....	82
Figura 67 – Ramps 1.4 - Esquema de Montagem. Fonte própria.....	83
Figura 68 – Driver A4988. Fonte	83
Figura 69 – Ramps 1.4 com drivers. Fonte: sunrobotics.....	84

“A questão fundamental entre nós arquitetos é imaginar aquilo que não existe.”
Paulo Mendes da Rocha, Maquetes de Papel

1 INTRODUÇÃO

A produção de maquetes e protótipos para fins de compreensão projetual figuram no processo criativo dos arquitetos e engenheiros muito antes de o desenho técnico tornar-se indispensável no projeto. Com efeito, nos períodos da Antiguidade Clássica os desenhos arquitetônicos eram raros. Apesar de existirem desenhos que datam desde 2200 a.C. oriundos de civilizações antigas, como a egípcia e a mesopotâmica, essas representações não nasceram de uma necessidade de se resolver problemas de desenho, mas de uma necessidade de orientação. Na Grécia antiga, os responsáveis por projetar um monumento não costumavam fazê-lo com desenhos, mas através de descrições detalhadas em forma de texto, chamados de *syngraphai*, e da produção de maquetes e modelos em tamanhos reais ou reduzidos, que fossem capazes de descrever não só a aparência da edificação, mas como seria construída (HESBERG, 2015).

Paulo Mendes da Rocha foi um arquiteto que fez largo uso de maquetes durante o processo criativo de projeto – desenvolveu um método de criação arquitetônica fazendo uso de maquetes como se fossem croquis que seriam importantes nas primeiras etapas de concepção do projeto. Valendo-se de materiais simples e abundantemente disponíveis, como papel, arames e até mesmo gravetos (o que estivesse à vista), ele defendia a idéia de que a maquete pode ser usada como rascunho de um projeto, e que é justamente no momento de produção dessa maquete croqui que ocorre a “materialização da ideia a ser percebida” (MENDES DA ROCHA, 2007, p.13).

De acordo com o arquiteto, as maquetes dentro do processo criativo arquitetônico dividem-se em três grupos segundo sua finalidade. O primeiro grupo compreende as “maquetes croquis”, objeto central de seu método, “representa para o arquiteto um momento de aferição, no qual ele verifica as proporções, as transparências, as sombras que aquelas volumes geram e a relação com as diferentes escalas urbana e humana” (MENDES DA ROCHA, 2007, p.12); esses modelos não pressupõem rigor técnico ou alto nível de detalhe, pois eles precedem o detalhamento, e não servem para serem exibidos – são íntimos do arquiteto, a primeira manifestação de sua ideia, e servem para cristalizar as proporções da futura edificação, estabelecer as relações entre as escalas arquitetônica, urbana e humana. O segundo grupo compreenderia as “maquetes de ensaio”, que seriam produzidas quando, depois de a ideia principal ter sido concebida, fosse necessário estudar a funcionalidade da arquitetura, os sistemas estruturais e processos construtivos

que a tornam estável e passível de ser executada – muito utilizadas por arquitetos como Gaudí, que construía modelos que buscassem representar fielmente as soluções por ele concebidas, a fim de testá-las antes da construção. Por fim, o terceiro grupo compreende as “maquetes de exibição”, cujo único objetivo é vender uma ideia; essas são as maquetes que se preocupam apenas em imitar a aparência final da obra arquitetônica.

Antoni Gaudí foi um expoente no uso de maquetes para solucionar problemas projetuais, como aponta Chris B. Mills em seu livro *Projetando com Maquetes*. Segundo Mills (2007), Gaudí usava suas maquetes com a finalidade de explorar ideias estruturais e desenvolver uma linguagem arquitetônica. As maquetes de Gaudí não tinham somente a qualidade e emular a volumetria da edificação, mas buscavam solucionar problemas construtivos.

Com o advento de softwares de desenho assistido por computador e ferramentas de modelagem virtual, por volta de 1990, a produção de maquetes físicas como parte integrante do projeto arquitetônico foi desafiada. Porém, apesar de as mídias digitais trazerem diversos benefícios como rapidez de manuseio e produção, a ideia de que as maquetes físicas podem ser substituídas é refutada por Mills (2007). Segundo o autor, diversos arquitetos que estão inseridos no contexto da atualidade industrial, como Frank Ghery, Ben Damon e James Glymph, não abrem mão da produção de maquetes físicas como ferramentas de compreensão de projeto. Esse mesmo autor ainda sustenta a ideia de que a introdução de máquinas de prototipagem rápida pode trazer a possibilidade de re conectar o mundo virtual com o mundo físico.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Formular um problema científico não constitui tarefa fácil. Para alguns, isso implica mesmo o exercício de certa capacidade que não é muito comum nos seres humanos. Todavia, não há como deixar de reconhecer que o treinamento desempenha papel fundamental nesse processo. Por se vincular estreitamente ao processo criativo, a formulação de problemas não se faz mediante a observação de procedimentos rígidos e sistemáticos. No entanto, existem algumas condições que facilitam essa tarefa, tais como: imersão sistemática no objeto, estudo da literatura existente e discussão com pessoas que acumulam muita experiência prática no campo de estudo (SELLTÍZ, 1967 apud GIL, 2002, p. 26).

Baseado em experiências profissionais, próprias e de outras iniciativas na área da impressão de protótipos e modelos reduzidos em Brasília, notou-se uma dificuldade por parte dos interessados no produto da impressão (especialmente estudantes de arquitetura) em serem capazes de modelar um arquivo apropriado para impressão 3D.

Com efeito, uma dificuldade análoga pode ser percebida quando o profissional quiser usar alguma técnica de fabricação aditiva na execução de seu projeto. E a pergunta fica: se o arquiteto não conhece a técnica de construção, como será capaz de desenvolver um projeto de arquitetura que se beneficie da tecnologia de fabricação aditiva durante sua execução?

A indústria tem evoluído muito nos últimos anos e a fabricação aditiva é apontada como uma das principais ferramentas dessa revolução, sendo inclusive considerada como umas das tecnologias protagonistas da 4ª Revolução Industrial. A própria construção civil já conseguiu integrar várias técnicas diferentes de fabricação aditiva, como será detalhado em capítulo específico, conformando-se como um novo sistema construtivo. É mister que os arquitetos venham a inteirar-se dessas inovações tecnológicas, pois eventualmente elas influenciarão em sua profissão.

Essa necessidade é facilmente compreendida quando percebemos que a indústria está passando por um profundo processo de revolução; evoluindo em conceitos de eficiência, sustentabilidade e acessibilidade. Já está sendo anunciada uma vindoura 4ª Revolução Industrial e os métodos de fabricação aditiva são protagonistas do que é chamada de Indústria 4.0. O que indica que as impressoras 3D (como vulgarmente chamada a fabricação aditiva) reformularão os processos de fabricar coisas, incluindo os produtos da construção civil.

1.2 SOBRE A INDÚSTRIA 4.0

No intuito de fomentar as inovações tecnológicas, principalmente nos setores que aplicam a digitalização da manufatura, o governo alemão, por meio do Ministério de Educação e Pesquisa e do Ministério de Assuntos Econômicos e Energia (das siglas em alemão BMBF e BMWI, respectivamente) lançou em 2011 a iniciativa Indústria 4.0 (*Digital Transformation Monitor*, janeiro 2017).

De forma geral, o conceito de indústria 4.0 está sendo usado para marcar a quarta revolução industrial que está por vir. Enquanto a 1ª Revolução Industrial foi marcada pela

produção por meio de carvão e vapor, a 2ª consagrou-se pela produção em massa por meio de energia eletromagnética; poder-se-ia dizer que as bases da futura Indústria 4.0 foram lançadas em meados da Terceira Revolução Industrial, que teria se iniciado com o surgimento da internet (ROBERTS, 2015), mas revolucionou a indústria principalmente trazendo o conceito da automação.

Assim como aconteceu com o desenho técnico e a modelagem de maquetes, que foram potencializados por softwares de projeto assistido por computador¹ (da sigla em inglês CAD), a fabricação de produtos sofreu uma mudança tecnológica análoga quando, no fim do século XX, surgiram as máquinas de produção por comando numérico computadorizado, da sigla em inglês CNC², (KOLAREVIC, 2000). Essas máquinas são capazes de fabricar produtos a partir de modelos virtuais.

A tecnologia CNC funcionava principalmente segundo um processo subtrativo, em que um material sofre subtração de sua superfície para a partir dele retirar-se o produto desejado. Com o passar dos anos e o desenvolvimento de pesquisas na área da automação, novas linguagens de programação foram descobertas, assim como novas maneiras de se aplicar o conceito dessa tecnologia, que passou a ser aplicada em outras lógicas de produção, como conformação, moldagem e adição, como aborda Kolarevic (2001).

Esse mesmo autor classificou a fabricação aditiva, ou impressora 3D (figura 1), como uma das tecnologias de fabricação digital mais utilizadas no século XXI e que está ganhando um terreno enorme nos ramos das construções civis e fabricações de protótipos e produtos devido à sua acessibilidade – é uma tecnologia de fácil construção que foi rapidamente assimilada pelo movimento *maker* e permite uma grande variedade de usos e possibilidades de aprimoramentos.

¹ A sigla CAD, do inglês *Computer Aided Design*, teve o termo *design* aqui traduzido para *projeto* para melhor se adequar às terminações próprias da arquitetura.

² CNC – *Computer Numeric Control*



Figura 1– Impressora 3D. Fonte: Makerbot

A impressora 3D, capaz de criar um modelo tridimensional a partir de sucessivas camadas, foi primeiramente desenvolvida nos anos 80 utilizando o processo de endurecimento de polímero com irradiação e exposição ao ultravioleta, originando as patentes do processo tecnológico da estereolitografia. A inserção dessa tecnologia nas indústrias representou um grande avanço na fabricação de produtos, devido à sua capacidade de criar modelos físicos de plástico a partir de arquivos digitais com alta precisão e rapidez. Bem como por permitir aos desenvolvedores de produtos imprimir partes de algum material com diferentes propriedades físicas e mecânicas sem que o processo construtivo fosse alterado (WOHLERS e GORNET, 2014).

Até a primeira década do século XXI, essas tecnologias eram inacessíveis às universidades, pequenos produtores e pesquisadores, devido ao alto investimento que era necessário para tê-las. Porém, devido à queda de algumas patentes esse cenário começou a mudar. A liberação de técnicas de produção permitiu o desenvolvimento de novas tecnologias mais acessíveis ao consumidor comum.

Nos anos 2000, quando caíram as patentes da estereolitografia, o Dr. Adrian Bowyer, professor sênior de engenharia mecânica da Universidade de Bath, na Inglaterra, fundou o projeto RepRap com o intuito de desenvolver uma impressora 3D de baixo custo (figura 2). A partir de então as impressoras 3D começaram a ganhar fama e a serem apropriadas por diversos desenvolvedores, grandes e pequenos, ao redor do mundo (WOHLERS e GORNET, 2014). Devido à simplicidade de funcionamento e de montagem, por estar sob uma licença gratuita de *software* e por ser um projeto de desenho aberto, ganhou muito espaço entre os entusiastas do que é conhecido popularmente como movimento *maker*, uma extensão da cultura Faça-Você-Mesmo, os quais se apropriaram da

tecnologia e passaram a contribuir sistematicamente para sua evolução, criando novos usos e características de funcionamento, variando materiais, precisão e aparência. Basta uma rápida busca no Google e o site de pesquisa logo mostrará várias listas com os melhores sites e canais no *Youtube* e outras mídias sociais especializados em construções de impressoras RepRap. Como é o caso dos canais “Make Anything”, Maker’s Muse”, “3D Printing Nerd”, “Thomas Sanlandere”, só para citar alguns (esse último tendo sido particularmente útil para auxiliar na compreensão da montagem dos componentes da placa mãe e na sua programação para a presente pesquisa). Rapidamente as impressoras 3D passaram a ser amplamente utilizadas para criação de protótipos, moldes e até mesmo produtos finais, não só por entusiastas, mas por profissionais da engenharia, do *design*, da medicina, da odontologia, entre outros.

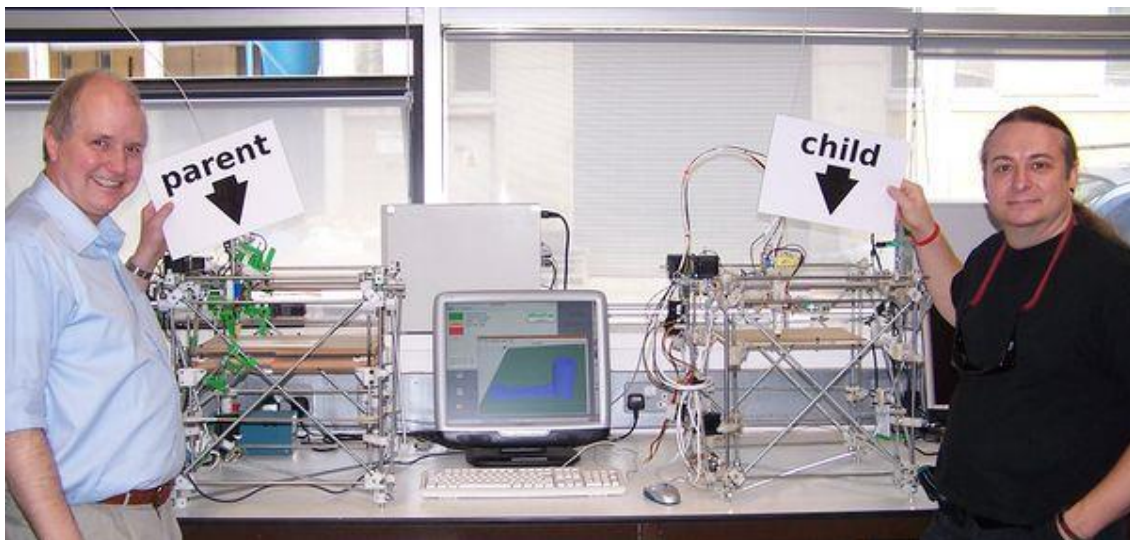


Figura 2 – Impressoras RepRap de rápida replicação. Fonte: reppap.org

Valendo-se desse rápido avanço na indústria permitido pela 3ª Revolução, o governo alemão lançou a iniciativa da Indústria 4.0 para se preparar para a 4ª Revolução, identificando que a indústria será revolucionada principalmente pelas tecnologias que permitem a fusão do mundo físico e digital: a internet das coisas³, que representa a possibilidade de objetos físicos estarem conectados à internet e, por tanto, funcionarem de forma sincronizada e remotamente, como carros autônomos; inteligência artificial⁴, que busca simular a inteligência humana em máquinas; a biologia sintética⁵, desenvolvimentos tecnológicos que convergem as áreas de química, biologia, ciências da computação e engenharia, na busca de desenvolver artificialmente tecidos vivos e organismos; siste-

³ Sigla IoT, do inglês *interent of things*

⁴ Sigla AI, do inglês *artificial intelligence*

⁵ *SynBio*, do inglês *synthetic biology*

mas cyber-físicos, que sintetizam a fusão entre mundo físico e digital e propõe que todo objeto físico bem como o processo de sua manufatura, possua uma contraparte digital; e, por fim, a fabricação aditiva (ou impressões 3D), que, inserida no contexto do sistema cyber-físico, consiste na possibilidade de transformar um objeto digital em um objeto físico, por meio da adição de material.

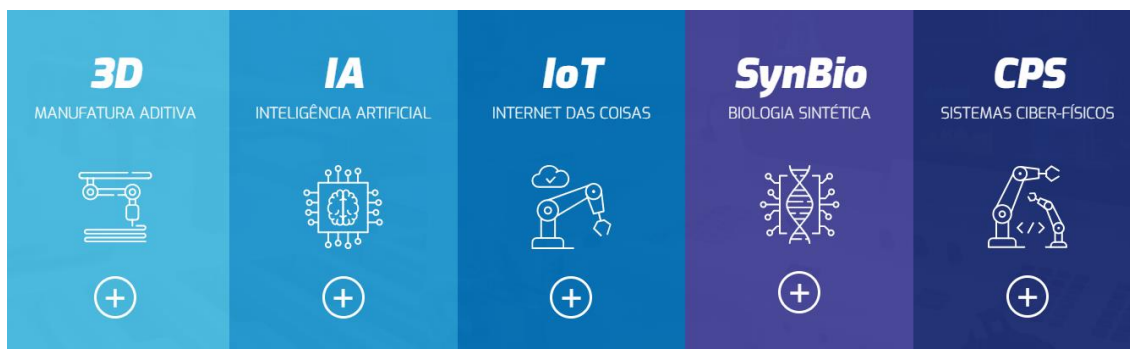


Figura 3 – Tecnologias da Indústria 4.0. Fonte: <http://www.industria40.gov.br/>

O Governo Federal do Brasil lançou um programa por meio do Ministério da Indústria e da Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial, programa esse batizado como “Agenda Brasil para Indústria 4.0” contando com *site* já operante (www.industria40.gov.br), que objetiva preparar o Brasil para receber a Indústria 4.0 (figura 3). Com efeito, essa iniciativa já espalhou influência em diversos países, em diversos setores da indústria, tornando assim essa profecia da 4ª Revolução Industrial em uma profecia autorrealizável, uma vez que as nações adotaram esse conceito e já lançaram suas agendas de preparação da indústria na corrida de garantir a competitividade industrial.

Desse modo, é apenas razoável que seja feita uma rápida análise sobre como esses avanços tecnológicos estão desenvolvendo as técnicas e tecnologias de construção civil e, por tanto, afetando o modo de fazer e pensar arquitetura. Cabe a pergunta: onde se encaixa a arquitetura na indústria 4.0?

1.3 ARQUITETURA NA INDÚSTRIA 4.0

Frente aos benefícios que as impressoras 3D oferecem aos profissionais de diversas áreas, não seria difícil imaginar que essas máquinas cairiam no interesse dos arquitetos e engenheiros civis. Com efeito, é possível perceber o crescimento da popularidade dessas impressoras 3D entre profissionais e até mesmo estudantes de arquitetura, desde que

o Projeto RepRap foi criado, muito embora sua interação com essa área tenha sido um pouco tardia em relação a outras áreas da indústria.

Cabe aqui ponderar, no entanto, que o uso das impressoras 3D como ferramentas industriais por excelência ainda não é global. No campo da arquitetura no Brasil, por exemplo, seja no meio profissional ou no acadêmico, as impressoras 3D ainda não são tão difundidas quanto em países europeus, asiáticos ou da América do Norte. Em países como Estados Unidos, Inglaterra, Escócia e Alemanha (para citar apenas alguns), muitas universidades oferecem laboratórios de prototipagem onde os alunos podem aprender sobre o funcionamento dessas máquinas, para além disso, o uso de impressoras 3D faz parte do currículo dos estudantes (figuras 4 e 5).



Figura 4 – Curso de impressão 3D na Universidade da Carolina do Norte. Fonte: 3dprint.com



Figura 5 – Laboratório de impressão 3D da Universidade da Flórida. Fonte: 3dprint.com

Comprovando a versatilidade das impressoras 3D, atualmente é possível encontrar máquinas de grandes proporções que são usadas diretamente na impressão de edificações (figura 6). Essas máquinas funcionam basicamente como as impressoras do Projeto RepRap, mas em vez de imprimirem plástico, imprimem com argamassa e são capazes de edificar construções inteiras, ou grande parte delas, como os sistemas de vedação, estrutural e de cobertura.

Aqui, é possível adicionar ainda uma outra dimensão ao pensamento de Mills. Não só as tecnologias de fabricação aditiva podem reconectar o virtual com o físico, mas podem estreitar as relações entre o projeto e a execução, justamente por essa razão são apontadas como tecnologias da Indústria 4.0 por excelência. Porque, se uma impressora capaz de imprimir edificações funciona de forma análoga a uma impressora RepRap doméstica, é possível considerar que as últimas possam produzir estudos e análises do próprio processo construtivo durante a etapa de projeto, de forma rápida e econômica, a fim de otimizar a etapa de execução da obra. A maquete impressa nos dá informações sobre a estética, a volumetria, a escala, os sistemas construtivos e o processo de execução. Além disso, considerando a possibilidade de substituição do material de impressão das impressoras RepRap e, no lugar de plástico, usarmos algum tipo de material pastoso que emule a argamassa utilizada nas impressões de edificações, poder-se-ia simular o funcionamento da fabricação aditiva como um novo processo construtivo e beneficiar-se dessa simulação para resolver problemas relacionados ao processo construtivo em si.

É mister observar, se tomarmos uma impressora de pequeno porte e de baixo orçamento, que o processo de desenvolvimento do projeto virtual e sua impressão não garantem que o produto pensado será fabricado, pois o desenvolvedor tem que intuir o funcionamento da impressora e criar um modelo que seja possível imprimir – como o processo de impressão por adição das máquinas mais acessíveis disponíveis no mercado imprime camada sobre camada, não é possível que o produto seja impresso no ar, por exemplo, ou tenha vãos muito grandes ou avanços no espaço. Existem máquinas sendo desenvolvidas para vencer essas dificuldades construtivas, mas ainda sob caráter de protótipo e são, portanto, mais difíceis de encontra-las disponíveis no mercado da construção civil. Atualmente, as impressões 3D são mais usadas meramente como modelos volumétricos, e não necessariamente sua confecção espelha a execução da obra devido a essas dificuldades de produção. Mas isso não é um grande problema, porque parte da eficiência dessa tecnologia está justamente no fato de que o desenvolvedor pode fazer muitas impres-

sões de teste, para verificar quais os problemas que acontecem durante a impressão, e, se for o caso, voltar à prancheta (ou, no caso, à tela do computador) para resolver a volumetria ou criar alguma estratégia de impressão.

Da mesma forma como ocorre com qualquer outro processo construtivo, o profissional deveria ter segurança nas decisões de projeto na hora de imprimir e materializar a edificação em um canteiro de obras. Como aponta Paulo Mendes da Rocha em seu livro-aula *Maquetes de Papel*, “a questão fundamental entre nós arquitetos é imaginar as coisas que ainda não existem. Para enfrentar essa questão, devemos começar invocando aquilo que a alma humana acumulou em forma de conhecimento. (...) invocar a memória sobre um saber.” (MENDES DA ROCHA, 2007, p.19). Porém, executar obras com impressoras 3D trata-se de um processo construtivo muito novo e diferente de tudo o que já foi feito, não há saberes acumulados para guiar a mão do construtor, não há muitas referências ou diretrizes. Aqui, a criatividade é um fator importantíssimo para criar soluções construtivas possíveis e tecnicamente viáveis. A vantagem de se ter uma impressora 3D é que ela torna viável, do ponto de vista prático, construir modelos em tamanho real, para se realizar testes construtivos e verificar onde e como a impressão funciona. Antes de se construir a edificação de fato, pode-se imprimir um protótipo em tamanho real; obtém-se, assim, uma forma de “conhecimento acumulado”.

No entanto, o arquiteto precisaria dispor de uma impressora de larga escala em tempo integral para fazer seus experimentos construtivos com ela, o que seria o ideal, mas dificilmente viável. Uma impressora desse tipo pode representar um grande investimento. Porém, esse espaço entre o arquiteto e a impressão 3D pode ser diminuído se considerarmos que uma impressora doméstica funciona basicamente segundo os mesmos princípios que uma impressora de materiais pastosos em larga escala. Estamos falando da técnica de deposição de material.

Uma impressora doméstica tradicional, que imprime em filamentos de plástico, derivada do projeto RepRap, funciona com base na movimentação em três eixos do plano cartesiano. Temos um anteparo, chamado de mesa aquecida, que se move no eixo Y, e bico aquecido, que se move nos eixos X e Z (ver Anexo 1). O filamento de plástico passa por um extrusor, que tem a função de empurrar o plástico para dentro do bico aquecido, onde é derretido e depositado em cima da mesa aquecida, desenhando camada por camada de acordo com o movimento coordenado da mesa e do bico. O sentido de movi-

mento pode variar de modelo para modelo da impressora, às vezes a mesa aquecida se movimenta no eixo Z, às vezes fica parada e quem se movimenta é apenas o bico aquecido, ou vice-versa. O que realmente importa é que os movimentos dos eixos sejam coordenados para transpor o desenho das camadas do código no computador para o modelo impresso. Essa é a técnica deposição por fusão⁶.

Uma impressora de grande escala de argamassa funciona de acordo com o mesmo princípio de movimentos coordenados nos eixos X, Y e Z. A *Apis Cor*, por exemplo, produziu uma impressora móvel, capaz de ser levada para a obra, cuja lógica de impressão da argamassa está inscrita num plano circular (Figura 6).



Figura 6 – Impressora 3D Apis Cor. Fonte Jamie D. – www.3dnatives.com

A impressora conta com um braço na horizontal, que serve de suporte para o bico por onde a argamassa vai passar e ser depositada. Esse braço está acoplado ao corpo central da impressora e possui um movimento circular, pivotante, no plano horizontal, sendo responsável também pelo movimento na vertical (considerando o movimento e a extrusão dessa máquina, ela seria capaz de imprimir um cilindro com ela no centro). Dentro desse plano circular, o bico conduz a argamassa percorrendo a extensão do braço, desenhando, assim, as camadas que irão formar os componentes e elementos construtivos. A diferença entre essa técnica de impressão e a das impressoras 3D RepRap supracitadas é que o bico não precisa ser aquecido, uma vez que a argamassa utilizada tem plasticidade

⁶ Sigla FDM, do inglês *Fused Deposition Modeling*.

e não precisa passar pelo processo de fusão, que o plástico necessita; além disso, o movimento da mesa foi transposto para o braço, numa lógica circular, porém, como o princípio é o mesmo, toda impressão que a impressora da *Apis Cor* faz, pode ser realizado com uma impressora 3D RepRap em escala menor.

Esse espaço entre o arquiteto e a impressão *in loco* fica ainda menor se ele tiver acesso a uma impressora doméstica que imprime com materiais pastosos (figura 7). Essas impressoras já estão sendo fabricadas, e seu processo construtivo se assemelha mais à impressão *in loco*. No entanto, apesar de compartilharem com as impressoras do Projeto RepRap os mesmos princípios de funcionamento, no que tange aos movimentos axiais, o componente de extrusão é difícil de ser reproduzido. De fato, nem todos os pesquisadores que desenvolveram esses extrusores tornaram aberto o projeto, e os projetos que são abertos e podem ser encontrados na internet são genéricos, não específicos para argamassas, e bem menos abundantes do que suas contrapartes das impressoras 3D tradicionais, que imprimem em filamentos de plástico. Além disso, os preços de impressoras de materiais pastosos ainda são elevados, variando de U\$10.000,00 a U\$200.000,00, se pegarmos as máquinas industriais. A WASP, uma prestadora e serviços italiana que se especializou em impressão de materiais pastosos argilosos e desenvolve tanto impressoras 3D de grandes escalas para impressão de edificações, quanto impressoras 3D de mesa de baixo custo, comercializa suas impressoras 3d de mesa por preços a partir de €3.000,00, o que dá mais de R\$12.000,00. Somente o componente extrusor de materiais pastosos da WASP custa €250,00, atualmente mais de R\$1.000,00.

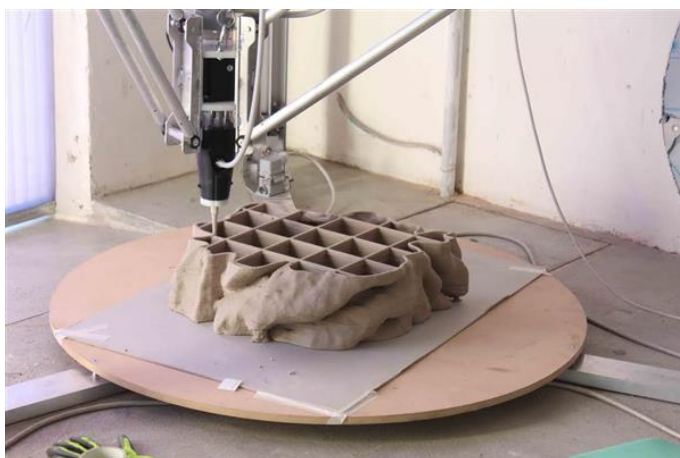


Figura 7 – Impressora de argila, companhia WASP. Fonte: 3dptinr.com

Aqui, é válido apontar que o extrusor é um dos componentes mais complexos de se obter, considerando que grande parte dos componentes estruturais e de movimentação das

máquinas RepRap são passíveis de serem impressos, exemplo: as peças usadas para permitir o movimento nos eixos X, Y e Z, chamadas de carros, ou carruagens, que são acopladas aos trilhos, são tradicionalmente impressas. A exemplo delas, o extrusor também pode ser impresso, mas dessa forma eles não costumam apresentar eficiência no funcionamento e possuem vida útil muito menor. Por conta disso, quem adquire uma impressora 3D RepRap, seja o kit para montar ou uma já montada, opta por comprar também um extrusor industrialmente fabricado, uma vez que já se encontram disponíveis no mercado a preços acessíveis. O mesmo não acontece com extrusores de materiais pastosos, quem quiser construir uma impressora que imprime em argila, por exemplo, deverá valer-se dos projetos abertos de extrusores genéricos para começar a adaptá-los.

1.4 IMPRESSORAS 3D NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Lopez (2011) em artigo publicado no site acima referido, uma das primeiras máquinas de impressão 3D de grande escala foi construída por um inventor e engenheiro italiano, Enrico Dini, em cooperação com Markus Keyser, um designer germânico. Imbuído do sonho de construir estruturas impossíveis e inspirado pela arquitetura de Antoni Gaudí, Enrico idealizou uma máquina CNC que fosse capaz de imprimir estruturas de geometria não convencional. Em 2004 ele construiu e patenteou uma máquina capaz de imprimir com areia (figuras 8 e 9). Essa impressora 3D funciona segundo uma lógica diferente da impressora de argamassa. Sendo a areia um material seco e granulado, o processo de extrusão não poderia ser aplicado. Os movimentos coordenados nos eixos cartesianos são basicamente os mesmos, mas seu funcionamento difere da impressora de argamassas. O equipamento fica suspenso sobre a superfície de impressão, então o sistema deposita a areia e em seguida o aglutinante. Não é necessário adicionar água e, porque a areia e o aglutinante entram em contato fora da máquina, o sistema não fica entupido. Terminada a impressão, é preciso retirar o excesso de areia, que não entrou em contato com a resina, para revelar a estrutura solidificada. Mais tarde, em 2007, Enrico modificou sua impressora para usar um aglutinante inorgânico, em vez de *epoxy*, afim de diminuir a manutenção da máquina e tornar seu funcionamento mais eficiente. Essa impressora 3D foi batizada como D-Shape. Segundo Lopez, as estruturas impressas pela D-Shape são equiparáveis em força ao concreto reforçado, sendo constituídas apenas de aglutinante inorgânico e qualquer tipo de areia. No intuito de levar a impressão 3D para o mundo da construção real, Enrico seguiu desenvolvendo seu projeto, que

pode ser acessado pelo *site d-shape.com*, passando a oferecer todo o serviço de CAD/CAM, desde a concepção do design arquitetônico-estrutural no computador, até a impressão da estrutura, tendo inclusive colaborado com o escritório de Norman Foster na pesquisa sobre utilizar material lunar para imprimir abrigos na lua.

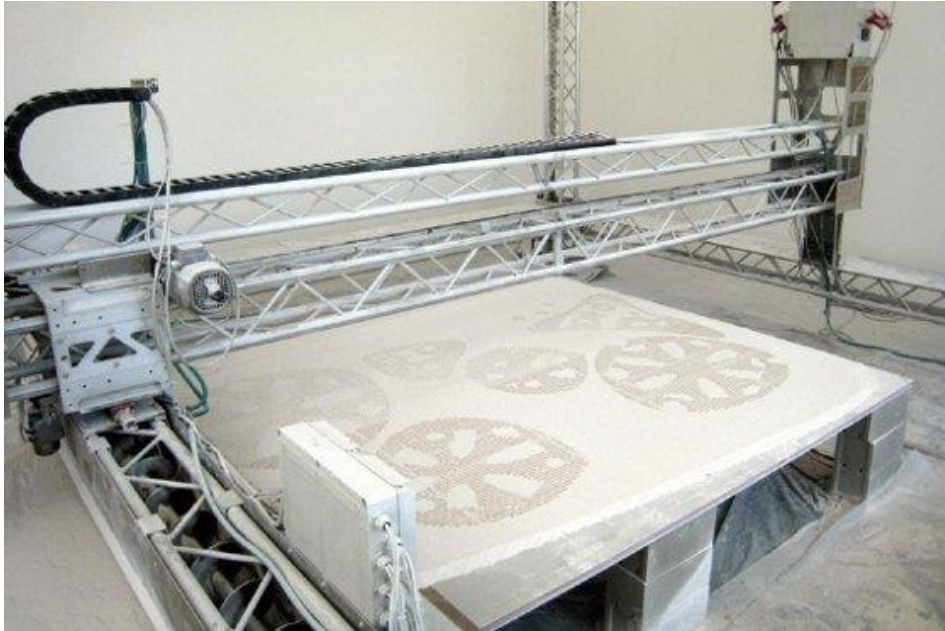


Figura 8 – Impressora D-Shape. Fonte: *archdaily*



Figura 9 – Escultura impressa pela D-Shape. Fonte: *archdaily*

De acordo com um artigo publicado no *archdaily* em 2013, *Foster + Partners* começaram a desenvolver um projeto com a ESA (Agência Espacial Europeia) a fim de levar uma impressora para a lua e imprimir um abrigo com material lunar. O projeto trata-se

de uma edificação, muito semelhante a um iglu, que será construída com um domo inflável revestido com solo da lua, conhecido como *regolith*, com o auxílio de uma impressora 3D como a D-Shape (figura 10). O interessante é que, graças à disponibilidade da máquina de impressão, foi possível a construção de protótipos dessa construção em ambiente simulado, para, inclusive, solucionar o processo construtivo.



Figura 10 – Habitação lunar. Fonte: *Foster + Partners*

É interessante notar como a tecnologia de construção tem se desenvolvido rapidamente no sentido de se otimizar o processo construtivo: maior rapidez com menos desperdício de material, mais possibilidades geométricas, maior eficiência construtiva; e, no entanto, os materiais usados são os mais tradicionais. Inventam-se uma máquina capaz de imprimir uma edificação funcional em poucos dias, segundo geometria não-euclidiana, obedecendo a funções algébricas ou com superfície paramétrica, e que usa a areia como principal material construtivo. Parece que há um esforço em unir os materiais tradicionais às inovações construtivas no intuito de se obter essa eficiência.

Em 2006 o Behrokh Khoshnevis, professor da universidade *Southern California*, desenvolveu o *Contour Crafting*: técnica de impressão 3D por deposição, muito semelhante ao processo das impressoras RepRap: através de um componente extrusor que se move nos eixos cartesianos, o material compósito é depositado no solo, fiada por fiada, num processo de impressão das paredes (figura 11). A inovação dessa técnica, no entanto, está na sua integração com os demais sistemas que compõem uma casa, como instalações hidro sanitárias e elétricas, colocação de forro e cobertura, podendo inclusive revestir as paredes para dar o acabamento. A ideia desse projeto é tornar a construção de uma casa cem por cento automatizada. A gigante máquina de imprimir é capaz de coor-

denar a extrusão do concreto com a instalação dos encanamentos e tubos por onde vão passar a fiação, pintar as paredes ou aplicar azulejos, completando a construção com a instalação da cobertura. Tudo em uma única máquina.



Figura 11 – Projeto *Contour Crafting*. Fonte: *Contour Crafting*

Com o projeto *Contour Crafting*, prof. Khoshnevis também investiga suas aplicações em construções extraterrestres, em colaboração com a NASA. Os sistemas do *Contour Crafting* estão sendo desenvolvidos no intuito de tornar possível a construção em solo marciano ou lunar, usando materiais locais, antes mesmo da (eventual) chegada dos habitantes humanos, integrando não só os sistemas de instalações convencionais, como também um escudo protetor contra radiação. Outro processo desenvolvido pelos pesquisadores é o *Selective Separation Sintering* (SSS), ou sinterização por separação seletiva, no intuito de tornar possível a construção de plataformas de pouso em gravidade zero, em colaboração com o *Kennedy Space Center* e *Swamp Works*. A fim de resolver o problema de pouso em áreas desconhecidas como o solo de um outro planeta, o projeto busca desenvolver um robô capaz de transformar uma área de superfície arenosa em uma plataforma de pouso (figuras 12 e 13). O robô consiste em uma espécie de máquina CNC que funciona como uma ou fresadora, exceto que no lugar da fresa há uma agulha que, com o auxílio de uma sonda capaz de mapear as imperfeições da superfície arenosa, deposita um material cerâmico em pó desenhando o perímetro do componente desejado. Posteriormente, essa agulha sede o lugar a um outro dispositivo de micro-ondas que queima o solo arenoso contido no perímetro cerâmico, enquanto a cerâmica permanece inalterada, criando algo como uma malha de azulejos (figura 12). O sistema pode fazer vários azulejos de uma vez só, pois o robô é capaz de caminha pela superfície para avançar com o trabalho. Dessa forma, espera-se criar condições melhores para futuras

aterrissagens de sondas ou naves, principalmente se elas ficarem mais volumosas e pesadas.

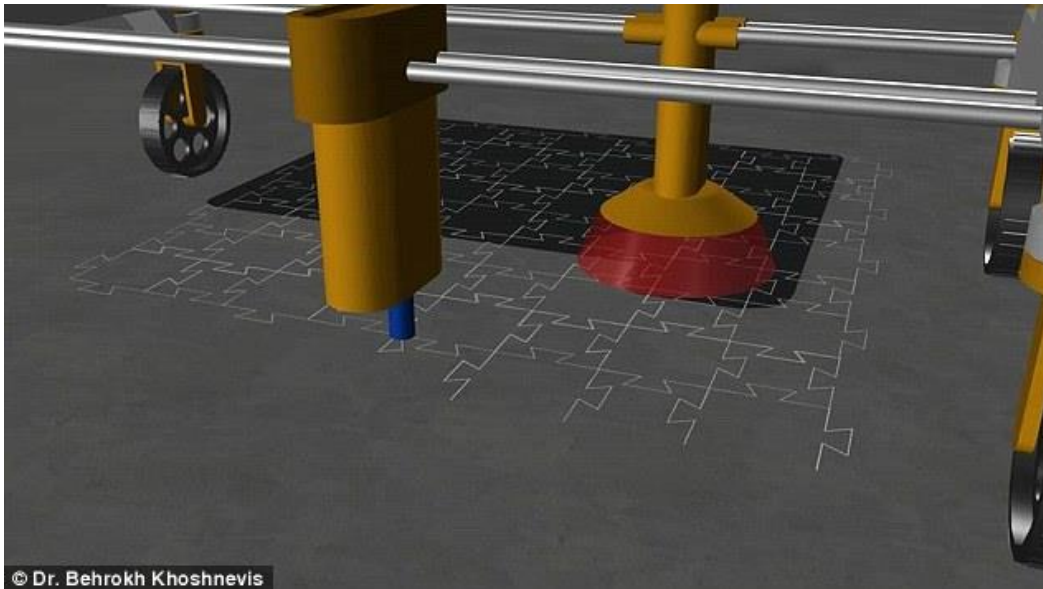


Figura 12 – CNC SSS. Fonte: Dr. Khoshnevis

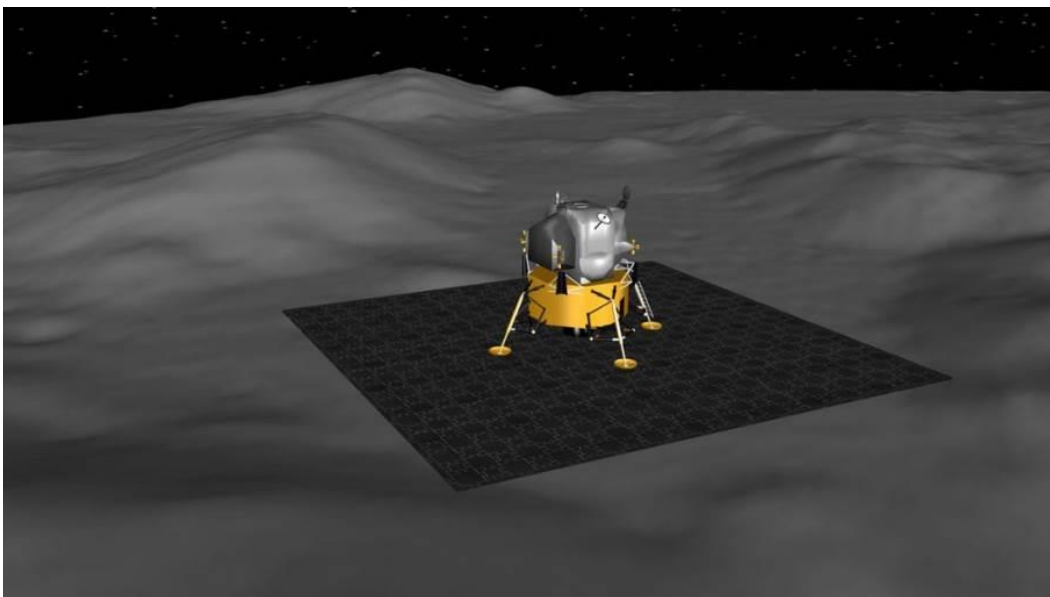


Figura 13 – Pista de pouso. Fonte: Khoshnevis

Em agosto de 2013, a NASA adicionou mais uma colaboração ao mundo das impressoras 3D ao tornar pública sua pesquisa de edificar estruturas no espaço sideral. A gigante espacial começou a desenvolver uma impressora 3D robótica, chamada de SpiderFab, capaz de imprimir e montar estruturas de cerca de 800 metros lineares em órbita (BREWSTER, 2013). Dessa forma, em vez de embarcar em suas naves materiais e componentes para construção espacial, que são consideravelmente pesados e volumosos, a NASA pode embarcar apenas os polímeros e as fibras, e produzir os componentes

enquanto em órbita (figuras 14 e 15). O *SpiderFab* processaria o material para construir grandes estruturas melhor adaptadas ao ambiente espacial. Segundo o CEO da *Tethers Unlimited*, Rob Hoyt, que está encabeçando o projeto, isso permitiria a construção de antenas cerca de cem vezes maiores que as que são produzidas atualmente.



Figura 14 – *SpiderFab*. Fonte: NASA

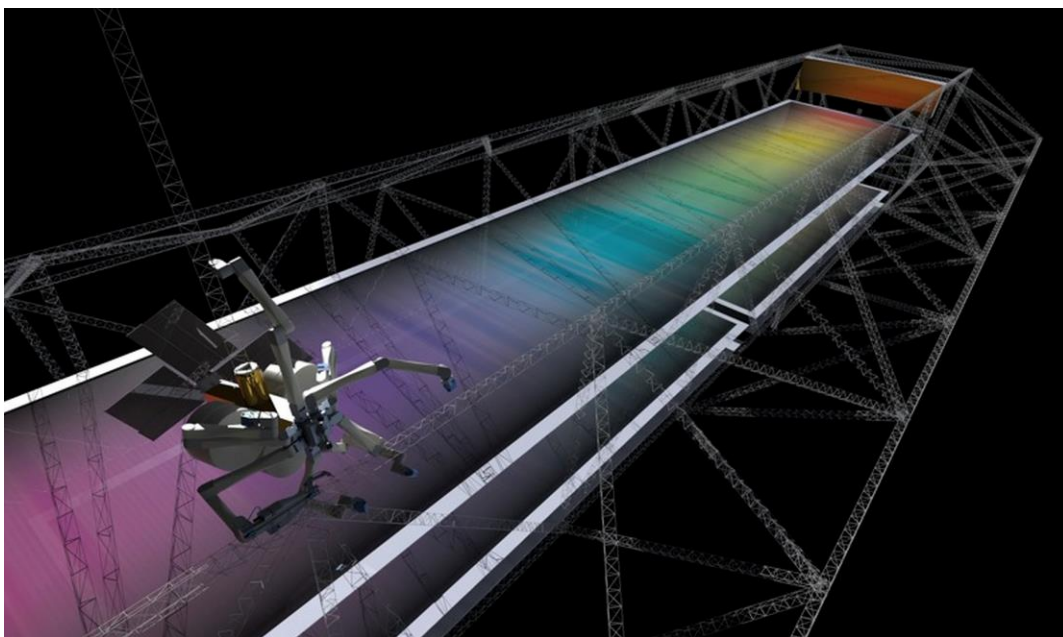


Figura 15 – *SpiderFab*. Fonte: NASA

Essas tecnologias de fabricação aditiva têm se mostrado muito eficiente para pesquisas, projetos e criação de protótipo para futuras inovações tecnológicas construtivas. No entanto, um dos maiores desafios enfrentados foi a integração das impressoras 3D na construção civil cotidiana, uma vez que produzir impressoras de pequeno porte pode ser viável, mas construir uma máquina capaz de imprimir em grandes escalas restringia-se a projetos patrocinados, inseri-la no mercado representava um grande desafio. Além dis-

so, a impressão diretamente no canteiro de obras torna-se um desafio a partir do momento em que as máquinas disponíveis são muito grandes, dificultando sua relocação para a obra. Tendo isso em mente, o IAAC (*Institute of Advanced Architecture of Catalonia*) desenvolveu um conjunto de três pequenos robôs móveis de impressão 3D (figura 16), que, trabalhando juntos, são capazes de imprimir estruturas de qualquer tamanho (STOTT, 2014). Primeiro, o robô base segue um percurso predefinido, captado por sensores, e constrói as primeiras 10 camadas, que servem de base da construção (figura 16a); então um segundo robô, chamado *Grip Robot*, termina de imprimir a estrutura, acoplado-se sobre a base impressa anteriormente e adicionando novas camadas (figura 16b e c); por fim, o terceiro robô, chamado *Vacuum Robot*, se adere à superfície impressa, percorrendo-a e examinando-a, adicionando camadas de reforço quando necessário (figura 16d). Essa técnica foi desenvolvida para solucionar o problema de fragilidade estrutural provocada pela impressão unilateral das impressoras 3D usuais, já que o terceiro robô tem a função de análise e, acoplado à superfície, tem a capacidade de percorrer o perímetro da impressão e corrigir qualquer ponto frágil.

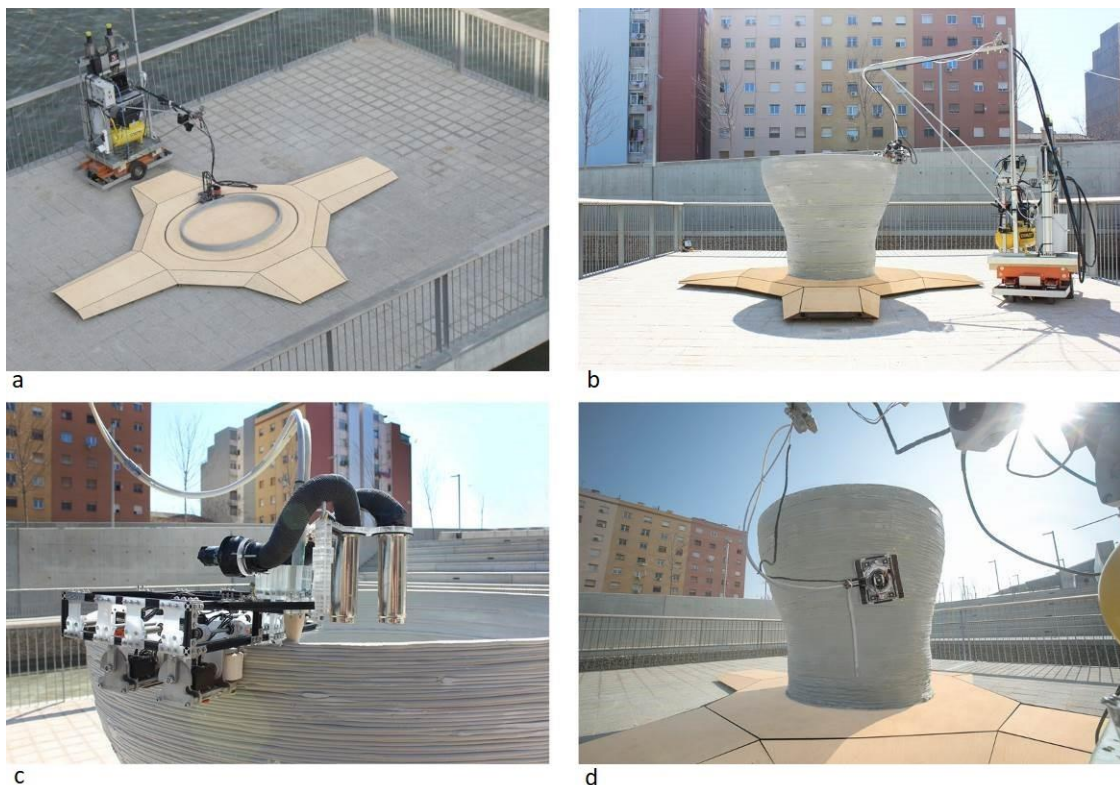


Figura 16 – *Minibuilders*. Fonte: IAAC

Explorando ainda mais o poder de prototipagem das impressoras 3D, a firma de design *Emerging Objects* desenvolveu uma coluna a prova de terremotos, feita de blocos de areia impressos (figura 17). A coluna, inspirada nas estruturas a prova de terremoto do

Peru, tem construção simples e é capaz de dissipar as forças dos abalos sísmicos através de seu desenho retorcido e rugoso e das juntas de dilatação. Como não possui argamassa em sua composição, consegue melhor absorver o impacto do terremoto: os blocos de areia que a compõem podem mover-se ligeiramente e reassumir a estabilidade, sem que as paredes se rompam, de acordo com Ronal Rael, designer responsável. Cada bloco de pedra de areia se encaixa perfeitamente em seus vizinhos, são leves e ocas, tornando a construção da coluna mais fácil. Interessante notar que uma estrutura desse tipo, que depende tanto do design principalmente para solucionar seus encaixes e montagem, poderia ter sido perfeitamente impressa numa impressora RepRap, com plástico, apenas para simular sua geometria e solucionar o seu processo construtivo, otimizando a adequação do produto final.



Figura 17 – Coluna à prova de abalos sísmicos. Fonte: *Emerging Objects*

Antoni Gaudí ficou famoso devido à estética inusitada de sua arquitetura. Gaudí era capaz de explorar tão profundamente os processos construtivos e leva-los ao máximo, que o possibilitou criar arquiteturas de estética muito similar à contemporânea paramétrica, muito antes de isso se tornar tendência, e sem usar impressoras 3D. Mas vale apontar que a construção de sua obra prima, a Sagrada Família, já dura mais de cem anos, tão complexa é a sua execução. Com efeito, optou-se por incorporar na construção da Sagrada Família as inovações tecnológicas de máquinas CNC, no intuito de acelerar

sua construção. A impressora 3D foi introduzida na obra do templo desde 2001 e tem se mostrado eficiente para acelerar seu processo, devido à capacidade que o computador tem em processar a complexa geometria de Gaudí e à eficiente construção dos componentes pelo processo de impressão 3D. O processo inclui a impressão de protótipos baseados em estereolitografia, produzindo peças de gesso que são facilmente modificadas a mão pelos construtores para aderirem mais facilmente à geometria do edifício.

Porém, é em maio de 2016, que podemos observar as engrenagens da indústria 4.0 verdadeiramente em ação, no que tange à impressão 3D na construção civil. O Comitê de Inovação Tecnológica dos Emirados Árabes, inaugurou o *Office of the Future*, em Dubai, uma edificação comercial inteiramente funcional impressa em 3D, projetada pela *Killa Design*. O projeto foi parte de uma iniciativa lançada em 2016 em Dubai, chamada *Dubai 3D Printing Strategies*, que consiste em usar a impressão 3D no intuito de melhorar a vida cotidiana. Dividida em três setores, que busca inserir a impressão 3D nos ramos da construção, da medicina e consumo, e compromete os Emirados Árabes a aplicarem as tecnologias de impressão 3D em 25% de suas edificações até 2030. É possível perceber com isso que esse processo construtivo tem grandes atrativos para a indústria e está percorrendo seu caminho rapidamente de projetos e pesquisas para a construção civil cotidiana, e, rapidamente, se tornará uma ferramenta de destaque entre os processos construtivos.

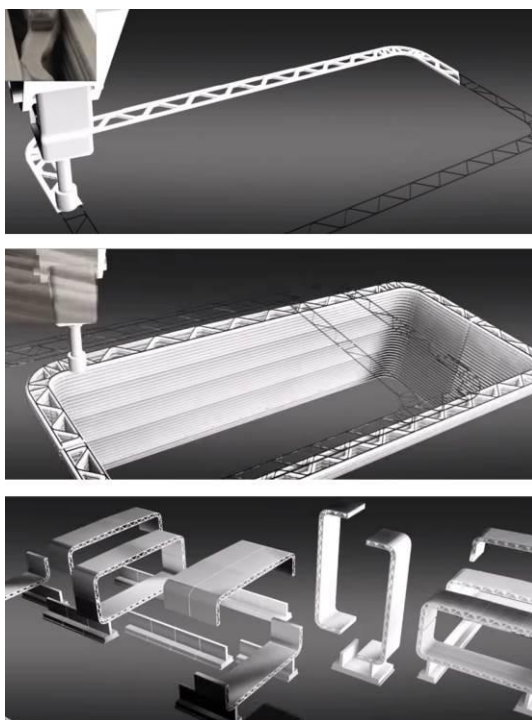


Figura 18 – esquema da impressão do *Office of the Future*. Fonte: *officeofthefuture.ae*

Conforme explicado no portal do projeto, para imprimir o *Office of the Future* foi utilizada uma grande impressora de cerca de seis metros de altura, com uma base de 36,5x12,19m. A edificação foi projetada em módulos estruturais pré-fabricados, impressos em 17 dias, transportados ao sítio e montados em dois dias de trabalho (figura 18). Apesar de as tecnologias de impressão 3D já serem parte da construção civil há algum tempo, esse escritório, de 250 metros quadrados, é alegadamente a primeira edificação do tipo a ser totalmente desenvolvida numa impressora 3D, desde a concepção do projeto até a construção, segundo a *Dubai Future Foundation*, responsável pelo projeto (Killa Design) (figura 19).



Figura 19 – *Office of the Future*. Fonte: officeofthefuture.ae

Imbuído com o espírito de explorar o potencial de materiais tradicionais e convencionais integrados às inovações tecnológicas dos processos construtivos, Sofoklis Giannakopoulos, pesquisador do IAAC, lançou um projeto para explorar o potencial construtivo da fabricação aditiva aplicada à arquitetura, investigando a possibilidade de se imprimir *in loco* usando materiais locais e naturais, como a terra. O projeto consiste em usar uma máquina de fabricação aditiva para imprimir edificações de argila em escala real e utilizar essa técnica construtiva para permitir soluções de design inteiramente baseadas nas propriedades do material (GIANNAKOPOULUS, 2015). O projeto foca no comportamento do material argiloso durante a impressão 3D, misturado a aditivos naturais, em busca de uma melhor compreensão do material e seus potenciais compósi-

tos derivados: já na primeira fase do projeto foi produzido um compósito com 96% de material argiloso, e três vezes maior resistência à tensão do que a argila industrial (figuras 20 e 21).



Figura 20 – Impressora *Pylos*. Fonte: pylos.iaac.net



Figura 21 – *Pylos* imprimindo. Fonte: pylos.iaac.net

Como aponta Mark Hewitt (1985), nos tempos antigos, anterior ao desenho arquitetônico, era no momento da execução da edificação que o conjunto de regras e diretrizes do projeto tornava-se visível: projeto e construção da obra não operavam em duas dimensões diferentes. Edificava-se com ferramentas de tecnologia de ponta e materiais acessíveis, e a estética arquitetônica era como um resultado do casamento entre a criatividade do arquiteto e as ferramentas e materiais de que dispunha. Desde a antiguidade clássica, os avanços arquitetônicos estão intimamente ligados aos avanços tecnológicos, que se traduzem na técnica e na estética arquitetônica, refletidos pelo Estado da Arte da Arquitetura. É difícil precisar o Estado da Arte na arquitetura, uma vez que esse conceito se aplica ao ápice do desenvolvimento de um determinado produto, ou técnica aplicada a um produto ou fim. Nesse sentido, uma edificação que é construída utilizando-se as

melhores ferramentas disponíveis, segundo processos construtivos mais rápidos e eficientes, que geram a menor quantidade de desperdício possível e consomem apenas o suficiente de matéria prima e energia para se pôr de pé, refletiria o Estado-da-Arte na arquitetura, mesmo que aparentemente seja semelhante a qualquer outra. Alguns autores, no entanto, acreditam em tendências arquitetônicas, que refletem resultados das necessidades das cidades e dos cidadãos em conjunto com o avanço técnico e novas possibilidades tecnológicas.

As estruturas paramétricas, por exemplo, refletem os interesses da situação industrial da atualidade: superando as formas de produção em massa adotadas nos primeiros momentos do industrialismo, substituindo os processos de fabricação em larga escala de componentes iguais por fabricação em larga escala de componentes únicos, segundo o princípio da fabricação e customização em massa. Roland Hudson, professor da Universidade de Dalhousie e douto em arquitetura e engenharia pela Universidade de Bath, defendeu a tese de que todo *design* é paramétrico, segundo o princípio de que todo *design* começa com atribuição, consciente ou não, de valores e parâmetros que descrevem os requisitos funcionais de um determinado objeto. Da forma como se entende hoje, no entanto, o termo *design paramétrico* está mais comumente relacionado ao uso do computador para auxiliar o desenvolvimento do projeto de *design*, automatizando as variáveis e os parâmetros e modificando o *design* para melhor atender às mudanças durante o projeto. O que a tecnologia da computação logrou foi aumentar o potencial de processamento de dados aplicado ao projeto de *design*, dessa forma o caráter paramétrico tornou-se mais evidente: visualmente compreensível, impresso na estética do produto. Se todo *design* passa por um processo paramétrico, existem aqueles que *aparentam* ser paramétricos. Sendo a estética a forma mais direta da percepção de uma ideia pelos humanos (PLATÃO), o termo *design paramétrico* é aqui empregado para se referir aos produtos que esteticamente veiculam seu caráter paramétrico e, por tanto, podem ser considerados como Estado-da-Arte.

Apesar de a parametrização estar presente em toda arquitetura, desde sempre, uma vez que toda edificação obedece a parâmetros estabelecidos no projeto ou durante a construção, essa pesquisa usa o termo para designar a arquitetura que, tendo esse princípio aplicado conscientemente ao projeto e aos processos de execução, torna evidente essa parametrização na estética e, nesse sentido, representam o Estado-da-Arte na arquitetura. Zaha Hadid foi uma arquiteta renomada pelo uso da parametria em suas obras, que

possuem design complexo e dificilmente poderiam ser construídas segundo processos manuais (figura 22). A arquitetura de Gaudí também obedecia a princípios paramétricos, mas surgiu numa época em que as máquinas CNC não se haviam integrado tanto às construções civis, o que tornou o arquiteto um ponto fora da curva; suas obras representavam um desafio muito grande durante a execução, que se refletia principalmente no tempo de construção – a Sagrada Família está em construção há mais de cem anos. Enquanto Gaudí era um ponto fora da curva, criando arquiteturas à frente de seu tempo, as obras de Zaha Hadid Architects encaixam-se mais facilmente no conceito de Estado-da-Arte, pois ela se aproveitava das ferramentas e processos mais tecnológicos para desenvolver seus projetos e executá-los.



Figura 22 – *New Century City Art Centre*, China. Fonte: Zaha Hadid Architects

A fabricação aditiva tem se mostrado uma técnica muito versátil no ramo da construção civil e da fabricação de produtos, auxiliando em pesquisas dos melhores desenvolvedores de tecnologias de vários países (MIT, NASA, ESA, só para citar alguns), podendo adaptar-se tanto às construções mais próximas do tradicional, feitas de argamassa ou argila, quanto na síntese de novos materiais e na criação de tecnologias responsivas, adotando uma abordagem mais natural, inspirada pela natureza. Tornou acessível a prototipagem de inovações construtivas, possibilitando novas formas de construção e execução de geometrias não usuais, de difícil construção, e de interação entre os diversos

sistemas que envolvem uma construção civil. Levando essa técnica construtiva para a mesa de projeto do arquiteto, a impressora 3D de mesa pode ser uma excelente aliada na concepção da volumetria e do planejamento de execução, colaborando com a construção de maquetes de ensaio que não só emulem detalhes construtivos em escala menor, mas seja também uma eficiente ferramenta para imitar com eficiência o próprio processo de execução da obra impressa, dando ao arquiteto a possibilidade de prototipar sua edificação ainda nas primeiras fases do projeto e assim otimizar o processo de execução, que, afinal, é uma das razões de ser do projeto arquitetônico.

2 O PROBLEMA

Apesar de já marcarem presença principalmente em feiras de tecnologia, *fablabs* e grupos do movimento *maker*, um dos empecilhos que a tecnologia da fabricação aditiva ainda encontra no Brasil é o baixo conhecimento que o grande público tem sobre ela. Muitas vezes, pessoas com projetos inovadores de *design* deixam de se valer dos benefícios das tecnologias de fabricação aditiva por falta de conhecimento sobre elas. Com efeito, os *fablabs*, por exemplo, para contornar essa situação, oferecem serviço de consultor de impressão. Esse consultor funciona como um intermediário entre o cliente e a máquina, uma vez que o cliente desconhece seu funcionamento. Quando alguém cria um projeto inovador e não sabe como executá-lo, esse consultor vai analisar o projeto e indicar qual a melhor forma de execução. Muitas vezes, ele também toma para si a responsabilidade de, a partir do projeto inicial, criar o modelo que vai ser executado, seja na impressora 3D ou qualquer outra CNC.

Não é incomum entre os estudantes de arquitetura que, devido às demandas do curso, precisem produzir maquetes de vários tipos ao longo de sua vida de estudante. Por experiência própria, muitos procuram empresas de impressão 3D a fim de imprimirem suas maquetes, mas, já acostumados com um tipo de modelagem exigido nos cursos, chegam com arquivos que não são compatíveis com a impressão 3D. Além disso, a demanda principal de quem procura serviços de impressão é imprimir maquetes de apresentação, e não de estudo. As maquetes de apresentação têm por objetivo apenas representar esteticamente o projeto original em escala, já as maquetes de estudo visam resolver, entre outras coisas, problemas construtivos, o que torna a sua impressão mais complexa, uma vez que a estratégia de impressão deve fazer parte do projeto em si.

De fato, as maquetes virtuais produzidas por alunos costumam ser a representação figurativa do projeto, prezando por uma reprodução fiel das dimensões dos elementos, texturas e formas. Todavia, ao pensar na confecção de modelos de tamanho reduzido, muitos elementos precisam ser adaptados e redimensionados, pois quando postos em escala, elementos de dimensões pequenas acabam por desaparecer no espaço. Se esses elementos são detalhes, muitas vezes são descartados do modelo físico, mas se são importantes para a compreensão do projeto, sofrem alterações e adaptações dimensionais para serem representados em escala.

Porém, o que acontece com as tecnologias de fabricação aditiva, é que o arquivo digital precisa ser uma representação fiel do produto impresso, quer seja um protótipo ou um modelo reduzido. Isso é ponto chave para entender o sistema cyber-físico, proposto pela Indústria 4.0, que representa uma mudança de paradigma em se tratando de impressão 3D de maquetes de arquitetura: o modelo 3D virtual que vai ser usado para a impressão não pode ser uma representação fiel do projeto, mas a exata contraparte digital da maquete impressa, com todas as adaptações que a escala pedir. Essas adaptações acabam por adicionar uma nova etapa no processo do projeto arquitetônico, pois, além de criar o modelo virtual que já é de costume, para estudos de volumetria, texturas, etc, o aluno e o profissional precisam modelar o arquivo que será impresso, com isso, é mister ter o conhecimento *a priori* de como seu projeto vai se comportar quando representado fisicamente em escalas menores. Isso ocorre também com as impressões em escala real, em que o objeto impresso deve ser a contraparte real do modelo digital usado para a impressão, portanto, a estratégia de impressão deve estar contida no processo de produção do modelo digital, para que sua impressão seja eficiente.

Em países como Estados Unidos, Holanda e no Reino Unido, os alunos tem contato com tecnologias de fabricação digital ainda na fase escolar (ensinos fundamentais e médio) e nos centros de ensinos superiores de *design* arquitetura e engenharia, onde é comum possuírem *fablabs* para que os alunos desenvolvam ainda mais seus conhecimentos sobre essas tecnologias. De fato, possuir um *fablab* eficiente funciona até mesmo como um artifício que esses centros acadêmicos usam para recrutar novos estudantes, um chamariz – sendo eles em sua maioria centros de ensino privado, isso se converte em investimento com alto potencial de retorno. Isso se torna evidente uma vez que a construção civil também está incorporando as tecnologias de fabricação aditiva, e as impressoras 3D capazes de construir edificações estão ganhando seu espaço.

Com efeito, vale retomar que recentemente o governo de Dubai lançou um projeto que visa automatizar as construções civis em seu território, e para isso, até 2030, objetiva fazer com que ao menos 25% das construções de edificações sejam feitas por impressoras 3D utilizando a técnica da fabricação aditiva. Além, disso, ainda consoante com os novos paradigmas da Indústria 4.0, países como Holanda e Estados Unidos lançaram programas de construção de casas impressas. A empresa holandesa de construção Van Wijnen, lançou o “Projeto Milestone” (figura 23), com o objetivo de construir o primeiro bairro holandês impresso em 3D em concreto.



Figura 23 – Projeto Milestone. Fonte: www.3dprintedhouse.nl

Já nos estados Unidos, a organização *New Story* lançou um projeto de impressão de residências sociais em El Salvador, Texas. É possível perceber, inclusive, como os idealizadores do projeto tiram partido estético da tecnologia, uma vez que as casas impressas evidenciam a técnica construtiva por meio das camadas que são visíveis na estrutura da construção (figuras 24, 25, 26 e 27).



Figura 24 – Residência de interesse social, New Story. Fonte: <https://www.iconbuild.com/>



Figura 25 – Impressão das residências, representação. Fonte: <https://www.iconbuild.com/>



Figura 26 – Detalhe externo. Fonte: <https://www.iconbuild.com/>



Figura 27 – Detalhe interno. Fonte: <https://www.iconbuild.com/>

A forma como a tecnologia da construção se traduz na técnica construtiva e por fim na estética da construção corrobora com a problemática proposta anteriormente: estudantes de arquitetura (e profissionais também) que precisam imprimir maquetes de seus projetos, não sabem como definir os modelos digitais e lançam mão de ajuda de outros profissionais que raramente possuem algum vínculo com a arquitetura em si; esses profissionais, que são os consultores de impressão, vão, invariavelmente, modificar os modelos apresentados para adequá-los à impressão. Se, em vez de imprimir uma maquete, os arquitetos em questão quiserem imprimir a própria edificação, com quem estará a *expertise* da execução da arquitetura? Tal fato poderá se conformar como uma desvantagem para arquitetos, já que eles perderão o controle sobre a execução do próprio projeto, além de instaurar a necessidade de um novo profissional que vai intermediar o arquiteto e a tecnologia construtiva de forma muito intrusiva.

Portanto, temos que a solução da problemática anteriormente apresentada do estudante que quer imprimir a maquete 3D e do arquiteto que quer imprimir sua edificação, é o conhecimento da técnica aplicada, para aliar-se ao seu conhecimento acerca do “projetar” (o “saber projetar” e o “saber construir” resultam na arte da arquitetura). Ao conhecer a técnica da construção, o arquiteto teria como aprimorar sua relação com o próprio projeto e com os diversos profissionais que colaboram no meio da construção civil. Os profissionais da construção devem funcionar como pontes entre o arquiteto e a arquitetura, não como obstáculos.

É assaz razoável que concebamos que um meio bastante eficaz de se adquirir conhecimento sobre um determinado e novo método de fabricação é praticando-o. No entanto, em se tratando de uma impressora 3D de grande escala, capaz de imprimir uma edificação em material semelhante a concreto, nem todo arquiteto terá à sua disposição uma máquina desse tipo, para que ele possa realizar testes até que possa compreender a tec-

nologia. Por isso voltamos àquela ideia anteriormente introduzida e corroborada por grandes arquitetos como Gaudi e Paulo Mendes da Rocha: a maquete como instrumento de compreensão do projeto e dos processos construtivos.

Na jornada do aprendizado dessas novas tecnologias de construção por fabricação aditiva, o arquiteto pode encontrar nas impressoras 3D de mesa um grande aliado, pois, se trocamos o sistema de impressão de filamentos plásticos por um sistema que imprime em materiais pastosos, teremos à disposição uma máquina que simula o funcionamento das grandes impressoras que constroem casas, mas em escala menor e consideravelmente mais acessível. Sistemas como esses já existem; não há nada de novo em impressoras que sejam capazes de imprimir em argila, por exemplo – ou outro tipo de material pastoso⁷ –, mas não são tão comuns como as típicas de filamento de plástico, e são bem mais difíceis de serem encontradas no mercado, como já dito anteriormente. Além disso, os projetos abertos de extrusores de materiais pastosos são menos abundantes e menos desenvolvidos do que os de filamento de plástico; muitas vezes não são tão replicáveis pois seus projetos obedecem às particularidades do local em que foram desenvolvidos, no que diz respeito à disponibilidade de seus componentes. E as máquinas já existentes no mercado são mais caras, conforme discutiremos mais adiante, e menos comuns. Portanto, a presente pesquisa gira em torno da seguinte pergunta problema: é mesmo possível adaptar um projeto de impressora 3D de baixo custo para imprimir com materiais pastosos, mantendo seu carácter acessível, tanto no custo de sua produção quanto na facilidade de adaptação da programação e na obtenção do material a ser impresso?

3 OBJETIVO GERAL

Adaptar um projeto aberto de baixo custo de uma impressora 3D para o uso de materiais pastosos, que seja compatível e adaptada à realidade do mercado Brasiliense.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Desenvolver um componente extrusor de materiais pastosos de fácil montagem a partir de peças de fácil aquisição, compatível com impressoras 3D de baixo custo.

⁷ Inclusive, é válido apontar que impressoras 3D de materiais argilosos estão sendo referidas como impressoras 3D de cerâmica (*ceramic 3D printers*), nessa dissertação, esse termo é, todavia, evitado a fim de evitar confusões, uma vez que cerâmica e materiais argilosos podem ter definições diferentes.

Propor um modelo de programação do hardware da impressora adaptado para melhor auxiliar o projetista durante as impressões de teste de seus projetos, e assim facilitar a compreensão dos processos construtivos que envolvem impressão 3D na construção civil.

4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

Essa pesquisa se valeu de dois métodos distintos.

O primeiro método foi de caráter exploratório e descritivo. Para tanto, além de se embasar em uma revisão bibliográfica com o intuito de localizar historicamente a origem e o uso das impressoras 3D no cenário industrial e, mais especificamente, no da indústria da construção civil, foi adotado o procedimento técnico de pesquisa documental para compilar informações sobre as pesquisas que foram e estão sendo desenvolvidas atualmente na área de impressões 3D e da tecnologia de fabricação por adição. Essa compilação tomou como fonte principal as notícias publicadas sobre o assunto em periódicos nacionais e internacionais, *sites*, revistas e jornais, e buscou localizar as técnicas mais utilizadas na fabricação por adição e suas contribuições e aplicabilidades na construção civil.

Numa segunda etapa, foi utilizado um método prático que se resumiu em desenvolver uma impressora 3D de baixo custo, adaptando um modelo já existente para imprimir com material pastoso. Essa etapa envolveu, portanto, a criação de um sistema de extrusão para materiais pastosos e o estabelecimento dos valores da própria programação da máquina.

Para o desenvolvimento do extrusor foi feita uma pesquisa de mercado a fim de fazer um levantamento dos componentes que são mais facilmente encontrados e que tenham potencial para serem utilizados na fabricação do extrusor.

Na programação do *firmware* da impressora foram definidas a aceleração e a velocidade de rotação dos motores, o volume de extrusão (fluxo) e foram feitas todas as adaptações necessárias nos parâmetros térmicos da programação original para se adequar à impressão com materiais pastosos.

5 IMPRIMINDO COM MATERIAIS PASTOSOS

Desde que o projeto RepRap foi lançado como um projeto *open source*, surgiu como um estímulo aos entusiastas para que pudessem desenvolver a tecnologia e alça-la a novos níveis para servir aos mais variados propósitos, isso garantiu que a tecnologia de fabricação aditiva pudesse se expandir e agregar uma enorme miríade de técnicas de impressão diferentes. Entre essas técnicas, a impressão com materiais pastosos tem se tornado bastante popular entre os entusiastas da tecnologia, originando pesquisas e novos projetos. O processo mais comum de impressão com materiais pastosos se dá com o uso de sistema de seringas, em que o material é empurrado dentro de um tubo por um pistão e extrudado através de um bico. Esse sistema é usado para uma grande variedade de impressão 3D como *bioprinting* – tecnologia de alta precisão em impressão de bio-polímeros e células – impressão de comida e impressão de fluídos (K. PUSCH *et al*, 2019).

De acordo com artigo publicado em 2019 no periódico HardwareX, “*Large volume syringe pump extruder for dekstop 3D printers*”, o sistema de impressão em seringas pode ser dividido em duas categorias: impressão de bio-polímeros (*bioprinting*), e impressão de materiais pastosos, como argila (*paste/clay extruders*). Enquanto o sistema de impressão de bio-polímeros foca na impressão em alta resolução, utilizando bicos de extrusão de diâmetro muito fino (menores até que 250 μ m), a impressão de materiais pastosos são mais robustas, utilizando bicos de extrusão mais largos (de até 4mm) – isso se dá principalmente pela consistência do material (K. PUSCH *et al*, 2019).

Com efeito, ultimamente tem surgido algumas máquinas de fabricação aditivas que utilizam sistemas de extrusão em seringas (figura 28), no entanto, são máquinas com custo de aquisição elevado, se comparado ao custo e impressoras 3D de baixo custo, variando de U\$10.000,00 a mais de U\$ 200.000,00, e são tecnologias protegidas e difíceis de modificar (K. PUSCH *et al*, 2019). Somente o componente extrusor da empresa *Wasp*, por exemplo, custa € 250,00, e uma impressora 3D custa em média € 3.000,00.



Figura 28 – Delta WASP 400303030. Fonte: www.3dwasp.com

Esses fatores de preço e protecionismo da tecnologia tornam-se empecilhos às pesquisas e às inovações, mas existem alguns projetos que buscam inserir o desenvolvimento desse sistema de extrusão ao conceito *open source*, inserindo-o, por exemplo, nas máquinas originadas pelo projeto RepRap. É o caso, por exemplo, do extrusor LVE (*Large Volume Extruder*), desenvolvido pelos pesquisadores Kira Pusch, Thomas J. Hinton e Adam W. Feinberg, e descrito no artigo já mencionado. O LVE é um extrusor de biopolímeros, de alta precisão e *open source*, compatível com impressoras 3D de mesa de baixo custo (figura 29). Para demonstrar a versatilidade do extrusor, os desenvolvedores usaram a estrutura base de uma impressora 3D *PrintrBot Simple Metal*.

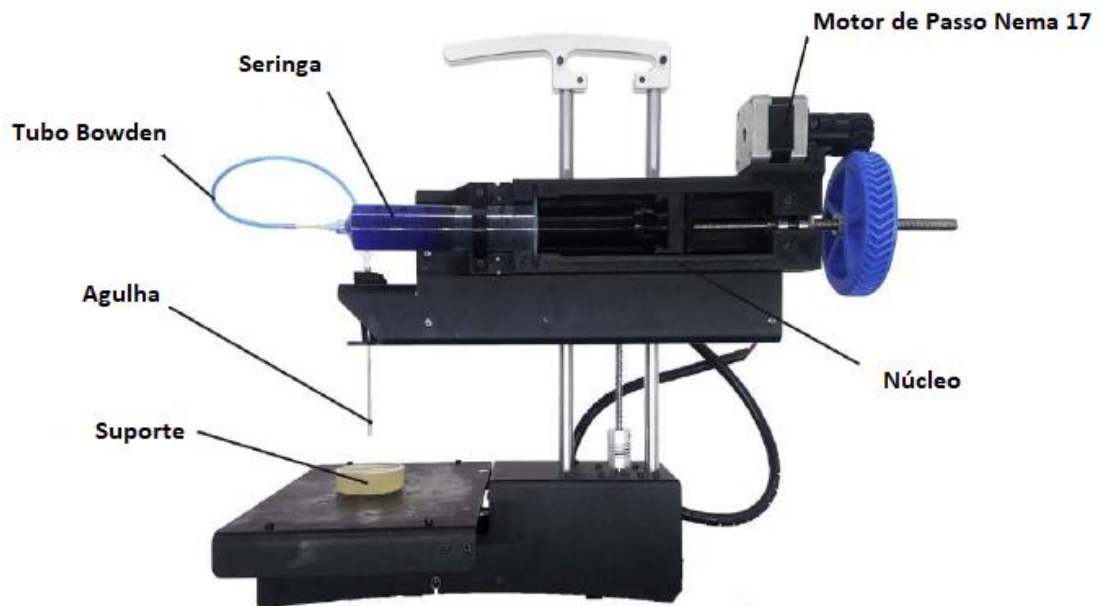


Figura 29 – Extrusor LVE. Fonte: K. Pusch et al

Apesar de já ter nascido como um projeto aberto, o extrusor LVE não pôde ser utilizado como base para o desenvolvimento da impressora de material pastoso da presente pesquisa, justamente por se tratar de um extrusor de alta precisão, a agulha de $250\mu\text{m}$ não seria adequada para a extrusão de uma pasta de argila, que se assemelha mais a uma argamassa de assentamento, por exemplo, do que a um bio-polímero, de consistência muito mais fina.

6 CONSTRUINDO IMPRESSORA DE MATERIAIS PASTOSOS

6.1 ESTRUTURA

O projeto de base escolhido para ser adaptado à impressão de argamassa de material pastoso foi a Impressora Ub, desenvolvida por arquitetos ex-alunos da faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB (FAU) e que serviu como objeto motriz de uma pesquisa desenvolvida na Pós-Graduação da FAU pelo arquiteto Renan Balzani (figura 30).

A Impressora Ub foi desenvolvida a partir da *Prusa Air 2* (figura 31) – projeto da Reprap, porém, utilizando placas de MDF na estrutura, em vez de acrílico como a original, para reduzir seu custo de produção. Além disso, ela sofreu algumas adaptações na estrutura para facilitar a sua montagem. Com efeito, a Impressora Ub foi desenvolvida para que sua montagem fosse feita com peças e componentes facilmente encontrados

nos comércios locais brasileiros ou brasileiros e por isso foi escolhida para ser adaptada à impressão de material pastoso

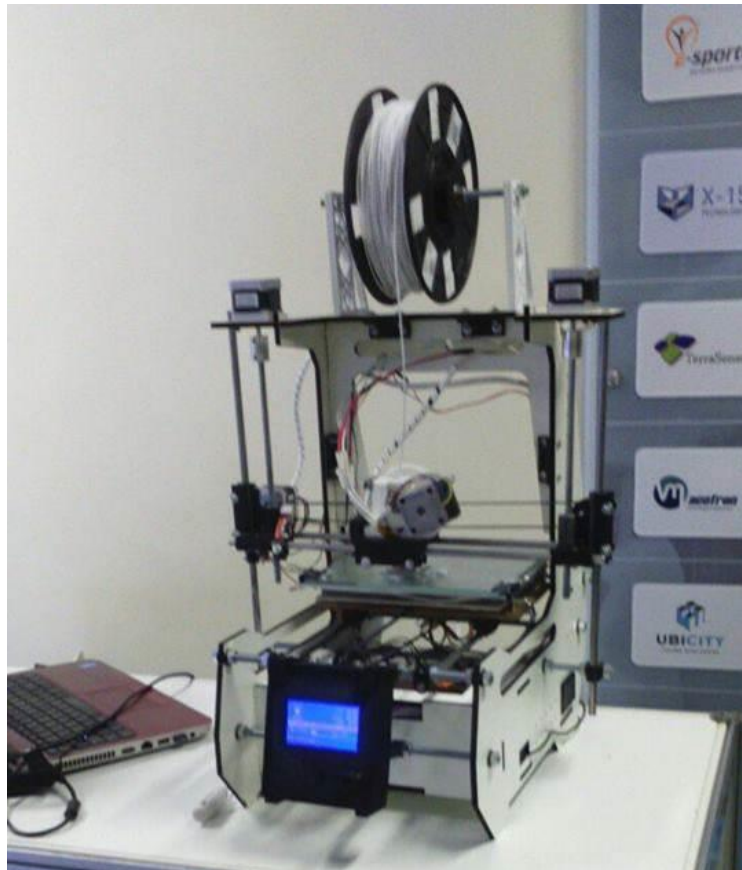


Figura 30 – Impressora Ub, Fonte própria

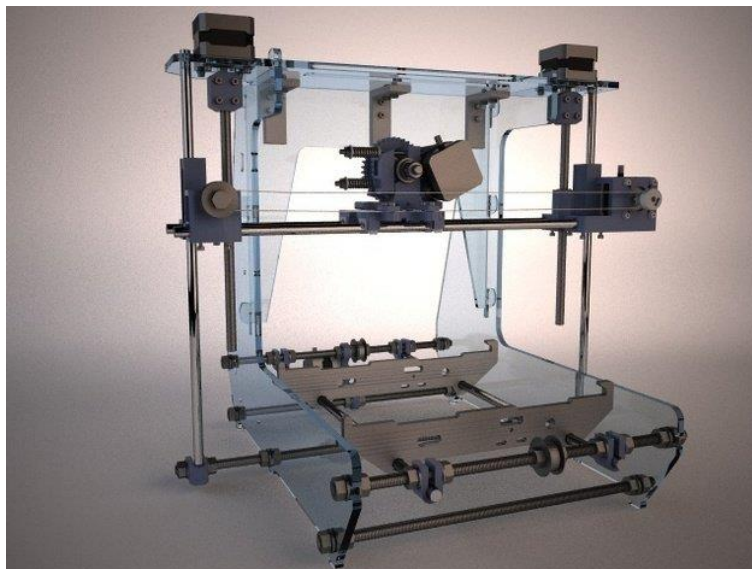


Figura 31 – Impressora Prusa Air 2. Fonte: Mecano, www.thingiverse.com/Mecano/designs

Embora a Impressora Ub tenha sido eleita para sofrer as adaptações, o extrusor de argamassa de argila pode ser montado em outros tipos de impressoras RepRap, sendo necessário apenas que a máquina tenha espaço suficiente para comportar o novo extru-

sor (que tende a ser maior que os extrusores de filamentos tradicionais) e o Eixo X deve ser o sistema horizontal (mais sobre isso no Anexo 3, que descreve o passo a passo da montagem do extrusor). Além do extrusor, que precisou ser alterado, a Impressora Ub sofreu modificação na Eixo Y, uma vez que a mesa aquecida Mk2b não seria necessária; em seu lugar, foi colocado um anteparo de MDF melamínico como superfície de impressão (ver Anexo 1).

O passo a passo da construção da Impressora Ub pode ser encontrado na dissertação de mestrado “A PRODUÇÃO DE IMPRESSORAS TRIDIMENSIONAIS DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA”, por Renan Balzani, disponível no repositório da FAU/UnB e da BCE/UnB. As adaptações para a impressão com argamassa de material pastoso estão descritas nos anexos 1 e 3 da presente dissertação.

6.2 HARDWARE E FIRMAWARE

A programação de uma impressora RepRap e suas derivações é feita no *software Arduino IDE*, e conceitua-se por ser uma linguagem de programação de código aberto, baseada nas linguagens de programação *Processing*, concebida para ensinar noções básicas de programação para iniciante, e o sistema *Wiring*, criado por artistas e designers com o objetivo de escrever programas para controlar aparelhos e objetos interativos. O software Arduino IDE foi criado especificamente para o projeto Arduino, que consiste em uma plataforma eletrônica de hardware livre com o objetivo de criar ferramentas de baixo custo e acessíveis a profissionais e iniciantes. Escrito basicamente em código JAVA, os parâmetros de programação foram concebidos para serem de fácil leitura, admitindo textos explicativos ao lado dos códigos para facilitar a compreensão. O Arduino permite ainda que seu código possa ser reescrito livremente utilizando o *software Arduino IDE*, o que permite maior flexibilidade para projetos e prototipagem. Graças a essa característica de *hardware* livre, foi possível utilizar o *firmware* de base das impressoras RepRap para criar a configuração da impressora de materiais pastosos.

O *firmware* das impressoras RepRap, batizado de Marlin, é exatamente a configuração criada na plataforma do Arduino IDE para controlar as impressoras 3D. Ao ser aberto no software do Arduino, consiste em uma série de abas contendo um texto de programação, que correspondem a algum aspecto da programação da máquina. Embora possa ajudar muito, não é necessário entender de codificação para aventurar-se nesse *firmware*, nem é preciso compreender o que cada aba faz ou a que corresponde, uma vez que

tutoriais podem ser encontrados facilmente na internet. Com efeito, a única aba que é preciso modificar para mudar os parâmetros principais da máquina, como tamanho, velocidade de impressão, técnica de impressão e tudo o mais o que corresponde aos componentes físicos da impressora, é a aba *configurations.h*.

Em *configurations.h*, é possível perceber que a programação está dividida em uma série de setores para melhor compreensão do processo. No processo de adaptar um *firmware* Marlin já existente, os parâmetros iniciais consistem em definir o tipo de placa controladora utilizada e o componente que funcionará em conjunto com ela, chamado de *shield*, a quantidade de extrusores e o tipo de fonte energética.

```
/**
 * This setting determines the communication speed of the printer.
 *
 * 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
 * you commonly experience drop-outs during host printing.
 *
 * :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000]
 */
#define BAUDRATE 115200

// Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
// #define BLUETOOTH

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif
```

O *baudrate* determina a velocidade de comunicação da impressora 3D, o valor de 250000 funciona para a maioria dos casos, mas pode ser necessário reduzir esse valor caso as impressões funcionem de forma indevida com perda de informação. No caso, foi necessário usar o valor referente a 115200 de *baudrate*

```
// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

(...)
```



```
// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4]
#define EXTRUDERS 1
```

A grande maioria das impressoras 3D RepRap usam o *arduino mega 2560* como placa controladora e a *ramps 1.4*, como a *shield* que, acoplada ao arduino, vai distribuir as informações para os componentes físicos da máquina; é na *ramps 1.4* que estão definidas as quantidades e os tipos de motores, extrusores, chaves de fim de curso e sensores térmicos e de movimento. No Marlin, isso tudo já vem pré-determinado, e não foi necessário alterar para a adaptação da impressora de material pastoso.

O setor que mais precisou ser alterado corresponde justamente à parte de parâmetros térmicos, poder-se-ia dizer que esses são os parâmetros mais sensíveis da máquina pois envolvem definições de altas temperaturas para o funcionamento da impressora 3D. Tratando-se de uma impressora de filamento de plástico, faz-se necessária a presença de dois elementos térmicos: a superfície de impressão, que precisa aquecer a determinadas temperaturas para garantir que as primeiras camadas de filamento estejam aderidas à superfície, e o bico do extrusor, que precisa aquecer a temperaturas acima de 200 graus Celsius para garantir a fusão do filamento e permitir que ele seja extrudado.

Como medida de segurança, e para produzir impressões mais precisas e otimizadas, o projeto original da impressora 3D apenas permitia a impressão quando o *hotend* e a mesa estivessem aquecidos o suficiente para alcançar o ponto de fusão do filamento – no caso do primeiro – e permitir uma melhor aderência do plástico à superfície – no caso do segundo. Esses parâmetros podem ser modificados de forma bem simples no *firmware* Marlin, usando o *software* de programação

Essas características são dispensáveis no caso de uma impressora de material pastoso, já que o material não necessita passar pelo processo de derretimento para ser extrudado, podendo ser depositado na superfície em seu estado natural. Portanto, no segmento da programação que dispõe sobre os parâmetros térmicos, o valor correspondente ao termistor responsável por fazer a leitura da mesa aquecida foi substituído por 0 – o que indica que não foi usado nenhum termistor e que a mesa será fria na hora da impressão. No entanto, o mesmo não pode ser feito para o termistor do *hotend*, uma vez que por medida de segurança, o *firmware* não reconhece a falta desse componente, então foi

necessário fazer uso de um código que “obriga” o termistor do *hotend* a fazer sempre uma leitura de 25°C e permitir o funcionamento do motor. Apesar de ainda estar conectado ao arduino, esse termistor não precisa estar instalado no extrusor.

```
#define TEMP_SENSOR_0 998
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0
```

No caso acima descrito, as quatro primeiras linhas da seção referem-se aos *hotends* utilizados. Quando apenas um *hotend* é instalado na máquina somente a primeira linha é ativada com um número correspondente ao termistor usado, nas outras linhas adiciona-se o número 0 indicando não haver mais de um *hotend*. Como esse código foi desenvolvido para as impressoras RepRap, que necessariamente precisam de ao menos um *hotend* para funcionar, é obrigatório definir ao menos um termistor, e não é possível adicionar o número 0 depois da linha “TEMP_SENSOR_0” sob pena de o código não ser reconhecido. Para contornar esse problema sem precisar fazer grandes alterações na programação, basta acrescentar o código 998 que força a máquina a fazer sempre uma leitura de 25°C, mesmo que não haja nenhum termistor instalado. Dessa forma a máquina pode funcionar sem problemas sem que seja necessário instalar termistor ou *hotend*.

A última linha refere-se ao termistor da mesa aquecida, que pode ser 0, porque é possível que se imprima com a mesa fria.

A última parte modificada diz respeito ao funcionamento dos motores de passo. Esta linha de código define quantos passos por milímetro o motor vai percorrer, determinando a força de giro e a rotação do motor.

```
/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *          X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 2560, 308 }
```

Na linha “#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 2560, 308 }” o primeiro número entre as chaves representa o motor do Eixo X, o segundo, do Eixo Y; o terceiro representa os dois motores do Eixo Z e o último define a rotação do motor do

Extrusor. Os três primeiros valores são os mesmos usados na Impressora Ub, definem os eixos que não foram modificados para o funcionamento da impressora de material pastoso. A Impressora Ub imprime em filamento de plástico e seu Extrusor tem apenas uma polia dentada acoplada ao eixo motor que funciona como eixo trator para empurrar o filamento; mas o Extrusor de material pastoso tem três engrenagens conectadas ao eixo do motor, o que modifica a força que o motor precisa exercer para acionar o mecanismo. Uma série de testes de extrusão foi feita para determinar a quantidade de passos por milímetro adequada para a extrusão do material pastoso utilizado na pesquisa, pasta de argila, e definiu-se o valor de 308. Valores mais altos implicam em mal funcionamento do extrusor e o motor perde passo; valores mais baixos fazem com que a velocidade de extrusão seja muito lenta comparada à velocidade de impressão, a extrusão não consegue acompanhar o movimento dos outros eixos e resulta em pouco material impresso (no Anexo 5 está disponível toda a programação referente à aba *configuration.h* do *software Marlin*).

6.2.1 Os componentes da placa controladora

Como dito anteriormente, a placa controladora da máquina é o *arduino mega 2560*, a mesma usada nas impressoras RepRap (figura 32). O arduino é uma plataforma genérica que serve para o desenvolvimento de uma miríade de ferramentas eletrônicas, para que ele funcione especificamente para controlar uma impressora 3D, é necessário acoplá-lo a uma extensão chamada *shield*, que vai traduzir a informação gravada no arduino para o devido fim: a *shield* utilizada para impressoras 3D no projeto RepRap é a *ramps 1.4* (figura 33). É na *ramps 1.4* que os componentes mecânicos e eletrônicos da impressora são conectados (para mais detalhes acerca da montagem da placa controladora, ver Anexo 4).

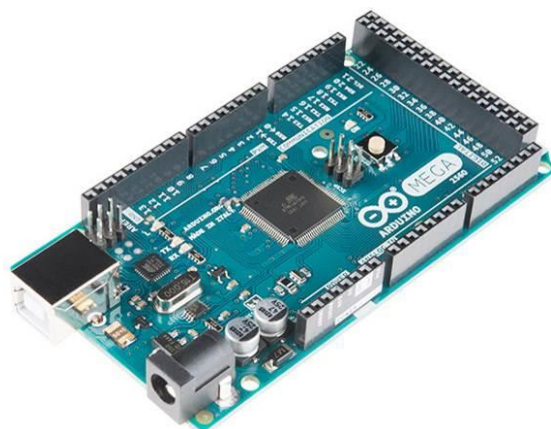


Figura 32 – Arduino Mega 2560

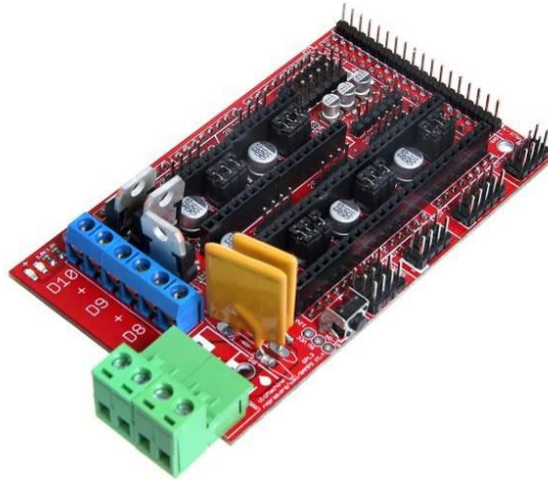


Figura 33 – Shield Ramps 1.4

A *ramps 1.4* possui os acessos, chamados de *slots*, para a entrada da fonte de alimentação, além de cinco *slots* para a instalação dos motores (dos quais, foram usados apenas 4, uma vez que os dois motores do eixo Z funcionam em série e são conectados ao mesmo *slot*), acessos para as chaves de fim de curso (apenas 3 são utilizadas), além de acessos para cabos de energia responsáveis por aquecer a mesa e o bico do extrusor, e instaladores de termistor, esses últimos responsáveis pelas funções térmicas não foram utilizados. Para o controle dos motores, são necessários 4 drivers A4988 (figura 34) (ver Anexo 4 para detalhes da montagem da placa controladora).

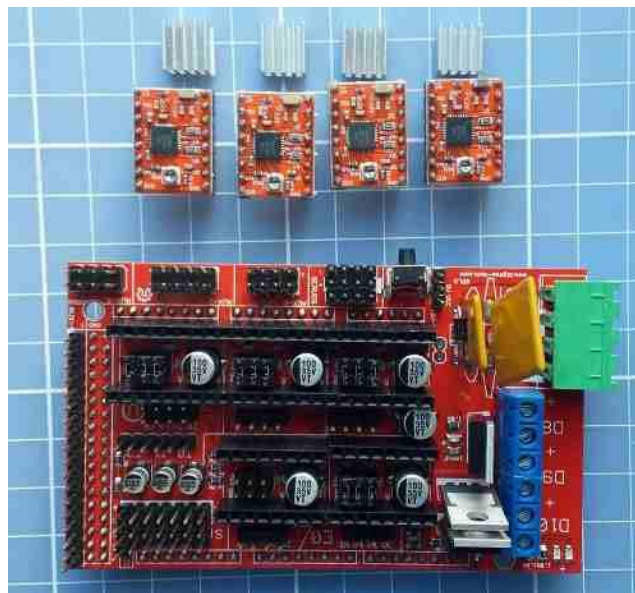


Figura 34 – Ramps 1.4 com drivers A4988

6.3 EXTRUSOR

Pode-se dizer por qualquer um que se aventure a construir uma impressora 3D que o extrusor talvez seja o componente mais sensível de uma máquina desse tipo. Ele é responsável pela deposição do material impresso e sem ele, todo o movimento dos eixos de nada serviria. É através dele que toda a magia acontece. Por isso é mister que se tenha um projeto de extrusor, seja qual for a matéria prima da impressão. Com efeito, durante o desenvolvimento da Impressora Ub, o extrusor foi o componente mais difícil de se obter e mesmo com a máquina toda pronta e em pleno funcionamento, os primeiros extrusores testados não apresentavam desempenho satisfatório. Como ele era feito por fabricação própria, impresso pela própria máquina em plástico, o tempo de vida útil era muito curto, além disso e embora houvessem inúmeros projetos de extrusor disponíveis na internet para serem baixados e impressos, era difícil encontrar um que se adaptasse bem à impressora desenvolvida. De fato, a Impressora Ub só passou a ter um desempenho realmente notável, quando seu extrusor foi trocado por um industrial, de metal. Entre os entusiastas da impressora 3D a maior dificuldade sempre foi encontrar um bom extrusor que se adaptasse às suas máquinas, mas o mercado evoluiu e, em pouco tempo, percebendo um nicho em potencial, logo aparecerem fabricantes de extrusores de outros materiais, como metal ou plásticos mais resistentes, que resolveram essa dificuldade. Hoje em dia, é muito mais comum encontrar impressoras 3D com extrusores produzidos industrialmente do que extrusores impressos, mesmo entre os entusiastas que montam suas próprias máquinas.

O mesmo não acontece ainda com os extrusores de materiais pastosos, como já dito anteriormente. É mais complicado encontrar um extrusor de materiais pastosos que pudesse ser adaptado à Impressora Ub, por exemplo, mesmo entre os projetos abertos.

Um dos primeiros problemas era o tamanho da máquina. Não era interessante desenvolver uma máquina muito maior do que a Impressora Ub para não aumentar seu custo de produção, porém os extrusores de material pastoso tendem a ser maiores que os extrusores de filamentos de plástico. A solução pensada inicialmente foi usar um extrusor externo, que não ficasse instalado no interior da impressora. Foi encontrado, disponível no site da *thingiverse*, um modelo de extrusor desse tipo, que funciona como uma grande seringa externa à impressora e empurra com um pistão a pasta contida no corpo do extrusor, essa pasta é levada através de um tudo Bowden de ¼ de polegadas até um bico

acoplado ao Eixo X e de lá depositada na superfície (figura 35). O projeto, batizado de *Large Volume Paste Extruder*, trata-se de um extrusor genérico para materiais pastoso, e foi projeto por Adam Kemp e está disponível no seu perfil do *thingiverse: AtomKemp*. De acordo com o próprio fabricante:

“Este extrusor foi projetado para empurrar um grande volume de material pastoso através de um tubo do tipo bowden para o bico da sua escolha. Ele usa um pistão acionado por um motor de passo para empurrar a pasta, tornando fácil controla-lo usando seu atual motor de passo (...). Eu projetei o bico para ser acoplado a uma tampa de um frasco de *refill* de cartucho *inkjet*. Fique atento enquanto eu atualizo o bico para depender menos de partes específicas.” (tradução do inglês própria)

Esse extrusor resolveria o problema do tamanho reduzido do espaço de impressão, além de possibilitar um suporte maior de material de impressão. Porém, ele foi logo descartado, uma vez que ele não mostrou desempenho satisfatório depois de impresso: o sistema de engrenagens não funcionava bem e, aparentemente, não conseguia produzir torque suficiente para empurrar o pistão com eficiência. Além disso, como ele foi projetado para materiais pastosos genéricos, no caso do uso da pasta de argila a solução com o tubo *bowden* não seria a mais adequada, uma vez que, terminado o movimento do pistão, toda a pasta ficaria perdida até a próxima impressão, dificultando a limpeza do tubo e podendo ressecar em seu interior e acabar por inutiliza-lo.



Figura 35 – *Large Volume Paste Extruder*. Fonte: AtomKemp

Devido a esses problemas de desperdício de material e manutenção do equipamento, optou-se por desistir da idéia de adaptar um extrusor externo e eleger um extrusor que pudesse ser instalado no próprio Eixo X, para evitar principalmente a necessidade de se utilizar um tubo *bowden*. Nesse sentido, o modelo mais promissor encontrado foi *Universal Paste Extruder for 3D Printer* (Extrusor Universal de Materiais Pastosos para Impressoras 3D), desenvolvido por Richard Horne e também disponível em seu perfil do *thingiverse*: RichRap (figuras 36 e 37). Bem mais compacto que o anterior, esse extrusor é adaptado para funcionar em conjunto com uma seringa, e é muito mais semelhante em sua forma aos extrusores de filamentos de plástico, o que o tornou candidato perfeito para servir de base do extrusor de argila da Impressora Ub. Esse extrusor usa um sistema de correia e polia conectado às engrenagens do motor para empurrar o êmbolo da seringa e expelir o material pastoso. Essa solução permitiu que a volumetria do extrusor fosse sensivelmente mais compacta e menor em altura, tornando possível sua instalação na Impressora Ub.

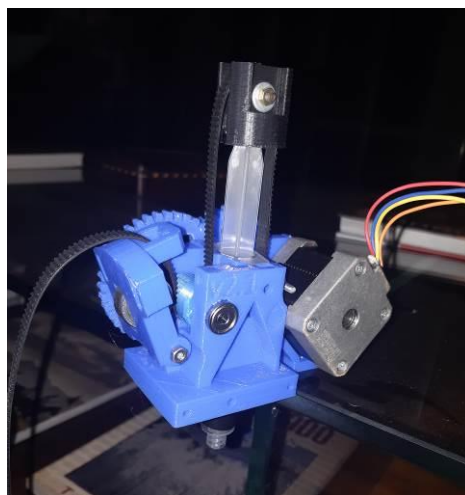


Figura 36 – Extrusor universal de materiais pastosos. Fonte própria

A construção, porém, era um problema, pois, apesar de seu projeto estar disponível gratuitamente e pronto para ser impresso, inclusive com vídeo tutorial para a montagem, as partes não impressas, como ferragens e parafusos, se mostraram obstáculos para a sua construção.

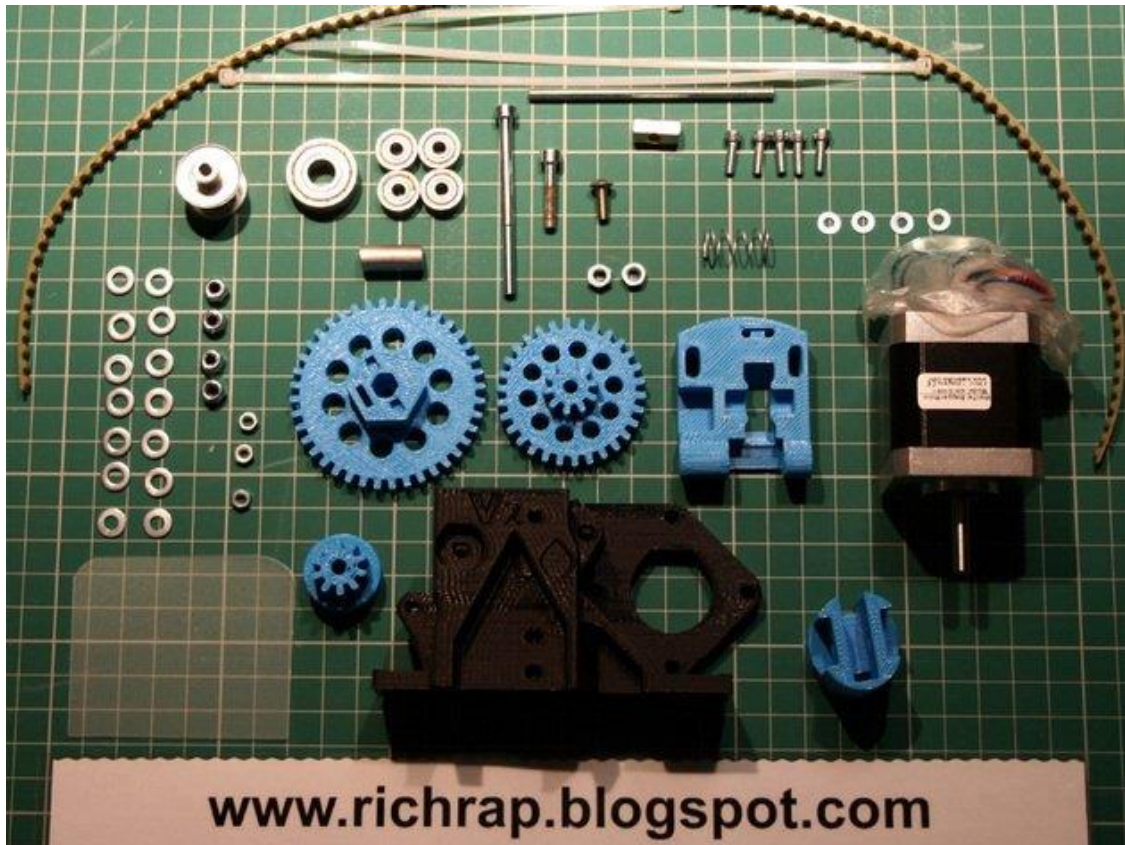


Figura 37 – Componentes para montagem do extrusor. Fonte: www.richrap.blogspot.com

Dentre as peças mais complicadas de se obter estavam: as barras lisas M8 de 20mm, espaçador hexagonal M4 e, principalmente, a polia dentada T5, de 10 dentes, usada para tracionar a correia. Esses componentes não foram encontrados nas lojas especializadas de Brasília, nem mesmo no Setor de Indústrias e Abastecimento. O espaçador hexagonal, junto com uma das barras lisas, seria acoplado à engrenagem maior, usada como pivô da polia dentada, a outra barra lisa conectava a engrenagem média ao corpo do extrusor; tornando a confecção desse extrusor uma tarefa quase impossível. É possível encontrar essas peças em sites de compra como mercado livre, ou no exterior, ou mesmo no estado de São Paulo, onde existe maior variabilidade de produtos do tipo, mas fazê-lo apenas se justificaria se o objetivo fosse montar uma quantidade maior de extrusor, para justificar o preço do frete ou das taxas de exportação. No mercado livre, por exemplo, um kit com 25 polias dentadas T5 custa R\$ 547,27 mais frete. Todavia, podemos nos beneficiar das vantagens que tecnologias de prototipagem rápida têm para nos oferecer, e com isso, em vez de imprimir o modelo do extrusor disponibilizado, é possível adaptá-lo para que seja compatível com componentes encontrado em comércio local.

Para deixar a montagem desse extrusor mais fácil e acessível, foi necessário fazer alterações no modelo em softwares de modelagem tridimensional, o que foi possível uma vez que o arquivo para impressão disponível na extensão *stl* é compatível com a maioria dos softwares de modelagem. Segundo o próprio fabricante, a polia dentada T5 poderia ser substituída por uma impressa, e seu arquivo também estava disponível. Para servir de eixo da polia foi usado um parafuso de 1/8 de polegada por 5cm de comprimento. Esse parafuso foi colado à engrenagem maior e a polia impressa foi instalada nela, dispensando assim o uso do espaçador hexagonal e da barra lisa. Um outro parafuso do mesmo tipo foi usado para acoplar a engrenagem média ao extrusor.

A abertura de encaixe da seringa precisou ser modificada, também, para comportar as seringas encontradas no mercado hospitalar e farmacêutico de Brasília. Foi usado uma seringa sem agulha, pequena de 10ml e 1,5mm de orifício de saída. Essa seringa foi revestida com uma camada de fita isolante para facilitar a aderência no extrusor.

Com o extrusor montado, o primeiro teste de extrusão foi feito com massa corrida. Apesar de o sistema de engrenagens terem funcionado, o pistão não foi acionado de forma consistente, apresentando um funcionamento inconsistente. Identificou-se que o problema era na polia dentada impressa, uma vez que tanto o motor quanto o sistema de engrenagens estavam funcionando bem: a polia por vezes não agarrava a correia dentada e mesmo quando se aumentou a pressão nela a polia veio a romper-se.

Uma nova modificação precisava ser feita, uma vez que a polia dentada impressa não era confiável. Decidiu-se adaptar o modelo para funcionar com uma polia GT de 20 dentes (figura 38), a mesma usada nos eixos das impressoras 3D tradicionais, e possível de ser encontrada no comércio brasileiro.



Figura 38 – Polia GT 20 dentes

Para isso, o parafuso usado como pivô foi substituído por uma barra roscada com bitola de 45mm, o suficiente para encaixar no orifício da polia, e o espaço destinado à polia dentada no extrusor foi reduzido para melhor receber o novo sistema (ver Anexo 03).

Apesar de ter funcionado relativamente bem com massa corrida, quando foi feito o teste com a argila pastosa o material não passou pelo orifício da seringa. O pistão conseguia apenas compactar o material, o que causava congestionamento na saída. O afunilamento da seringa é muito abrupto para a pasta de argila obtida para o teste. O bico da seringa utilizada tinha orifício de saída de 1,5mm, muito inferior aos bicos mais usados atualmente, de 4mm (K. PUSCH *et al*, 2019).

Para resolver, foi preciso serrar o funil da seringa com uma faca e acoplar um bico modelado no computador e impresso na impressora 3D; dessa forma, o afunilamento se tornou mais suave e o orifício aumentou de tamanho sensivelmente, para 4mm (detalhes no Anexo 3). Além disso, esse bico é móvel, sendo possível que seja retirado da seringa quando o extrusor precisar ser desmontado para manutenção e limpeza. Depois de adaptado, o valor de montagem do extrusor ficou em menos de R\$ 140,00 (figuras 39 e 40) (componentes discriminados no Anexo 2).

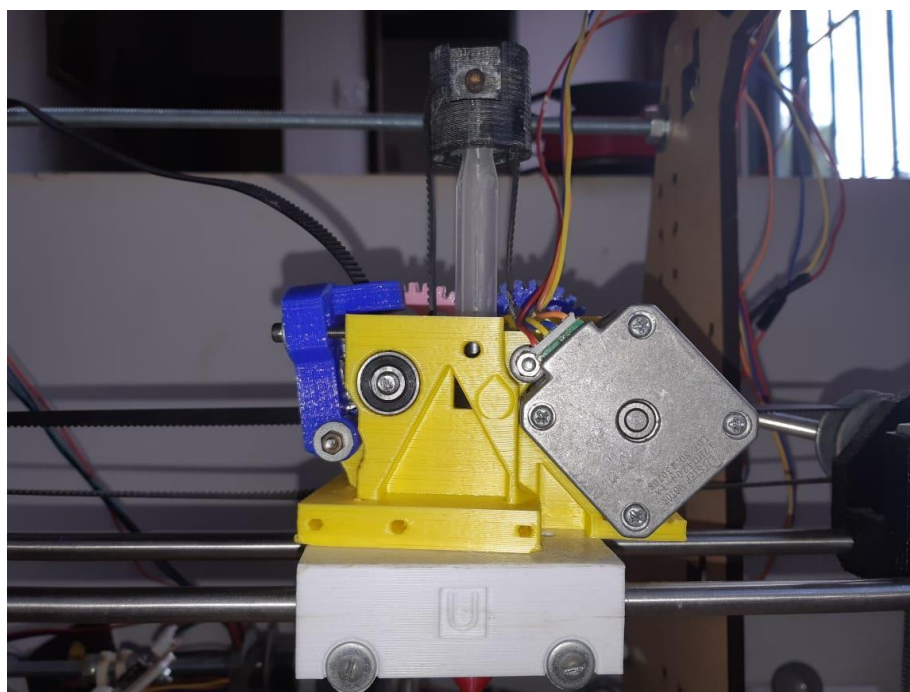


Figura 39 – Extrusor de materiais pastosos vista frontal

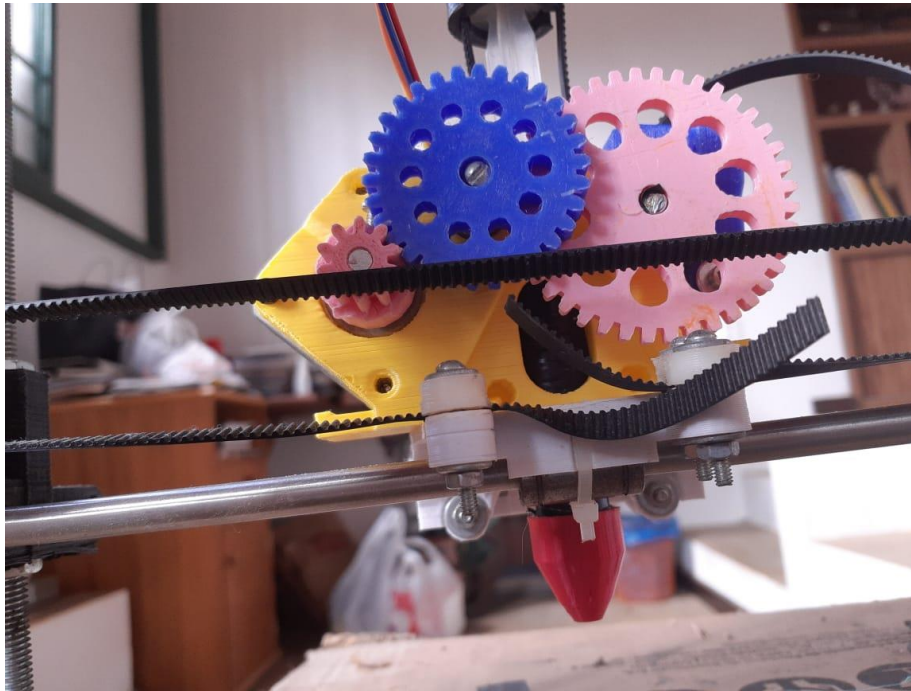


Figura 40 – Extrusor de materiais pastosos vista posterior

Outro grande problema que precisou ser resolvido foi o preenchimento da seringa com a pasta de argila. Tentou-se retirar o pistão da seringa e colocar manualmente a pasta dentro do tubo: o processo se mostrou uma tarefa bastante complexa, uma vez que a espessura do tubo seringa era bastante pequena e a pasta da argila bastante espessa. Além de resultar em muita sujeira.

No entanto, de pouco em pouco, foi possível preencher o tubo, porém, devido à imprecisão do processo, acabou entrando muitas bolhas de ar junto, o que afetou negativamente no funcionamento do extrusor. Foi tentado mexer e fazer vibrar a pasta dentro da seringa, mas como o espaço era pouco o resultado foi metade da argila sendo expelida para fora do tubo.

Todavia, porque foi tomada a decisão de serrar o funil da seringa e acoplar um bico móvel, verificou-se a possibilidade de carregar a seringa por baixo (figura 41). Com a seringa de cabeça para baixo, sem o bico e com o pistão todo embutido no tubo, pequenas porções de argila foram cuidadosamente colocadas em cima do tubo, seguido de um pequeno acionamento do pistão, apenas o suficiente para sugar a argila para o interior do tubo. O processo se repetiu mais algumas vezes até que, de pouco em pouco, o tubo foi sendo totalmente preenchido. É válido frisar que para o preenchimento a seringa deve estar desinstalada do extrusor. Depois de preenchida, ela pode ser recolocada no extrusor, o bico pode ser encaixado na parte de baixo e a correia pode ser instalada no

pistão, sendo essa a última parte da instalação do extrusor. Com o preenchimento sendo feito dessa forma, averiguou-se que não haviam bolhas de ar dentro da seringa, o que permitiu uma extrusão mais suave e contínua.



Figura 41 – Seringa de 10ml

7 PASTA DE ARGILA

Como o principal objetivo da pesquisa é dissecar o funcionamento de um extrusor de materiais pastosos e propor um modelo acessível e compatível com impressoras 3D de baixo custo, o material de impressão é um aspecto importante para ser abordado. Inicialmente verificou-se a possibilidade de usar algum material já disponível no mercado, que tivesse consistência de pasta, para facilitar o processo de impressão. Existem algumas empresas que desenvolveram argamassas poliméricas que já vem prontas para o uso, sendo destinadas a assentamento de blocos, por exemplo, e comercializadas a um preço razoavelmente acessível. É o caso da Biomassa, que custa R\$ 21,90 na Leroy Merlin, ou da argamassa Dundun, que custa R\$ 34,90 na mesma loja. Outros materiais possíveis candidatos foram massa corrida, por ser uma massa fina e homogênea, fácil de trabalhar, e a argila.

Como já dito anteriormente, como primeiro teste do funcionamento do extrusor, foi usado massa corrida. Verificou-se que de fato o sistema da seringa conectada às engrenagens servia ao propósito de extrudar a pasta, porém, a massa-corrida, a pesar de ter uma consistência bastante homogênea, não suportava o peso de muitas camadas superiores, o que dificultaria o processo da impressão (figura 42).



Figura 42 – Teste de extrusão da massa-corrida

Verificada a possibilidade do extrusor de extrudar material pastoso, tentou-se ainda usar a argamassa polimérica, produzida comercialmente e comumente utilizada em assentamento de blocos, no intuito de agilizar o processo e verificar a possibilidade de se encontrar materiais disponíveis no mercado que pudessem ser usados. O teste foi feito com a argamassa polimérica colante Biomassa, adquirida já no ponto de uso e própria para blocos (figura 43).



Figura 43 – Biomassa – argamassa polimérica

No entanto, o pistão da seringa não pôde empurrar a argamassa polimérica em questão, uma vez que sua consistência não era muito homogênea: apresentava agregados grandes demais para o sistema de extrusão, o que resultava na sua compactação quando o pistão era acionado. Mesmo depois de serrada a ponta da seringa e acoplado o bico impresso de 4mm, a Biomassa ainda não pôde ser expelida. Descobriu-se que essa argamassa

polimérica não aceitava o efeito de afunilamento, apenas retirando o bico, deixando o orifício de saída da espessura do tubo, foi possível expelir a Biomassa, mas isso resultou em uma fiada grossa demais e imprópria para a impressão, já que o orifício de saída ficaria com a mesma espessura do tubo da seringa, muitas vezes superior aos extrusores já fabricados para o mesmo fim (figura 44). Era necessário obter uma massa com um traço mais fino. Então, começaram os testes com a pasta de argila.



Figura 44 – Teste com a Biomassa

A pasta usada para a impressão 3D deve ter equilíbrio entre fluidez e densidade; não sendo muito consistente a ponto de não ser empurrada pelo pistão, e não podendo ser muito fluida a ponto de se esparramar ou não aguentar o próprio peso. Primeiro tentou-se atingir o ponto da massa usando a argila comum de artesanato, comprada na Casa das Artes, acrescentando-se mais água para torná-la fluida. Apesar de ter sido possível chegar em um ponto que permitiu ao pistão da seringa empurrá-la pelo orifício, a argila de artesanato adquirida veio com muitas impurezas, como fragmentos de rochas e palhas, o que impossibilitou completamente seu uso no caso da impressão 3D.

Para contornar esse problema decidiu-se usar pó de argila peneirada para misturar com água e atingir o ponto desejado. A fim de garantir que não haveria nenhuma impureza, o processo foi triturar blocos de argila em um pilão, e passar o resultado em uma peneira de malha 200, o que ficava na peneira voltava para o pilão e sofria novo tritramento, sendo enfim, peneirado novamente. Esse processo se repetiu até que não havia quase nenhum resto na peneira. Dessa forma, garantiu-se que o pó de argila seria livre de impurezas e adequado para o uso.

Foi misturado 155g de pó de argila peneirado em 40ml de água natural, para se atingir uma consistência que pudesse ser usada na impressão (figura 45). A mistura foi feita aos poucos, primeiro obtendo uma pasta que fosse mais líquida e em seguida acrescentando resto do pó de argila, para garantir uma melhor homogeneidade, uma vez que o processo foi feito manualmente, sem o apoio de misturadores mais apropriados. Essa massa foi colocada no interior da seringa, conforme processo já descrito anteriormente e apresentou funcionamento adequado ao sistema de extrusão.



Figura 45 – argila e água

É mister ponderar que, como não foi possível encontrar um material já pronto para o uso, os testes com a argila foram feitos apenas para obter uma pasta com consistência apropriada que tornasse possível estabelecer os parâmetros de extrusão no código da impressora. Sem o material, não seria possível estabelecer a velocidade de rotação do motor, por exemplo, ou o fluxo de saída, indispensáveis para o bom funcionamento do extrusor. Portanto, o processo aqui descrito de obtenção da pasta de argila é apenas uma sugestão de como produzir um composto pastoso, rápido e fácil de manipular, para que se possam continuar com testes de impressão, uma vez que os parâmetros básicos do *firmware* foram estabelecidos. O usuário pode, no entanto, usar outro tipo de material pastoso, como a própria massa corrida, por exemplo, ou obter a pasta de argila através de outros meios, como a argila de artesanato devidamente limpa e processada.

O primeiro teste de extrusão da pasta de argila foi feito manualmente. Verificou-se que a pasta aguenta até três camadas em linha reta antes de colapsar sob o próprio peso, diferentemente a massa corrida, que mostrou menos resiliência, e para o caso das formas fechadas, como um quadrilátero, são possíveis extrudar até cinco camadas (figuras 46 e 47).



Figura 46 – Teste manual



Figura 47 – primeiras formas

Misturando o pó de argila à água foi possível obter uma pasta muito mais fina do que a Biomassa usada anteriormente (figura 48), o que permitiu que o bico impresso pudesse ser utilizado para se obter uma fiada de espessura mais aceitável. Verificou-se, também, que a massa leva até duas horas para a secagem completa, mas com 40 minutos já é possível aplicar novas camadas. Além disso, os testes impressos não apresentaram trincas ou fissuras provenientes da secagem do material, a aparência granulada provém da própria mistura.



Figura 48 – Diferença entre a massa de argila (esquerda, mais fina) e a Biomassa (direita, mais grossa)

8 CONCLUSÃO

O processo de desenvolvimento de um sistema como o da extrusão de material pastoso para impressoras 3D é realmente uma tarefa complexa, especialmente para aqueles que não possuem conhecimentos avançados de engenharia, mecatrônica e programação, pois envolve a lida com maquinários inovadores e engenharia de engrenagens e sistemas. Porém, os novos projetos de código aberto tornaram possível que entusiastas pudessem apropriar-se dessa área de conhecimento (desenvolvimento de tecnologia) e criar suas próprias soluções tecnológicas.

Existem ao menos três grandes campos envolvidos no desenvolvimento da tecnologia de fabricação aditiva: o maquinário, propriamente dito, a programação da placa mãe e o material de impressão. Como foi conferido, quando alguém se propõe a desenvolver uma impressora 3D de algum material específico, essas três linhas de pesquisas influenciam-se diretamente entre si. Por isso que ao propor desenvolver uma máquina de impressão de materiais pastosos essa pesquisa teve que navegar entre essas três linhas diferentes.

A acessibilidade do produto desenvolvido sempre foi uma questão central, e por isso a produção da máquina foi limitada à cidade de Brasília. Quando as impressoras RepRap entraram no Brasil, nem todas as cidades ofereciam os componentes necessários para a construção doméstica das máquinas. Em Brasília, por exemplo, os interessados precisavam encomendar os kits completos de outras cidades, outras regiões e até de outros países, o que se convertia em aborrecimentos e custos quando era necessária a substituição de peças danificadas, pelo fato de que estas não eram vendidas separadamente ou o frete não justificava o investimento. Quando o comércio em Brasília passou a vender as pe-

ças especializadas, a aquisição de uma impressora 3D ficou muito mais fácil e os projetos de máquinas totalmente construídas localmente começaram a surgir, como foi o caso da Impressora Ub usada na presente pesquisa. Posto isso, uma vez escolhido o projeto do extrusor que serviria de base para o sistema de extrusão, foi necessário modificá-lo para o adaptar à realidade do mercado de Brasília, já que nem todos os componentes descritos pelo desenvolvedor do projeto original podiam ser encontrados na cidade. Por isso, as peças impressas que compõem o corpo do extrusor também precisaram sofrer modificações, o que foi possível graças ao fato de que os arquivos digitais disponíveis eram livres e podiam ser editados.

Para estar de acordo com o principal objetivo da pesquisa, que era manter o proposto sistema de extrusão acessível e por um baixo custo, o material de impressão também precisava ser versátil, acessível e fácil de manipular. A opção foi usar a argila, por ser um material de fácil aquisição e de baixo custo. Outra grande vantagem da argila é ser um material não tóxico, que serve como contraponto ao compararmos com as máquinas da RepRap que imprimem filamentos de plástico, já que esses últimos emitem resíduos tóxicos quando entram em fusão. A argila mostrou-se facilmente manipulável mesmo sem o aporte técnico de ferramentas, uma vez que a pasta usada para os primeiros testes foi auferida por meios manuais, em contexto doméstico, o que na verdade corroborou com toda a natureza *open source* da tecnologia, inserida na cultura do “faça você mesmo”, pois não são todos que têm acesso a ferramentas e maquinários para produzir um material construtivo.

Graças à facilidade de prototipagem e construção de objetos que a tecnologia de fabricação aditiva proporciona, foi possível construir um extrusor de materiais pastosos com menos de R\$ 140,00 (cento e quarenta Reais), compatível com impressoras 3D de mesa de baixo custo e cuja a produção foi toda feita localmente, desde as peças impressas e a aquisição dos componentes estruturais e ferragens até a produção do material de impressão. Levando em consideração que Brasília não é um polo comercial que dispõe de muita variedade de produto, principalmente considerando que a fabricação aditiva é um nicho ainda novo no país, a limitação de trazer a produção da impressora de materiais pastosos para essa cidade foi importante para reforçar o caráter da acessibilidade do produto desenvolvido. O produto cuja confecção é local oferece facilidade em se tratando de dar manutenção e na substituição de peças, pois ele não fica refém da importação. Contudo, se é possível confeccionar esse produto em uma cidade tão pouco abastecida

de material de produção, então é válido considerar que abrindo a possibilidade de aquisição de peças de outros lugares, como da cidade de São Paulo, ou de fora do país, podemos agregar ainda mais à tecnologia e até pensar em produção em larga escala, o que justificaria melhor a importação de peças.

Posto isso, a grande contribuição dessa pesquisa é justamente dissecar o processo de desenvolvimento de um extrusor de materiais pastosos, expor suas características de funcionamento. Através dessa pesquisa é possível conhecer o funcionamento de um extrusor desse tipo por dentro, construí-lo e colocá-lo para funcionar. Por isso, é aqui oferecido todo o passo a passo da construção do extrusor com a descrição de seus componentes, além de estar explicado como é feita a programação da placa controladora, e como instalá-lo em impressoras 3D de baixo custo. Tudo disponível como um projeto *open source*, para que, a partir de então, possam-se realizar novas pesquisas sobre assuntos já descritos, com a propriedade de quem conhece a tecnologia e poderá adaptá-la, e não como alguém que apenas aplica uma fórmula já previamente estabelecida. Esta pesquisa vem para agregar conhecimento e servir de referência para futuras adaptações e melhorias que se queria fazer e, possivelmente, encorajar o desenvolvimento de outras formas de impressão que sejam capazes de imprimir edificações.

9 PESQUISAS FUTURAS

Muito embora tenha sido desenvolvido um extrusor de baixo custo, essa pesquisa trata apenas de um início no que tange à exploração da impressão de materiais pastosos. Como dito anteriormente, ao menos três linhas de pesquisa foram abordadas para se chegar a um projeto de impressora 3D que seja acessível e de baixo custo. Uma vez desenvolvido o sistema de extrusão, que é a chave para o funcionamento da máquina, essas três linhas podem e merecem ser aprofundadas e expandidas.

A produção de um bom material de extrusão é extremamente importante para resultados mais refinados, pois o material está conectado tanto com o comportamento da estrutura da máquina, quanto com a programação, e os afeta diretamente. Por isso é aconselhável o desdobramento de novas pesquisas que abordem um desenvolvimento mais controlado de um material pastoso de impressão com aporte técnico maior que garanta um processo de obtenção do traço mais controlado.

Outra área que se faz necessária explorar é a própria comunicação entre a máquina e os *softwares* de impressão, o que envolve pesquisar os softwares existentes de preparação do arquivo digital e definir com mais apropriação os parâmetros de impressão, tais como as melhores velocidades de movimento dos eixos X, Y e Z para lograr boas qualidades na impressão, os melhores valores de espessura de camada, porcentagem de preenchimento, entre outros que dependem do *software* utilizado.

Todos esses aspectos que podem ser desenvolvidos em futuras pesquisas ainda podem ser avaliados segundo as intenções de se aplicar essa tecnologia à arquitetura durante a fase de projeto, para imprimir de forma eficiente as maquetes de ensaio. E assim, talvez seja possível traçar um paralelo entre as impressoras 3D de materiais pastosos do tipo *desktop* com as grandes impressoras usadas na construção civil, explorando a capacidade desses instrumentos domésticos de emular o funcionamento de suas contrapartes de grande porte e, dessa forma, auxiliar arquitetos e estudantes a resolver problemas construtivos do processo da impressão durante a fase de projeto.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Apis Cor. Technology Description. Disponível em: < <http://apis-cor.com/en/documentation/technical-documentation>>. Acessado em novembro de 2017

BREWSTER, Signe. *NASA wants to build huge spacecrafts in orbit with robots and 3d printers.* Publicado em 29 de Agosto de 2013. Disponível em: < <https://gigaom.com/2013/08/29/nasa-wants-to-build-huge-spacecraft-in-orbit-with-robots-and-3d-printers/>>. Acessado em novembro de 2017.

Emerging Objects. Quake Column. Disponível em: < <http://www.emergingobjects.com/project/quake-column/>>. Acessado em novembro de 2017.

Foster + Partners. Lunar Habitation. Disponível em: < <https://www.fosterandpartners.com/projects/lunar-habitation/>>. Acessado em novembro 2017.

GIL, Antoni Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4ª ed. São Paulo. Ed. Atlas, 2002.

HESBERG, Henner Von. **The Oxford Handbook of Greek and Roman Art and Architecture.** Capítulo 6: Greek and Roman Architects, p107-135. Editado por Clemente Marconi, University Oxford Press, 2015.

KHOSHNEVIS, Behrokh. *Contour Crafting Corporation*. Disponível em: <<http://contourcrafting.com/>>. Acessado em outubro de 2017.

KOLAREVIC, Branko. **Architecture in the Digital Age**. Editora Spon Press, Nova Iorque e Londres, 2003.

KOLAREVIC, Branko. **Digital Fabrication: Manufacturing Architecture in the Information Age**. *Modeling and Fabrication*, Seção 4, p268, University of Pennsylvania, EUA, 2001.

LOPEZ, Oscar. *Manifestations the immediate future of 3D printing buildings and materials*, 2011. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/179148/manifestations-the-immediate-future-of-3d-printing-buildings-and-materials-science>>. Acessado em: outubro de 2017.

MILLS, Criss B. *Designing With Models – A Studio Guide to Architectural Process Models*. Publicado por John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, Nova Jersey, 2011

MIT Lab Mediated Matter. *Designing for, with and by nature*. Disponível em: <<https://www.media.mit.edu/groups/mediated-matter/overview/>>. Acessado em outubro de 2017

PUSCH, Kira; HINTON, Thomas J.; FEINBERG, Adam W. **Large volume syringe pump extruder for desktop 3D printers**. Publicado por Elevsier Ltd, 2019.

QUIRK, Vanessa. *Foster +Partners to 3D Print Structures on the Moon*, 2012. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/326429/foster-partners-to-3d-print-structures-on-the-moon>>. Acessado em outubro de 2017.

QUIRK, Vanessa. *How 3d printing will chage our world*, 2012. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/253380/how-3d-printing-will-change-our-world>>. Acessado em outubro de 2017

ROSENFELD, Karissa. *Printing 3D Buildings: Five tenets of a new kind of architecture / Neri Oxman*. 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/320986/printing-3d-buildings-five-tenets-of-a-new-kind-of-architecture-neri-oxman>>. Acessado em outubro de 2017

ROSENFELD, Karissa. *Zaha Hadid's 3D Printed Flame Heels among 5 Designs to Re-Invent the Shoe*. 15 de Abril de 2013. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/620023/zaha-hadid-s-3d-printed-flame-heels-among-5-designs-to-re-invent-the-shoe>>. Acessado em novembro de 2017

STOTT, Rory. *Construction of Sagrada Família Accelerated by 3-D Printing Technology*, 25 de Março de 2015. Disponível em: < <https://www.archdaily.com/613197/construction-of-sagrada-familia-accelerated-by-3-d-printing-technology>>. Acessado em novembro de 2017.

STOTT, Rory. *Harvard Researchers Develop 4D-Printed Structures that react to water*, 03 de Fevereiro de 2016. Disponível em: < <https://www.archdaily.com/781524/harvard-researchers-develop-4d-printed-structures-that-react-to-water>>. Acessado em novembro de 2017.

TEDx Talks. *Contour Crafting: Automated Construction: Behrokh Khoshnevis at TEDxOjai*. Vídeo palestra publicado em 28 de abril de 2012 no Youtube. Acessado em abril 2017.

World Economic Forum. *Bio-Inspired Design | Neri Oxman*. Vídeo palestra publicado em 19 de fevereiro de 2016 no Youtube. Acessado em novembro 2016.

Anexo 1 – Impressora Ub adaptada para extrusor de material pastoso

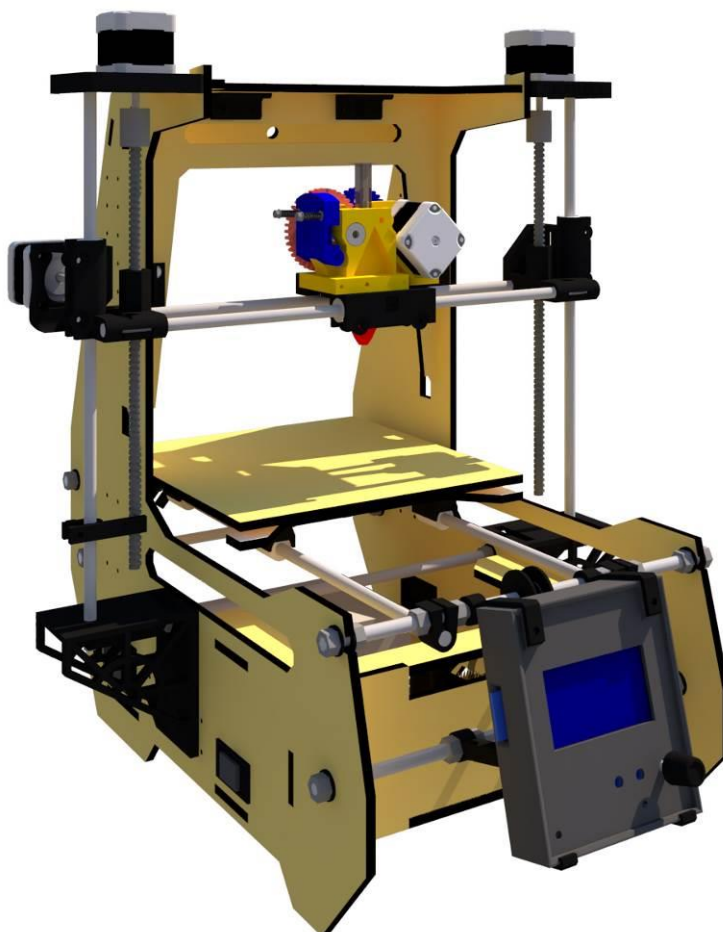


Figura 49 – Impressora Ub adaptada

A Impressora Ub foi desenvolvida por arquitetos ex-alunos da FAU e serviu como objeto motriz de uma pesquisa desenvolvida na Pós-Graduação da FAU pelo arquiteto Renan Balzani. O projeto está disponível no repertório da FAU e o passo a passo da construção da Impressora Ub pode ser encontrado na dissertação de mestrado “A PRODUÇÃO DE IMPRESSORAS TRIDIMENSIONAIS DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA”, por Renan Balzani. As alterações para o sistema de extrusão de argila foram feitas no Eixo Y e no Extrusor.

O Eixo Y da Impressora Ub original era composto pela mesa aquecida, componente bastante usado para impressões de filamento de plástico, mas foi substituída por uma placa de mdf melamínico de 20x20cm, uma vez que a impressão de argila não precisa ser feita sobre superfície aquecida (figura 53).

O Extrusor de filamento de plástico foi substituído pelo Extrusor de argila, desenvolvido pela presente pesquisa (figuras 50, 51 e 52).

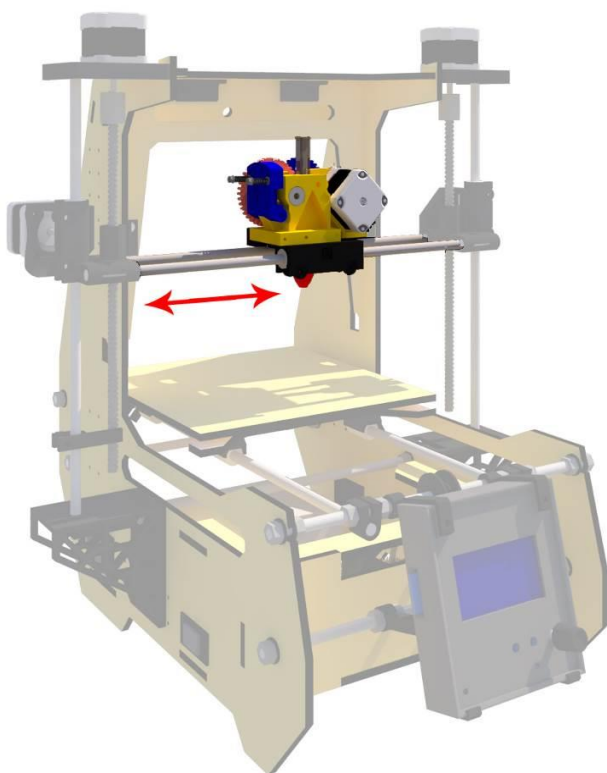


Figura 50 – Impressora Ub - Eixo X

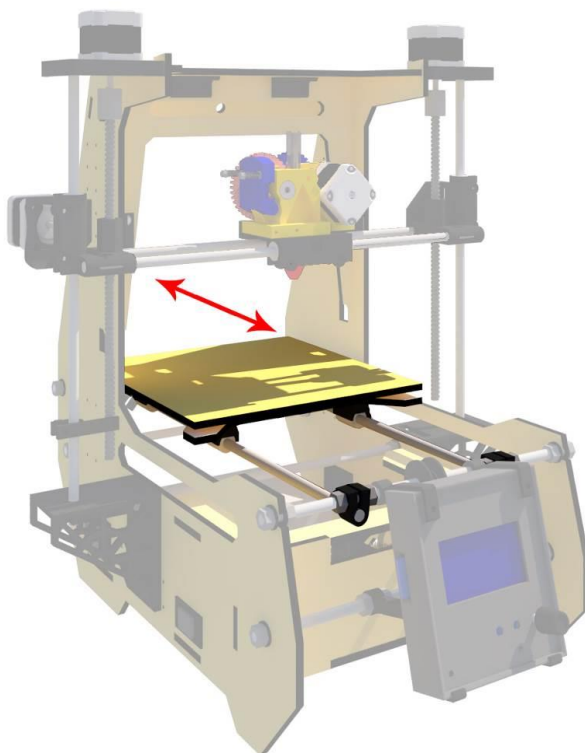


Figura 51 – Impressora Ub - Eixo Y

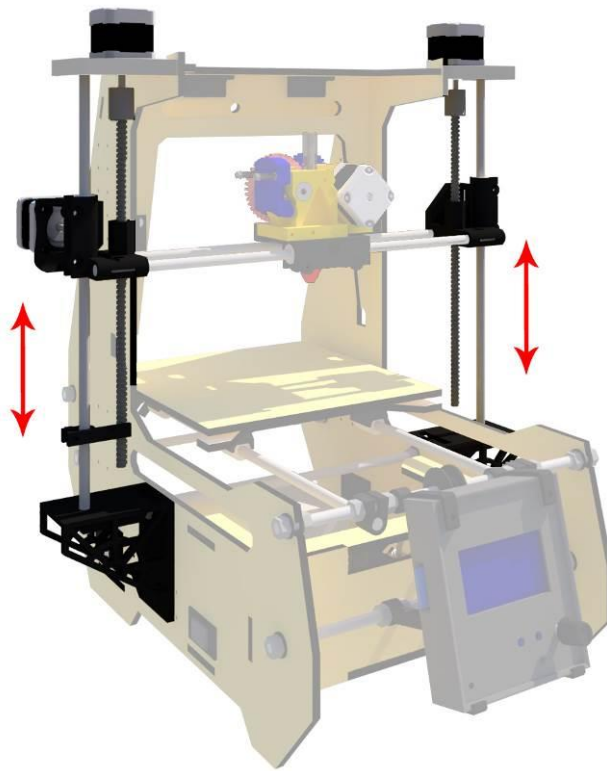


Figura 52 – Impressora Ub - Eixo Z

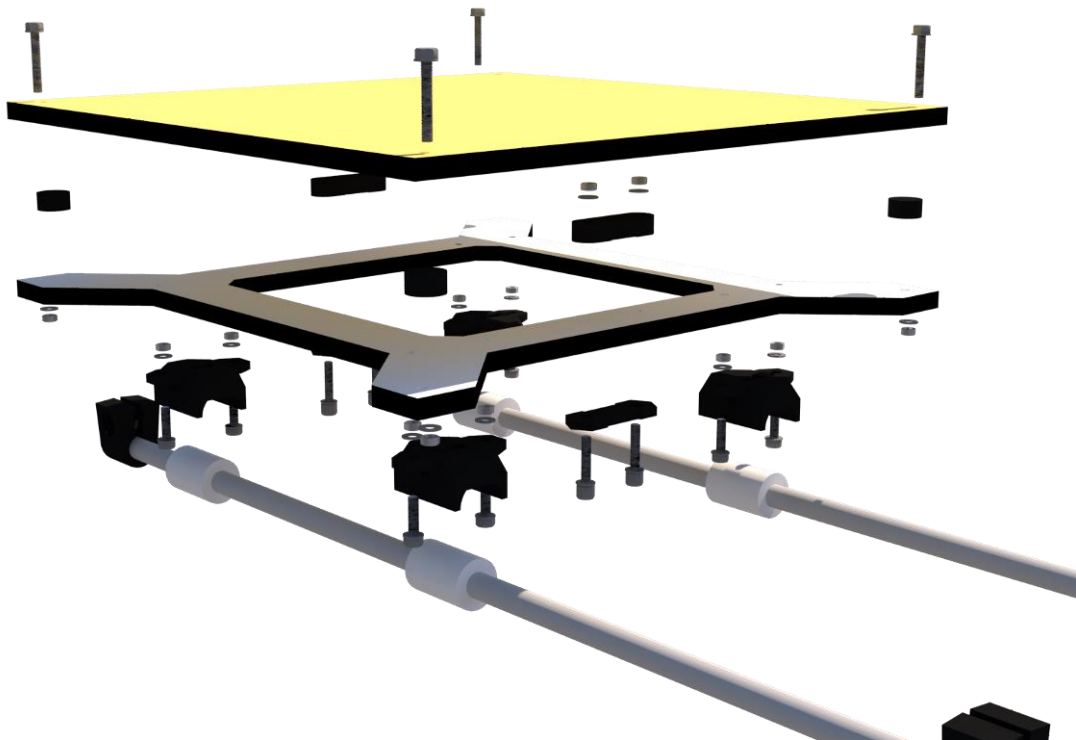


Figura 53 – Impressora Ub - Detalhe Eixo Y

Para a montagem do Eixo Y são necessários 8 parafusos de 15mm de comprimento, para prender o suporte de mdf aos carros impressos que ficam sobre os trilhos; 4 parafusos de 20mm, para prender o suporte da correia dentada; e mais 4 parafusos de 15mm para prender a chapa de mdf, que serve como superfície de impressão, ao suporte. Todos os parafusos usados foram de 3mm (ou 1/8”) de bitola. São necessárias 16 porcas e 32 arruelas para os parafusos (figuras 53 e 54).

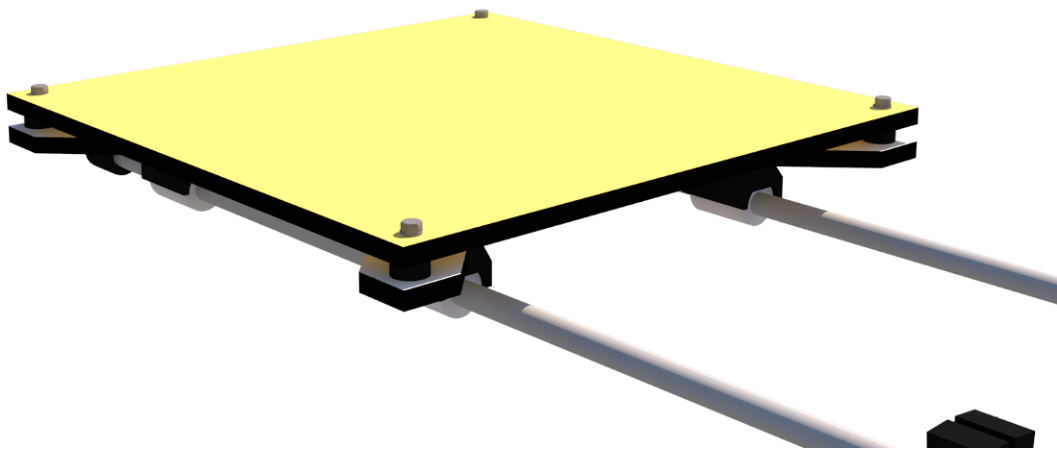


Figura 54 – Impressora Ub Detalhe Eixo Y

Anexo 2 – Tabela de componentes e preços

Componentes	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
<i>Parafuso Allen 1,2cm</i>	2	R\$ 2,00	R\$ 4,00
<i>Parafuso 4cm</i>	1	R\$,07	R\$ 0,07
<i>Parafuso 5cm</i>	1	R\$ 0,07	R\$ 0,07
<i>Parafuso 3,5cm</i>	2	R\$ 0,07	R\$ 1,40
<i>Parafuso 2cm</i>	1	R\$ 0,05	R\$ 0,05
<i>Barra lisa Ø8mm</i>	1	R\$ 4,00	R\$ 4,00
<i>Barra roscada Ø45mm</i>	1	R\$ 2,00	R\$ 2,00
<i>Porcas</i>	6	R\$ 0,05	R\$ 0,30
<i>Arruelas</i>	11	R\$ 0,05	R\$ 0,55
<i>Molas</i>	2	R\$ 3,90	R\$ 7,80
<i>Rolamento 608zz</i>	2	R\$ 3,40	R\$ 6,80
<i>Rolamento 625DDU</i>	2	R\$ 3,20	R\$ 6,40
<i>Micro-rolamento 688zz</i>	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
<i>Motor de Passo Nema 17 4kg</i>	1	R\$ 90,00	R\$ 90,00
<i>Seringa 10ml</i>	1	R\$ 0,50	R\$ 0,50
<i>Conjunto de partes impressas</i>	1	R\$ 10,50	R\$ 10,50
TOTAL			R\$ 139,44

Observação: todos os parafusos, arruelas e porcas utilizados são de Ø3mm ou Ø 1/8”.

Anexo 3 – montagem do Extrusor

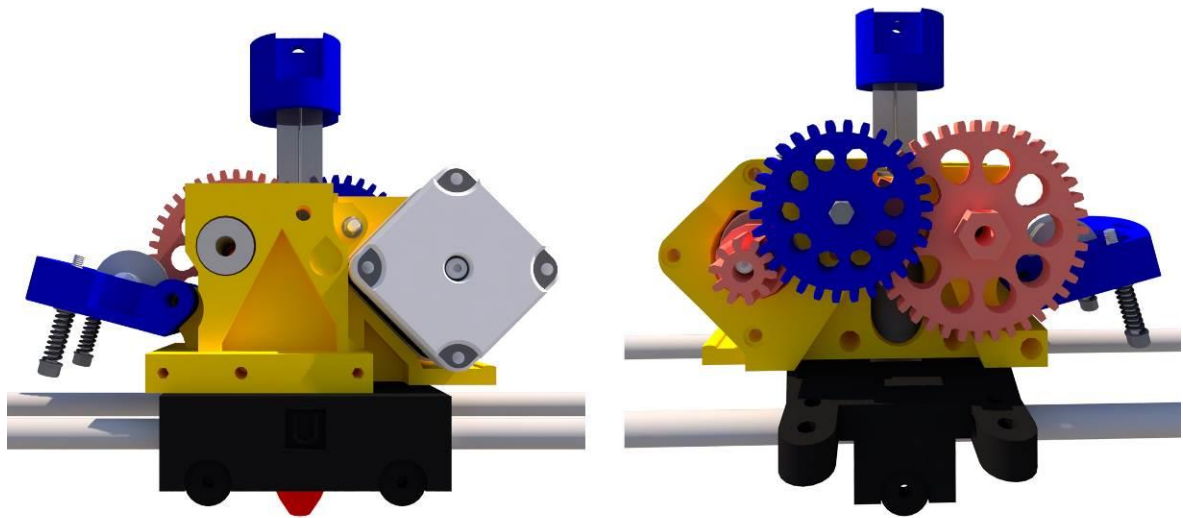


Figura 55 – Extrusor vistas frontal e posterior

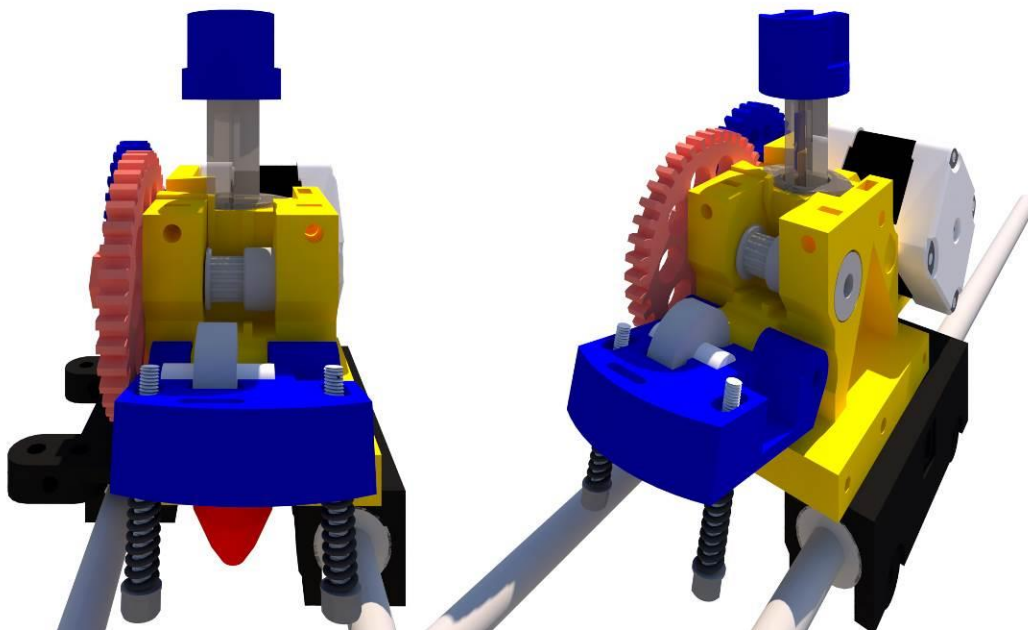


Figura 56 – Extrusor perspectivas

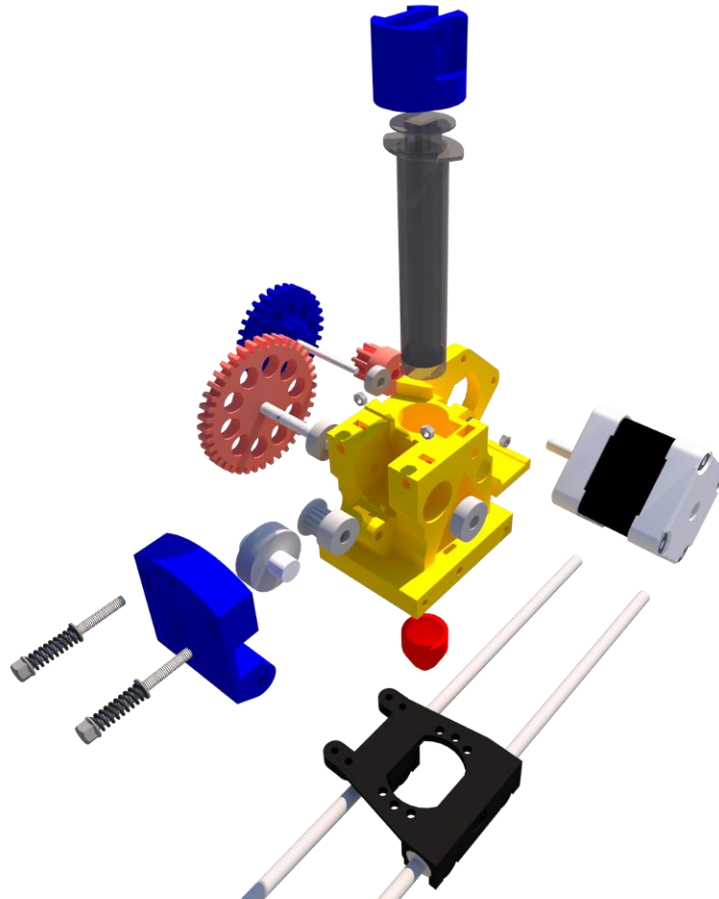


Figura 57 – Perspectiva Explodida

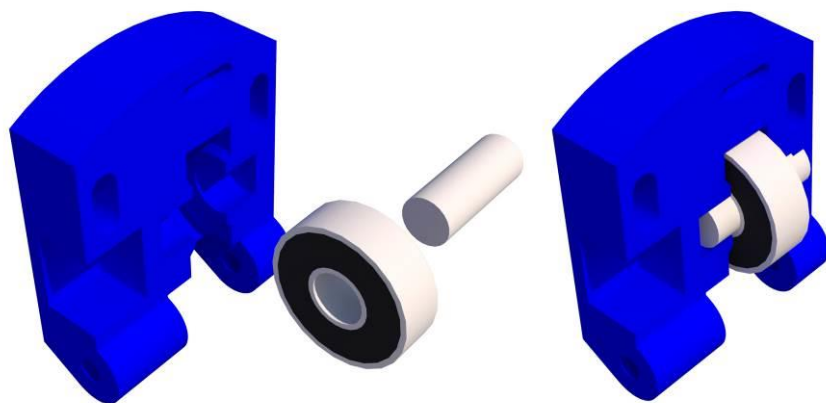


Figura 58 – Extrusor – Detalhe

Esta é a peça que pressiona a correia dentada para prender a correia. É necessário um rolamento 608zz e um pedaço de barra lise de 8mm por 1,8cm de comprimento.

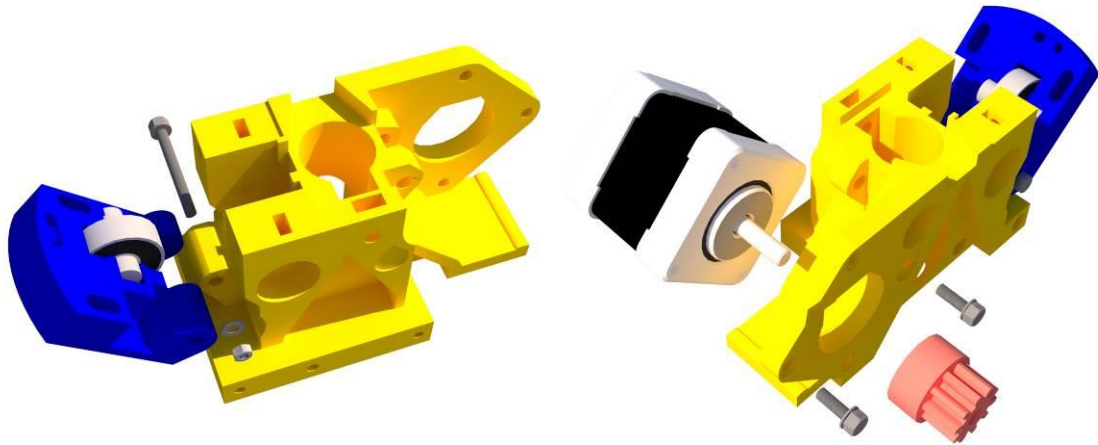


Figura 59 – Extrusor Detalhe – Motor

Para montar o pressionador ao corpo do extrusor, foram usados um parafuso de 4cm de comprimento e 3mm de bitola (ou 1/8 de polegada), uma porca e duas arruelas.

Para prender o motor, são necessários dois parafusos *allen* de 1,2cm de comprimento e 3mm de bitola (ou 1/8 de polegada), e duas arruelas. A engrenagem menor é encaixada no pivô do motor.

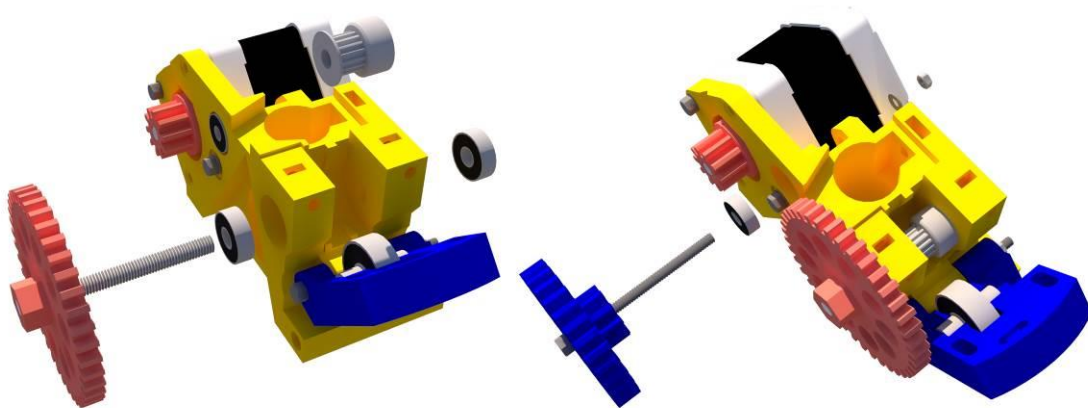


Figura 60 – Extrusor Detalhe – Engrenagens

A engrenagem maior deve ser encaixada em seguida, usando dois rolamentos 625DDU, uma barra roscada de 5,5cm de comprimento e 45mm de bitola, e uma polia dentada GT2. A barra roscada é encaixada na engrenagem maior e inserida no eixo dos rolamentos, instalados um em cada lado do extrusor, trespassando a polia dentada.

A engrenagem média pode ser instalada depois da engrenagem maior, já que ela vai conectar a engrenagem menor à maior. Para isso, foi usado um parafuso de 5cm de

comprimento trespassando um micro rolamento 688zz, preso com uma arruela e uma porca.

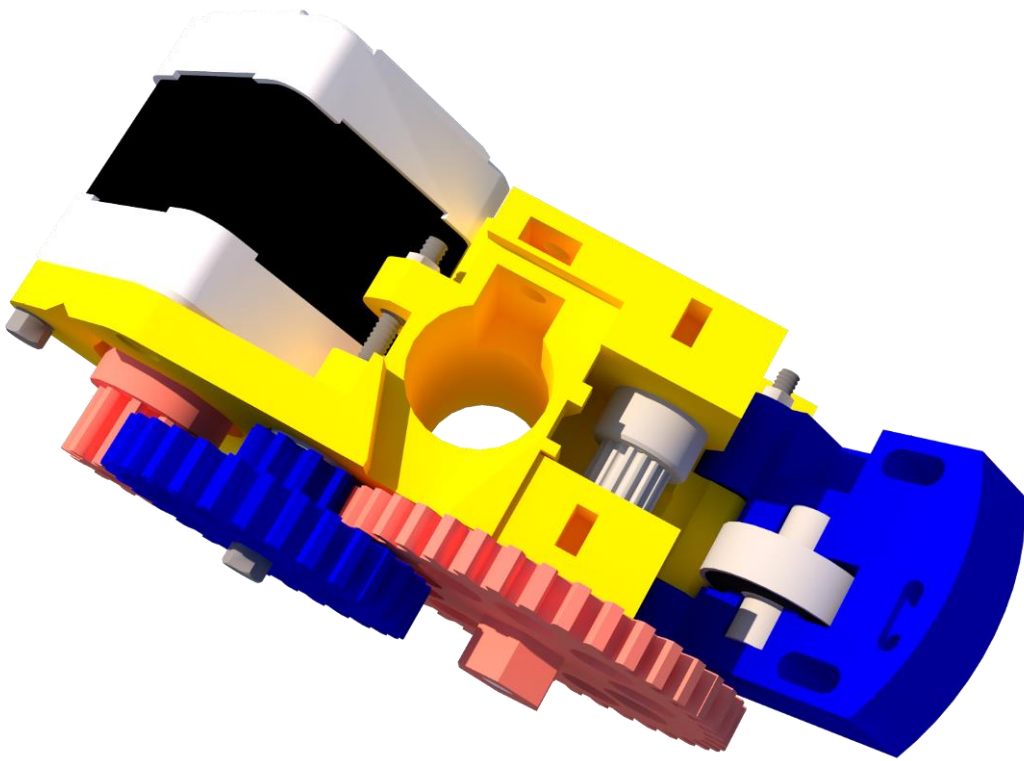


Figura 61 – Extrusor Detalhe - Engrenagens

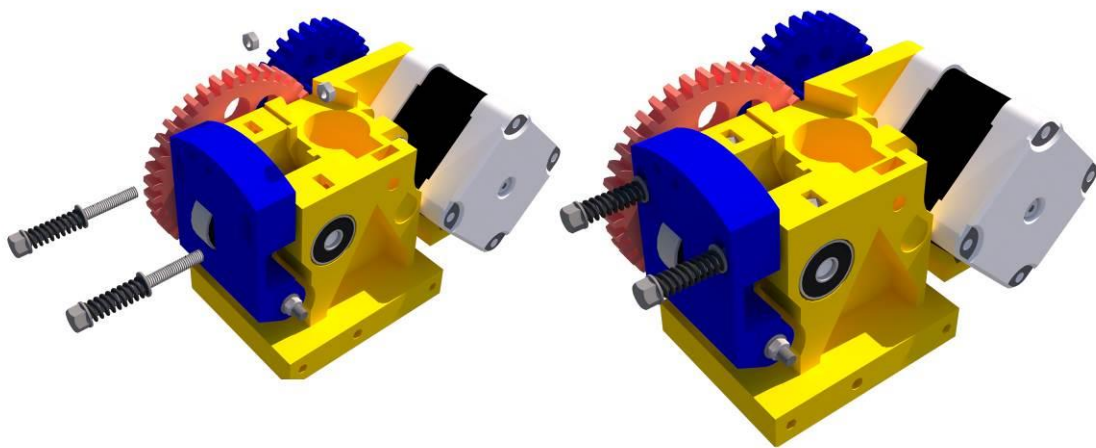


Figura 62 – Extrusor Detalhe - Parafusos e Molas

Para garantir a eficiência da peça pressionadora, são instalados dois parafusos de 3,5cm de comprimento com uma mola em cada um (molas de 20mm por 8mm – altura x largura), presos por porcas instaladas no corpo do extrusor. São ao todo, quatro arruelas e duas porcas utilizadas.

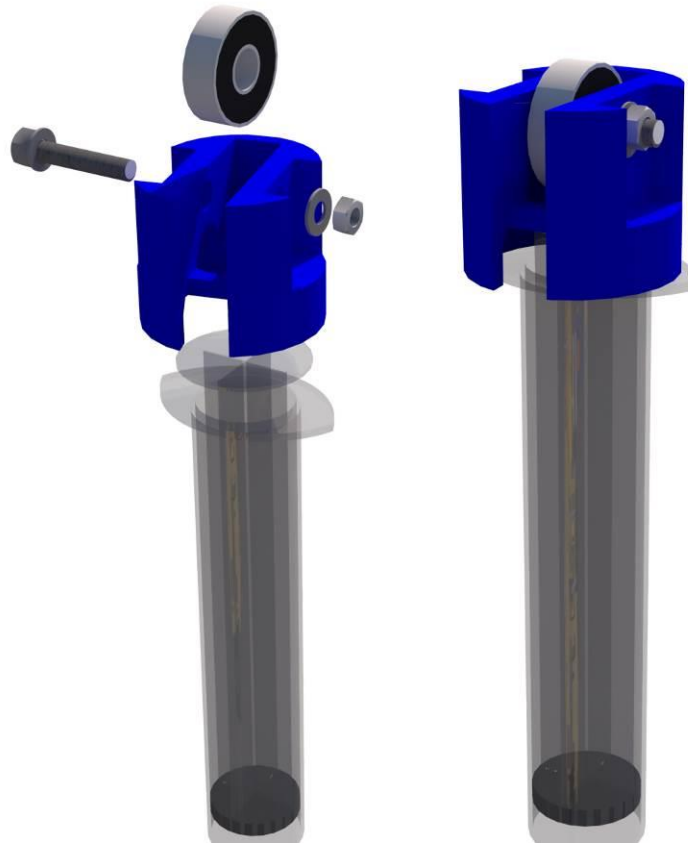


Figura 63 – Montagem da Seringa

A peça por onde a correia passa é colada ao pistão da seringa. Para montá-la são precisos um rolamento 608zz, um parafuso de 2cm de comprimento, duas arruelas e uma porca.

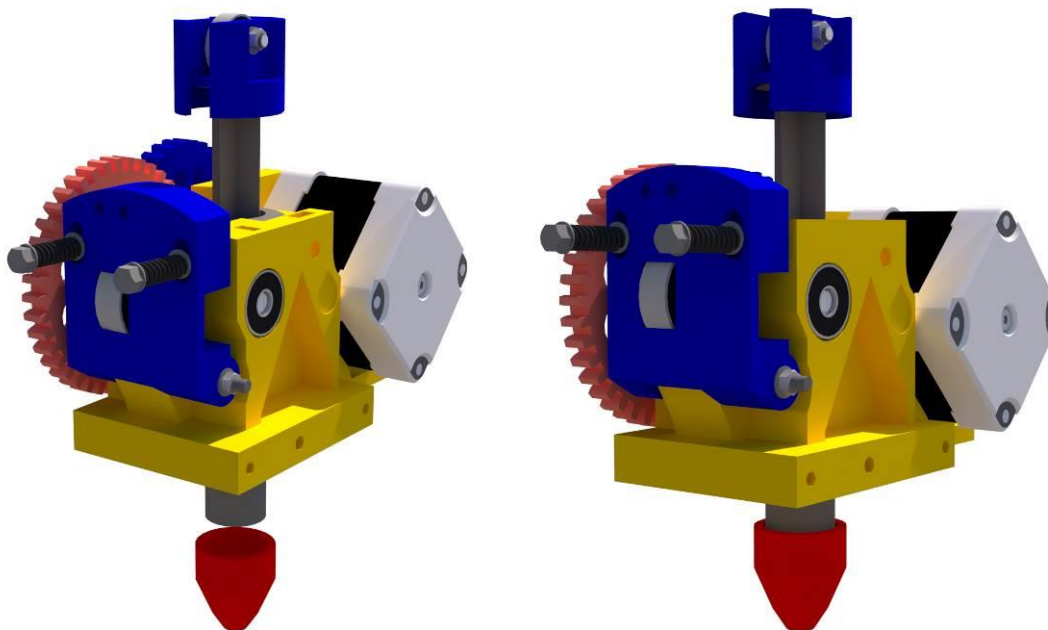


Figura 64 – Montagem do Bico Móvel

O bico móvel deve ser encaixado à seringa depois que todo o extrusor estiver montado.

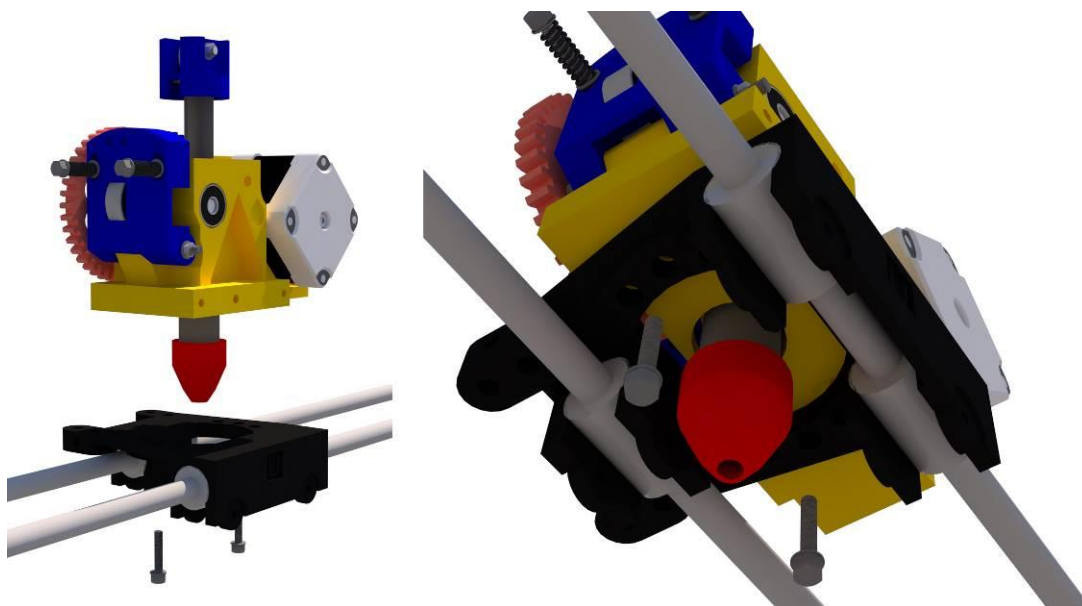


Figura 65 – Montagem no Eixo X

Para encaixar o extrusor no Eixo X, basta parafusá-lo ao carro, por baixo. São necessários dois parafusos de 1,2cm de comprimento e duas arruelas

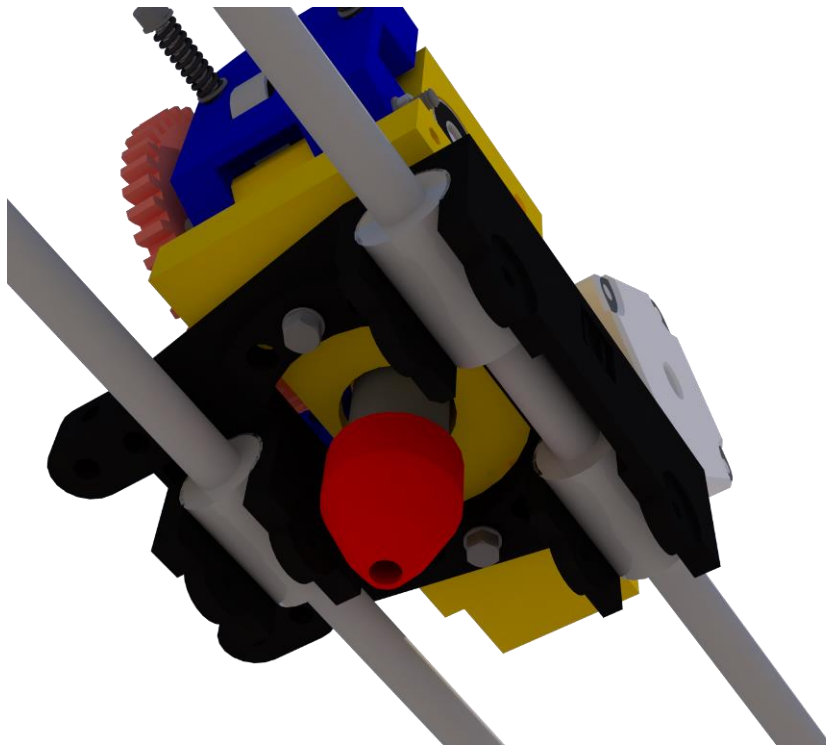


Figura 66 – Montagem no Eixo X

Anexo 4 – Ramps 1.4

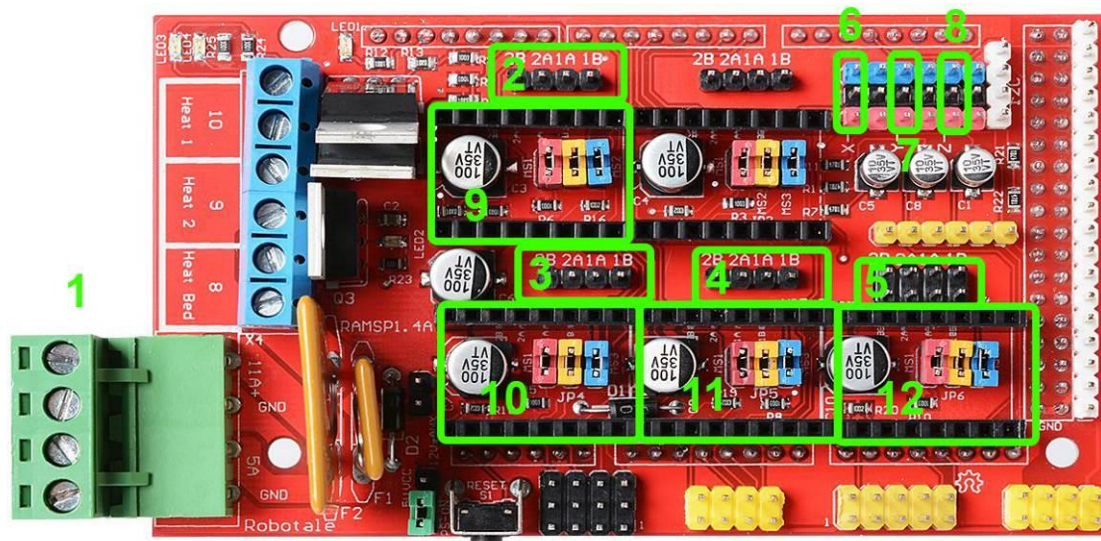


Figura 67 – Ramps 1.4 - Esquema de Montagem. Fonte própria

- 1 - Fonte de alimentação de energia
- 2 - Slot para motor de passo do Extrusor
- 3 - Slot para motor de passo do Eixo X
- 4 - Slot para motor de passo do Eixo Y
- 5 - Slots para motores de passo do Eixo Z
- 6 - Slot para *endstop* X
- 7 - Slot para *endstop* Y
- 8 - Slot para *endstop* Z
- 9 - Slot para *driver* A4988 do Extrusor
- 10 - Slot para *driver* A4988 do Eixo X
- 11 - Slot para *driver* A4988 do Eixo Y
- 12 - Slots para *drivers* A4988 do Eixo Z

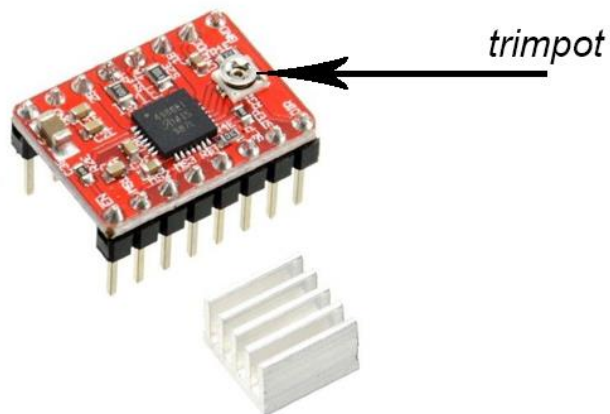


Figura 68 – Driver A4988. Fonte

São usados quatro *drivers* A4988 referentes aos motores de passo do Extrusor e dos Eixos X, Y e Z, sendo que o Eixo Z usa dois motores em série ligados ao mesmo *driver*. É importante que os *drivers* estejam instalados com o *trimpot* voltado para o lado oposto à alimentação de energia, conforme mostra figura abaixo.



Figura 69 – Ramps 1.4 com drivers. Fonte: sunrobotics

Anexo 5 –Transcrição das linhas de programação da controladora da impressora de materiais pastosos.

Atenção: a transcrição aqui anexada deve ser copiada e colada na aba nomeada *configurations.h*, no *firmware* Marlin disponível no link: github.com/MarlinFirmware/Marlin. É necessário copiar a transcrição abaixo e colar na aba *configurations.h*, substituindo todo a programação que já vem previamente escrita nessa aba. Ou, é possível obter o mesmo resultado apenas alternado as linhas descritas no sub-capítulo 6.2 – *HARDWARE E FIRMWARE*.

Início da programação a partir da linha de baixo:

```
/**
 * Marlin 3D Printer Firmware
 * Copyright (C) 2016 MarlinFirmware [https://github.com/MarlinFirmware/Marlin]
 *
 * Based on Sprinter and grbl.
 * Copyright (C) 2011 Camiel Gubbels / Erik van der Zalm
 *
 * This program is free software: you can redistribute it and/or modify
 * it under the terms of the GNU General Public License as published by
 * the Free Software Foundation, either version 3 of the License, or
 * (at your option) any later version.
 *
 * This program is distributed in the hope that it will be useful,
 * but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of
 * MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the
 * GNU General Public License for more details.
 *
 * You should have received a copy of the GNU General Public License
 * along with this program. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.
 */

/**
 * Configuration.h
 *
 * Basic settings such as:
 *
 * - Type of electronics
 * - Type of temperature sensor
 * - Printer geometry
 * - Endstop configuration
 * - LCD controller
```

```

* - Extra features
*
* Advanced settings can be found in Configuration_adv.h
*
*/
#ifndef CONFIGURATION_H
#define CONFIGURATION_H

/**
 *
 * *****
 * ** ATTENTION TO ALL DEVELOPERS **
 * *****
 *
 * You must increment this version number for every significant change such as,
 * but not limited to: ADD, DELETE RENAME OR REPURPOSE any directive/option.
 *
 * Note: Update also Version.h !
 */
#define CONFIGURATION_H_VERSION 010100

//=====
//=====
//===== Getting Started
//=====
//=====

/**
 * Here are some standard links for getting your machine calibrated:
 *
 * http://reprap.org/wiki/Calibration
 * http://youtu.be/wAL9d7FgInk
 * http://calculator.josefprusa.cz
 * http://reprap.org/wiki/Triffid\_Hunter%27s\_Calibration\_Guide
 * http://www.thingiverse.com/thing:5573
 * https://sites.google.com/site/repraplogphase/calibration-of-your-reprap
 * http://www.thingiverse.com/thing:298812
 */

//=====
//=====
//===== DELTA Printer
//=====
//=====
// For a Delta printer replace the configuration files with the files in the

```

```

// example_configurations/delta directory.
//

//=====
=====
//===== SCARA Printer
=====
//=====
=====
// For a Scara printer replace the configuration files with the files in the
// example_configurations/SCARA directory.
//

// @section info

// User-specified version info of this build to display in [Pronterface, etc] terminal win-
// dow during
// startup. Implementation of an idea by Prof Braino to inform user that any changes
// made to this
// build by the user have been successfully uploaded into firmware.
#define STRING_CONFIG_H_AUTHOR "(none, default config)" // Who made the chang-
// es.
#define SHOW_BOOTSCREEN
#define STRING_SPLASH_LINE1 SHORT_BUILD_VERSION // will be shown during
// bootup in line 1
#define STRING_SPLASH_LINE2 WEBSITE_URL // will be shown during bootup in
// line 2

//
// *** VENDORS PLEASE READ
// *****
//
// Marlin now allow you to have a vendor boot image to be displayed on machine
// start. When SHOW_CUSTOM_BOOTSCREEN is defined Marlin will first show your
// custom boot image and then the default Marlin boot image is shown.
//
// We suggest for you to take advantage of this new feature and keep the Marlin
// boot image unmodified. For an example have a look at the bq Hephestos 2
// example configuration folder.
//
// #define SHOW_CUSTOM_BOOTSCREEN
// @section machine

/**
 * Select which serial port on the board will be used for communication with the host.
 * This allows the connection of wireless adapters (for instance) to non-default port
 * pins.

```



```

* Serial port 0 is always used by the Arduino bootloader regardless of this setting.
*
* :[0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]
*/
#define SERIAL_PORT 0

/**
* This setting determines the communication speed of the printer.
*
* 250000 works in most cases, but you might try a lower speed if
* you commonly experience drop-outs during host printing.
*
* :[2400, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200, 250000]
*/
#define BAUDRATE 115200

// Enable the Bluetooth serial interface on AT90USB devices
// #define BLUETOOTH

// The following define selects which electronics board you have.
// Please choose the name from boards.h that matches your setup
#ifndef MOTHERBOARD
  #define MOTHERBOARD BOARD_RAMPS_14_EFB
#endif

// Optional custom name for your RepStrap or other custom machine
// Displayed in the LCD "Ready" message
// #define CUSTOM_MACHINE_NAME "3D Printer"

// Define this to set a unique identifier for this printer, (Used by some programs to
// differentiate between machines)
// You can use an online service to generate a random UUID. (eg
// http://www.uuidgenerator.net/version4)
// #define MACHINE_UUID "00000000-0000-0000-0000-000000000000"

// This defines the number of extruders
// :[1, 2, 3, 4]
#define EXTRUDERS 1

// Enable if your E steppers or extruder gear ratios are not identical
// #define DISTINCT_E_FACTORS

// For Cyclops or any "multi-extruder" that shares a single nozzle.
// #define SINGLENOZZLE

// A dual extruder that uses a single stepper motor
// Don't forget to set SSDE_SERVO_ANGLES and HOTEND_OFFSET_X/Y/Z

```

```

//#define SWITCHING_EXTRUDER
#if ENABLED(SWITCHING_EXTRUDER)
  #define SWITCHING_EXTRUDER_SERVO_NR 0
  #define SWITCHING_EXTRUDER_SERVO_ANGLES { 0, 90 } // Angles for E0, E1
  // #define HOTEND_OFFSET_Z {0.0, 0.0}
#endif

/**
 * "Mixing Extruder"
 * - Adds a new code, M165, to set the current mix factors.
 * - Extends the stepping routines to move multiple steppers in proportion to the mix.
 * - Optional support for Repetier Host M163, M164, and virtual extruder.
 * - This implementation supports only a single extruder.
 * - Enable DIRECT_MIXING_IN_G1 for Pia Taubert's reference implementation
 */
// #define MIXING_EXTRUDER
#if ENABLED(MIXING_EXTRUDER)
  #define MIXING_STEPPERS 2 // Number of steppers in your mixing extruder
  #define MIXING_VIRTUAL_TOOLS 16 // Use the Virtual Tool method with M163 and
M164
  // #define DIRECT_MIXING_IN_G1 // Allow ABCDHI mix factors in G1 movement
commands
#endif

// Offset of the extruders (uncomment if using more than one and relying on firmware
to position when changing).
// The offset has to be X=0, Y=0 for the extruder 0 hotend (default extruder).
// For the other hotends it is their distance from the extruder 0 hotend.
// #define HOTEND_OFFSET_X {0.0, 20.00} // (in mm) for each extruder, offset of the
hotend on the X axis
// #define HOTEND_OFFSET_Y {0.0, 5.00} // (in mm) for each extruder, offset of the
hotend on the Y axis

/**
 * Select your power supply here. Use 0 if you haven't connected the PS_ON_PIN
 *
 * 0 = No Power Switch
 * 1 = ATX
 * 2 = X-Box 360 203Watts (the blue wire connected to PS_ON and the red wire to VCC)
 *
 * :{ 0:'No power switch', 1:'ATX', 2:'X-Box 360' }
 */
#define POWER_SUPPLY 1

#if POWER_SUPPLY > 0
  // Enable this option to leave the PSU off at startup.
  // Power to steppers and heaters will need to be turned on with M80.

```

```

//#define PS_DEFAULT_OFF
#endif

// @section temperature

//=====
=====
//===== Thermal Settings
=====
//=====
=====

/**
 * --NORMAL IS 4.7kohm PULLUP!-- 1kohm pullup can be used on hotend sensor, using
correct resistor and table
 *
 * Temperature sensors available:
 *
 * -3 : thermocouple with MAX31855 (only for sensor 0)
 * -2 : thermocouple with MAX6675 (only for sensor 0)
 * -1 : thermocouple with AD595
 * 0 : not used
 * 1 : 100k thermistor - best choice for EPCOS 100k (4.7k pullup)
 * 2 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (4.7k pullup)
 * 3 : Mendel-parts thermistor (4.7k pullup)
 * 4 : 10k thermistor !! do not use it for a hotend. It gives bad resolution at high
temp. !!
 * 5 : 100K thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (4.7k pullup)
 * 6 : 100k EPCOS - Not as accurate as table 1 (created using a fluke thermocouple)
(4.7k pullup)
 * 7 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAG-J01 (4.7k pullup)
 * 71 : 100k Honeywell thermistor 135-104LAF-J01 (4.7k pullup)
 * 8 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup)
 * 9 : 100k GE Sensing AL03006-58.2K-97-G1 (4.7k pullup)
 * 10 : 100k RS thermistor 198-961 (4.7k pullup)
 * 11 : 100k beta 3950 1% thermistor (4.7k pullup)
 * 12 : 100k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (4.7k pullup) (calibrated for
Makibox hot bed)
 * 13 : 100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend "Simple ONE " & "Hotend "All In
ONE"
 * 20 : the PT100 circuit found in the Ultimainboard V2.x
 * 60 : 100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950
 * 66 : 4.7M High Temperature thermistor from Dyze Design
 * 70 : the 100K thermistor found in the bq Hephestos 2
 *
 * 1k ohm pullup tables - This is atypical, and requires changing out the 4.7k pullup
for 1k.

```

```

*           (but gives greater accuracy and more stable PID)
* 51 : 100k thermistor - EPCOS (1k pullup)
* 52 : 200k thermistor - ATC Semitec 204GT-2 (1k pullup)
* 55 : 100k thermistor - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head) (1k pullup)
*
* 1047 : Pt1000 with 4k7 pullup
* 1010 : Pt1000 with 1k pullup (non standard)
* 147 : Pt100 with 4k7 pullup
* 110 : Pt100 with 1k pullup (non standard)
*
* Use these for Testing or Development purposes. NEVER for production machine.
* 998 : Dummy Table that ALWAYS reads 25°C or the temperature defined below.
* 999 : Dummy Table that ALWAYS reads 100°C or the temperature defined below.
*
* :{ '0': "Not used", '1':"100k / 4.7k - EPCOS", '2':"200k / 4.7k - ATC Semitec 204GT-2",
'3':"Mendel-parts / 4.7k", '4':"10k !! do not use for a hotend. Bad resolution at high
temp. !!", '5':"100K / 4.7k - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-Head)", '6':"100k
/ 4.7k EPCOS - Not as accurate as Table 1", '7':"100k / 4.7k Honeywell 135-104LAG-
J01", '8':"100k / 4.7k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT", '9':"100k / 4.7k GE Sens-
ing AL03006-58.2K-97-G1", '10':"100k / 4.7k RS 198-961", '11':"100k / 4.7k beta 3950
1%", '12':"100k / 4.7k 0603 SMD Vishay NTCS0603E3104FXT (calibrated for Makibox
hot bed)", '13':"100k Hisens 3950 1% up to 300°C for hotend 'Simple ONE ' & hotend
'All In ONE'", '20':"PT100 (Ultimainboard V2.x)", '51':"100k / 1k - EPCOS", '52':"200k /
1k - ATC Semitec 204GT-2", '55':"100k / 1k - ATC Semitec 104GT-2 (Used in ParCan & J-
Head)", '60':"100k Maker's Tool Works Kapton Bed Thermistor beta=3950", '66':"Dyze
Design 4.7M High Temperature thermistor", '70':"the 100K thermistor found in the bq
Hephestos 2", '71':"100k / 4.7k Honeywell 135-104LAF-J01", '147':"Pt100 / 4.7k",
'1047':"Pt1000 / 4.7k", '110':"Pt100 / 1k (non-standard)", '1010':"Pt1000 / 1k (non
standard)", '-3':"Thermocouple + MAX31855 (only for sensor 0)", '-2':"Thermocouple +
MAX6675 (only for sensor 0)", '-1':"Thermocouple + AD595", '998':"Dummy 1",
'999':"Dummy 2" }
*/
#define TEMP_SENSOR_0 998
#define TEMP_SENSOR_1 0
#define TEMP_SENSOR_2 0
#define TEMP_SENSOR_3 0
#define TEMP_SENSOR_BED 0

// Dummy thermistor constant temperature readings, for use with 998 and 999
#define DUMMY_THERMISTOR_998_VALUE 25
#define DUMMY_THERMISTOR_999_VALUE 100

// Use temp sensor 1 as a redundant sensor with sensor 0. If the readings
// from the two sensors differ too much the print will be aborted.
// #define TEMP_SENSOR_1_AS_REDUNDANT
#define MAX_REDUNDANT_TEMP_SENSOR_DIFF 10

```

```

// Extruder temperature must be close to target for this long before M109 returns suc-
cess
#define TEMP_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered
"close" to the target one
#define TEMP_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the residency
timer x degC early.

// Bed temperature must be close to target for this long before M190 returns success
#define TEMP_BED_RESIDENCY_TIME 10 // (seconds)
#define TEMP_BED_HYSTERESIS 3 // (degC) range of +/- temperatures considered
"close" to the target one
#define TEMP_BED_WINDOW 1 // (degC) Window around target to start the res-
idency timer x degC early.

// The minimal temperature defines the temperature below which the heater will not
be enabled It is used
// to check that the wiring to the thermistor is not broken.
// Otherwise this would lead to the heater being powered on all the time.
#define HEATER_0_MINTEMP 5
#define HEATER_1_MINTEMP 5
#define HEATER_2_MINTEMP 5
#define HEATER_3_MINTEMP 5
#define BED_MINTEMP 5

// When temperature exceeds max temp, your heater will be switched off.
// This feature exists to protect your hotend from overheating accidentally, but *NOT*
from thermistor short/failure!
// You should use MINTEMP for thermistor short/failure protection.
#define HEATER_0_MAXTEMP 250
#define HEATER_1_MAXTEMP 275
#define HEATER_2_MAXTEMP 275
#define HEATER_3_MAXTEMP 275
#define BED_MAXTEMP 150

//=====
=====
//===== PID Settings
=====
//=====
=====
// PID Tuning Guide here: http://reprap.org/wiki/PID\_Tuning

// Comment the following line to disable PID and enable bang-bang.
#define PIDTEMP

```

```

#define BANG_MAX 255 // limits current to nozzle while in bang-bang mode; 255=full
current
#define PID_MAX BANG_MAX // limits current to nozzle while PID is active (see
PID_FUNCTIONAL_RANGE below); 255=full current
#if ENABLED(PIDTEMP)
  // #define PID_AUTOTUNE_MENU // Add PID Autotune to the LCD "Temperature"
  menu to run M303 and apply the result.
  // #define PID_DEBUG // Sends debug data to the serial port.
  // #define PID_OPENLOOP 1 // Puts PID in open loop. M104/M140 sets the output
  power from 0 to PID_MAX
  // #define SLOW_PWM_HEATERS // PWM with very low frequency (roughly
  0.125Hz=8s) and minimum state time of approximately 1s useful for heaters driven by
  a relay
  // #define PID_PARAMS_PER_HOTEND // Uses separate PID parameters for each ex-
  truder (useful for mismatched extruders)
      // Set/get with gcode: M301 E[extruder number, 0-2]
  #define PID_FUNCTIONAL_RANGE 10 // If the temperature difference between the
  target temperature and the actual temperature
      // is more than PID_FUNCTIONAL_RANGE then the PID will be shut
  off and the heater will be set to min/max.
  #define K1 0.95 //smoothing factor within the PID

  // If you are using a pre-configured hotend then you can use one of the value sets by
  uncommenting it
  // Ultimaker
  #define DEFAULT_Kp 22.2
  #define DEFAULT_Ki 1.08
  #define DEFAULT_Kd 114

  // MakerGear
  // #define DEFAULT_Kp 7.0
  // #define DEFAULT_Ki 0.1
  // #define DEFAULT_Kd 12

  // Mendel Parts V9 on 12V
  // #define DEFAULT_Kp 63.0
  // #define DEFAULT_Ki 2.25
  // #define DEFAULT_Kd 440

#endif // PIDTEMP

//=====
//=====
//===== PID > Bed Temperature Control
//=====
//=====

```



```

// Select PID or bang-bang with PIDTEMPBED. If bang-bang, BED_LIMIT_SWITCHING
will enable hysteresis
//
// Uncomment this to enable PID on the bed. It uses the same frequency PWM as the
extruder.
// If your PID_dT is the default, and correct for your hardware/configuration, that
means 7.689Hz,
// which is fine for driving a square wave into a resistive load and does not significantly
impact you FET heating.
// This also works fine on a Fotek SSR-10DA Solid State Relay into a 250W heater.
// If your configuration is significantly different than this and you don't understand the
issues involved, you probably
// shouldn't use bed PID until someone else verifies your hardware works.
// If this is enabled, find your own PID constants below.
//#define PIDTEMPBED

//#define BED_LIMIT_SWITCHING

// This sets the max power delivered to the bed, and replaces the HEAT-
ER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER option.
// all forms of bed control obey this (PID, bang-bang, bang-bang with hysteresis)
// setting this to anything other than 255 enables a form of PWM to the bed just like
HEATER_BED_DUTY_CYCLE_DIVIDER did,
// so you shouldn't use it unless you are OK with PWM on your bed. (see the comment
on enabling PIDTEMPBED)
#define MAX_BED_POWER 255 // limits duty cycle to bed; 255=full current

#if ENABLED(PIDTEMPBED)

  // #define PID_BED_DEBUG // Sends debug data to the serial port.

  //120V 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
  //from FOPDT model - kp=.39 Tp=405 Tdead=66, Tc set to 79.2, aggressive factor of
.15 (vs .1, 1, 10)
  #define DEFAULT_bedKp 10.00
  #define DEFAULT_bedKi .023
  #define DEFAULT_bedKd 305.4

  //120V 250W silicone heater into 4mm borosilicate (MendelMax 1.5+)
  //from pidautotune
  // #define DEFAULT_bedKp 97.1
  // #define DEFAULT_bedKi 1.41
  // #define DEFAULT_bedKd 1675.16

  // FIND YOUR OWN: "M303 E-1 C8 S90" to run autotune on the bed at 90 degreesC
  for 8 cycles.
#endif // PIDTEMPBED

```

```

// @section extruder

// This option prevents extrusion if the temperature is below EXTRUDE_MINTEMP.
// It also enables the M302 command to set the minimum extrusion temperature
// or to allow moving the extruder regardless of the hotend temperature.
// *** IT IS HIGHLY RECOMMENDED TO LEAVE THIS OPTION ENABLED! ***
#define PREVENT_COLD_EXTRUSION
#define EXTRUDE_MINTEMP 20 // EDITED PASTER

// This option prevents a single extrusion longer than EXTRUDE_MAXLENGTH.
// Note that for Bowden Extruders a too-small value here may prevent loading.
#define PREVENT_LENGTHY_EXTRUDE
#define EXTRUDE_MAXLENGTH 200

//=====
//===== Thermal Runaway Protection
//=====
//=====

/**
 * Thermal Protection protects your printer from damage and fire if a
 * thermistor falls out or temperature sensors fail in any way.
 *
 * The issue: If a thermistor falls out or a temperature sensor fails,
 * Marlin can no longer sense the actual temperature. Since a disconnected
 * thermistor reads as a low temperature, the firmware will keep the heater on.
 *
 * If you get "Thermal Runaway" or "Heating failed" errors the
 * details can be tuned in Configuration_adv.h
 */

#define THERMAL_PROTECTION_HOTENDS // Enable thermal protection for all ex-
truders
#define THERMAL_PROTECTION_BED // Enable thermal protection for the heated
bed

//=====
//===== Mechanical Settings
//=====
//=====

// @section machine

```

```

// Uncomment one of these options to enable CoreXY, CoreXZ, or CoreYZ kinematics
// either in the usual order or reversed
//#define COREXY
//#define COREXZ
//#define COREYZ
//#define COREYX
//#define COREZX
//#define COREZY

// Enable this option for Toshiba steppers
//#define CONFIG_STEPPERS_TOSHIBA

//=====
=====
//===== Endstop Settings
=====
//=====
=====

// @section homing

// Specify here all the endstop connectors that are connected to any endstop or probe.
// Almost all printers will be using one per axis. Probes will use one or more of the
// extra connectors. Leave undefined any used for non-endstop and non-probe pur-
// poses.
#define USE_XMIN_PLUG
#define USE_YMIN_PLUG
#define USE_ZMIN_PLUG
//#define USE_XMAX_PLUG
//#define USE_YMAX_PLUG
//#define USE_ZMAX_PLUG

// coarse Endstop Settings
#define ENDSTOPPULLUPS // Comment this out (using // at the start of the line) to
disable the endstop pullup resistors

#if DISABLED(ENDSTOPPULLUPS)
// fine endstop settings: Individual pullups. will be ignored if ENDSTOPPULLUPS is
defined
//#define ENDSTOPPULLUP_XMAX
//#define ENDSTOPPULLUP_YMAX
//#define ENDSTOPPULLUP_ZMAX
//#define ENDSTOPPULLUP_XMIN
//#define ENDSTOPPULLUP_YMIN
//#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN
//#define ENDSTOPPULLUP_ZMIN_PROBE

```

```

#endif

// Mechanical endstop with COM to ground and NC to Signal uses "false" here (most
common setup).
#define X_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the end-
stop.
#define Y_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the end-
stop.
#define Z_MIN_ENDSTOP_INVERTING true // set to true to invert the logic of the end-
stop.
#define X_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the
endstop.
#define Y_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the
endstop.
#define Z_MAX_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of the end-
stop.
#define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP_INVERTING false // set to true to invert the logic of
the endstop.

// Enable this feature if all enabled endstop pins are interrupt-capable.
// This will remove the need to poll the interrupt pins, saving many CPU cycles.
// #define ENDSTOP_INTERRUPTS_FEATURE

//=====
//=====
//===== Movement Settings
//=====
//=====
// @section motion

/**
 * Default Settings
 *
 * These settings can be reset by M502
 *
 * You can set distinct factors for each E stepper, if needed.
 * If fewer factors are given, the last will apply to the rest.
 *
 * Note that if EEPROM is enabled, saved values will override these.
 */

/**
 * Default Axis Steps Per Unit (steps/mm)
 * Override with M92
 *
 * X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */

```

```

#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 2560, 308 }

/**
 * Default Max Feed Rate (mm/s)
 * Override with M203
 *           X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE      { 500, 200, 3, 35 }

/**
 * Default Max Acceleration (change/s) change = mm/s
 * (Maximum start speed for accelerated moves)
 * Override with M201
 *           X, Y, Z, E0 [, E1[, E2[, E3]]]
 */
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION  { 3000, 1500, 9, 4000 }

/**
 * Default Acceleration (change/s) change = mm/s
 * Override with M204
 *
 * M204 P  Acceleration
 * M204 R  Retract Acceleration
 * M204 T  Travel Acceleration
 */
#define DEFAULT_ACCELERATION      3000 // X, Y, Z and E acceleration for printing
moves
#define DEFAULT_RETRACT_ACCELERATION 600 // E acceleration for retracts
#define DEFAULT_TRAVEL_ACCELERATION 3000 // X, Y, Z acceleration for travel
(non printing) moves

/**
 * Default Jerk (mm/s)
 *
 * "Jerk" specifies the minimum speed change that requires acceleration.
 * When changing speed and direction, if the difference is less than the
 * value set here, it may happen instantaneously.
 */
#define DEFAULT_XJERK            20.0
#define DEFAULT_YJERK            20.0
#define DEFAULT_ZJERK            0.4
#define DEFAULT_EJERK            5.0

//=====
=====

```

```

//===== Z Probe Options
=====
//=====
=====
// @section probes

//
// Probe Type
// Probes are sensors/switches that are activated / deactivated before/after use.
//
// Allen Key Probes, Servo Probes, Z-Sled Probes, FIX_MOUNTED_PROBE, etc.
// You must activate one of these to use Auto Bed Leveling below.
//
// Use M851 to set the Z probe vertical offset from the nozzle. Store with M500.
//

// A Fix-Mounted Probe either doesn't deploy or needs manual deployment.
// For example an inductive probe, or a setup that uses the nozzle to probe.
// An inductive probe must be deactivated to go below
// its trigger-point if hardware endstops are active.
//#define FIX_MOUNTED_PROBE

// The BLTouch probe emulates a servo probe.
// The default connector is SERVO 0. Set Z_ENDSTOP_SERVO_NR below to override.
//#define BLTOUCH

// Z Servo Probe, such as an endstop switch on a rotating arm.
#define Z_ENDSTOP_SERVO_NR 0
#define Z_SERVO_ANGLES {80,0} // Z Servo Deploy and Stow angles

// Enable if you have a Z probe mounted on a sled like those designed by Charles Bell.
//#define Z_PROBE_SLED
//#define SLED_DOCKING_OFFSET 5 // The extra distance the X axis must travel to
pickup the sled. 0 should be fine but you can push it further if you'd like.

// Z Probe to nozzle (X,Y) offset, relative to (0, 0).
// X and Y offsets must be integers.
//
// In the following example the X and Y offsets are both positive:
// #define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 10
// #define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 10
//
// +-+ BACK +-+
// |      |
// L | (+) P | R <-- probe (20,20)
// E |      | I
// F | (-) N (+) | G <-- nozzle (10,10)

```



```

// T |      | H
// | (-) | T
// |      |
// O-- FRONT --+
// (0,0)
#define X_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 10 // X offset: -left +right [of the nozzle]
#define Y_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 10 // Y offset: -front +behind [the nozzle]
#define Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER 0 // Z offset: -below +above [the nozzle]

// X and Y axis travel speed (mm/m) between probes
#define XY_PROBE_SPEED 8000
// Speed for the first approach when double-probing (with PROBE_DOUBLE_TOUCH)
#define Z_PROBE_SPEED_FAST HOMING_FEEDRATE_Z
// Speed for the "accurate" probe of each point
#define Z_PROBE_SPEED_SLOW (Z_PROBE_SPEED_FAST / 2)
// Use double touch for probing
// #define PROBE_DOUBLE_TOUCH

//
// Allen Key Probe is defined in the Delta example configurations.
//

// *** PLEASE READ ALL INSTRUCTIONS BELOW FOR SAFETY! ***
//
// To continue using the Z-min-endstop for homing, be sure to disable
Z_SAFE_HOMING.
// Example: To park the head outside the bed area when homing with G28.
//
// To use a separate Z probe, your board must define a Z_MIN_PROBE_PIN.
//
// For a servo-based Z probe, you must set up servo support below, including
// NUM_SERVOS, Z_ENDSTOP_SERVO_NR and Z_SERVO_ANGLES.
//
// - RAMPS 1.3/1.4 boards may be able to use the 5V, GND, and Aux4->D32 pin.
// - Use 5V for powered (usu. inductive) sensors.
// - Otherwise connect:
//   - normally-closed switches to GND and D32.
//   - normally-open switches to 5V and D32.
//
// Normally-closed switches are advised and are the default.
//

//
// The Z_MIN_PROBE_PIN sets the Arduino pin to use. (See your board's pins file.)

```

```

// Since the RAMPS Aux4->D32 pin maps directly to the Arduino D32 pin, D32 is the
// default pin for all RAMPS-based boards. Most boards use the X_MAX_PIN by de-
// fault.
// To use a different pin you can override it here.
//
// WARNING:
// Setting the wrong pin may have unexpected and potentially disastrous consequenc-
// es.
// Use with caution and do your homework.
//
#define Z_MIN_PROBE_PIN X_MAX_PIN

//
// Enable Z_MIN_PROBE_ENDSTOP to use _both_ a Z Probe and a Z-min-endstop on
// the same machine.
// With this option the Z_MIN_PROBE_PIN will only be used for probing, never for
// homing.
//
// #define Z_MIN_PROBE_ENDSTOP

// Enable Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN to use the Z_MIN_PIN for your
// Z_MIN_PROBE.
// The Z_MIN_PIN will then be used for both Z-homing and probing.
#define Z_MIN_PROBE_USES_Z_MIN_ENDSTOP_PIN

// To use a probe you must enable one of the two options above!

// Enable Z Probe Repeatability test to see how accurate your probe is
// #define Z_MIN_PROBE_REPEATABILITY_TEST

/**
 * Z probes require clearance when deploying, stowing, and moving between
 * probe points to avoid hitting the bed and other hardware.
 * Servo-mounted probes require extra space for the arm to rotate.
 * Inductive probes need space to keep from triggering early.
 *
 * Use these settings to specify the distance (mm) to raise the probe (or
 * lower the bed). The values set here apply over and above any (negative)
 * probe Z Offset set with Z_PROBE_OFFSET_FROM_EXTRUDER, M851, or the LCD.
 * Only integer values >= 1 are valid here.
 *
 * Example: `M851 Z-5` with a CLEARANCE of 4 => 9mm from bed to nozzle.
 * But: `M851 Z+1` with a CLEARANCE of 2 => 2mm from bed to nozzle.
 */
#define Z_CLEARANCE_DEPLOY_PROBE 10 // Z Clearance for Deploy/Stow
#define Z_CLEARANCE_BETWEEN_PROBES 5 // Z Clearance between probe points

```

```

//
// For M851 give a range for adjusting the Z probe offset
//
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MIN -20
#define Z_PROBE_OFFSET_RANGE_MAX 20

// For Inverting Stepper Enable Pins (Active Low) use 0, Non Inverting (Active High) use
1
// :{ 0:'Low', 1:'High' }
#define X_ENABLE_ON 0
#define Y_ENABLE_ON 0
#define Z_ENABLE_ON 0
#define E_ENABLE_ON 0 // For all extruders

// Disables axis stepper immediately when it's not being used.
// WARNING: When motors turn off there is a chance of losing position accuracy!
#define DISABLE_X false
#define DISABLE_Y false
#define DISABLE_Z false
// Warn on display about possibly reduced accuracy
// #define DISABLE_REDUCE_ACCURACY_WARNING

// @section extruder

#define DISABLE_E false // For all extruders
#define DISABLE_INACTIVE_EXTRUDER true //disable only inactive extruders and keep
active extruder enabled

// @section machine

// Invert the stepper direction. Change (or reverse the motor connector) if an axis goes
the wrong way.
#define INVERT_X_DIR true
#define INVERT_Y_DIR false
#define INVERT_Z_DIR false

// @section extruder

// For direct drive extruder v9 set to true, for geared extruder set to false.
#define INVERT_E0_DIR true
#define INVERT_E1_DIR false
#define INVERT_E2_DIR false
#define INVERT_E3_DIR false

// @section homing

```

```

// #define Z_HOMING_HEIGHT 4 // (in mm) Minimal z height before homing (G28) for
Z clearance above the bed, clamps, ...
// Be sure you have this distance over your Z_MAX_POS in case.

```

```

// ENDSTOP SETTINGS:
// Sets direction of endstops when homing; 1=MAX, -1=MIN
// :[-1, 1]
#define X_HOME_DIR -1
#define Y_HOME_DIR -1
#define Z_HOME_DIR -1

```

```

#define min_software_endstops false // If true, axis won't move to coordinates less
than HOME_POS.
#define max_software_endstops true // If true, axis won't move to coordinates greater
than the defined lengths below.

```

```

// @section machine

```

```

// Travel limits after homing (units are in mm)
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS 200
#define Y_MAX_POS 200
#define Z_MAX_POS 200

```

```

//=====
=====

```

```

//===== Filament Runout Sensor
=====

```

```

//=====
=====

```

```

// #define FILAMENT_RUNOUT_SENSOR // Uncomment for defining a filament runout
sensor such as a mechanical or opto endstop to check the existence of filament
// RAMPS-based boards use SERVO3_PIN. For other boards you may
need to define FIL_RUNOUT_PIN.
// It is assumed that when logic high = filament available
// when logic low = filament ran out

```

```

#if ENABLED(FILAMENT_RUNOUT_SENSOR)
#define FIL_RUNOUT_INVERTING false // set to true to invert the logic of the sensor.
#define ENDSTOPPULLUP_FIL_RUNOUT // Uncomment to use internal pullup for fil-
ament runout pins if the sensor is defined.
#define FILAMENT_RUNOUT_SCRIPT "M600"
#endif

```

```

//=====
=====

```

```

//===== Mesh Bed Leveling
=====
//=====
=====

//#define MESH_BED_LEVELING // Enable mesh bed leveling.

#if ENABLED(MESH_BED_LEVELING)
  #define MESH_INSET 10 // Mesh inset margin on print area
  #define MESH_NUM_X_POINTS 3 // Don't use more than 7 points per axis, imple-
mentation limited.
  #define MESH_NUM_Y_POINTS 3
  #define MESH_HOME_SEARCH_Z 4 // Z after Home, bed somewhere below but
above 0.0.

  //#define MESH_G28_REST_ORIGIN // After homing all axes ('G28' or 'G28 XYZ') rest
at origin [0,0,0]

  //#define MANUAL_BED_LEVELING // Add display menu option for bed leveling.

  #if ENABLED(MANUAL_BED_LEVELING)
    #define MBL_Z_STEP 0.025 // Step size while manually probing Z axis.
  #endif // MANUAL_BED_LEVELING

  // Gradually reduce leveling correction until a set height is reached,
  // at which point movement will be level to the machine's XY plane.
  // The height can be set with M420 Z<height>
  #define ENABLE_LEVELING_FADE_HEIGHT

#endif // MESH_BED_LEVELING

//=====
=====
//===== Auto Bed Leveling
=====
//=====
=====

// @section bedlevel

/**
 * Select one form of Auto Bed Leveling below.
 *
 * If you're also using the Probe for Z Homing, it's
 * highly recommended to enable Z_SAFE_HOMING also!
 *
 * - 3POINT
 * Probe 3 arbitrary points on the bed (that aren't collinear)

```

```

* You specify the XY coordinates of all 3 points.
* The result is a single tilted plane. Best for a flat bed.
*
* - LINEAR
* Probe several points in a grid.
* You specify the rectangle and the density of sample points.
* The result is a single tilted plane. Best for a flat bed.
*
* - BILINEAR
* Probe several points in a grid.
* You specify the rectangle and the density of sample points.
* The result is a mesh, best for large or uneven beds.
*/
//#define AUTO_BED_LEVELING_3POINT
#define AUTO_BED_LEVELING_LINEAR
//#define AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR

/**
* Enable detailed logging of G28, G29, M48, etc.
* Turn on with the command 'M111 S32'.
* NOTE: Requires a lot of PROGMEM!
*/
//#define DEBUG_LEVELING_FEATURE

#if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_LINEAR) || ENA-
BLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)

// Set the number of grid points per dimension.
#define ABL_GRID_POINTS_X 3
#define ABL_GRID_POINTS_Y 3

// Set the boundaries for probing (where the probe can reach).
#define LEFT_PROBE_BED_POSITION 10
#define RIGHT_PROBE_BED_POSITION 170
#define FRONT_PROBE_BED_POSITION 10
#define BACK_PROBE_BED_POSITION 90

// The Z probe minimum outer margin (to validate G29 parameters).
#define MIN_PROBE_EDGE 10

// Probe along the Y axis, advancing X after each column
//#define PROBE_Y_FIRST

#if ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_BILINEAR)

// Gradually reduce leveling correction until a set height is reached,
// at which point movement will be level to the machine's XY plane.

```

```

// The height can be set with M420 Z<height>
#define ENABLE_LEVELING_FADE_HEIGHT

//
// Experimental Subdivision of the grid by Catmull-Rom method.
// Synthesizes intermediate points to produce a more detailed mesh.
//
// #define ABL_BILINEAR_SUBDIVISION
// if ENABLED(ABL_BILINEAR_SUBDIVISION)
//   // Number of subdivisions between probe points
//   #define BILINEAR_SUBDIVISIONS 3
// endif

#endif

#elif ENABLED(AUTO_BED_LEVELING_3POINT)

// 3 arbitrary points to probe.
// A simple cross-product is used to estimate the plane of the bed.
#define ABL_PROBE_PT_1_X 15
#define ABL_PROBE_PT_1_Y 180
#define ABL_PROBE_PT_2_X 15
#define ABL_PROBE_PT_2_Y 20
#define ABL_PROBE_PT_3_X 170
#define ABL_PROBE_PT_3_Y 20

#endif

/**
 * Commands to execute at the end of G29 probing.
 * Useful to retract or move the Z probe out of the way.
 */
// #define Z_PROBE_END_SCRIPT "G1 Z10 F12000\nG1 X15 Y330\nG1 Z0.5\nG1 Z10"

// @section homing

// The center of the bed is at (X=0, Y=0)
// #define BED_CENTER_AT_0_0

// Manually set the home position. Leave these undefined for automatic settings.
// For DELTA this is the top-center of the Cartesian print volume.
// #define MANUAL_X_HOME_POS 0
// #define MANUAL_Y_HOME_POS 0
// #define MANUAL_Z_HOME_POS 0 // Distance between the nozzle to printbed after
homing

```



```

// Use "Z Safe Homing" to avoid homing with a Z probe outside the bed area.
//
// With this feature enabled:
//
// - Allow Z homing only after X and Y homing AND stepper drivers still enabled.
// - If stepper drivers time out, it will need X and Y homing again before Z homing.
// - Move the Z probe (or nozzle) to a defined XY point before Z Homing when homing
all axes (G28).
// - Prevent Z homing when the Z probe is outside bed area.
// #define Z_SAFE_HOMING

#if ENABLED(Z_SAFE_HOMING)
  #define Z_SAFE_HOMING_X_POINT ((X_MIN_POS + X_MAX_POS) / 2) // X point for
Z homing when homing all axis (G28).
  #define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT ((Y_MIN_POS + Y_MAX_POS) / 2) // Y point for
Z homing when homing all axis (G28).
#endif

// Homing speeds (mm/m)
#define HOMING_FEEDRATE_XY (50*60)
#define HOMING_FEEDRATE_Z (4*60)

//=====
//===== Additional Features
//=====

// @section extras

//
// EEPROM
//
// The microcontroller can store settings in the EEPROM, e.g. max velocity...
// M500 - stores parameters in EEPROM
// M501 - reads parameters from EEPROM (if you need reset them after you changed
them temporarily).
// M502 - reverts to the default "factory settings". You still need to store them in
EEPROM afterwards if you want to.
// define this to enable EEPROM support
// #define EEPROM_SETTINGS

#if ENABLED(EEPROM_SETTINGS)
  // To disable EEPROM Serial responses and decrease program space by ~1700 byte:
comment this out:
  #define EEPROM_CHITCHAT // Please keep turned on if you can.

```

```

#endif

//
// Host Keepalive
//
// When enabled Marlin will send a busy status message to the host
// every couple of seconds when it can't accept commands.
//
#define HOST_KEEPALIVE_FEATURE    // Disable this if your host doesn't like
keepalive messages
#define DEFAULT_KEEPALIVE_INTERVAL 2 // Number of seconds between "busy"
messages. Set with M113.

//
// M100 Free Memory Watcher
//
// #define M100_FREE_MEMORY_WATCHER // uncomment to add the M100 Free
Memory Watcher for debug purpose

//
// G20/G21 Inch mode support
//
// #define INCH_MODE_SUPPORT

//
// M149 Set temperature units support
//
// #define TEMPERATURE_UNITS_SUPPORT

// @section temperature

// Preheat Constants
#define PREHEAT_1_TEMP_HOTEND 20
#define PREHEAT_1_TEMP_BED    70
#define PREHEAT_1_FAN_SPEED   0 // Value from 0 to 255

#define PREHEAT_2_TEMP_HOTEND 240
#define PREHEAT_2_TEMP_BED    110
#define PREHEAT_2_FAN_SPEED   0 // Value from 0 to 255

//
// Nozzle Park -- EXPERIMENTAL
//
// When enabled allows the user to define a special XYZ position, inside the
// machine's topology, to park the nozzle when idle or when receiving the G27
// command.
//

```

```

// The "P" parameter controls what is the action applied to the Z axis:
// P0: (Default) If current Z-pos is lower than Z-park then the nozzle will
//   be raised to reach Z-park height.
//
// P1: No matter the current Z-pos, the nozzle will be raised/lowered to
//   reach Z-park height.
//
// P2: The nozzle height will be raised by Z-park amount but never going over
//   the machine's limit of Z_MAX_POS.
//
// #define NOZZLE_PARK_FEATURE

#if ENABLED(NOZZLE_PARK_FEATURE)
  // Specify a park position as { X, Y, Z }
  #define NOZZLE_PARK_POINT { (X_MIN_POS + 10), (Y_MAX_POS - 10), 20 }
#endif

//
// Clean Nozzle Feature -- EXPERIMENTAL
//
// When enabled allows the user to send G12 to start the nozzle cleaning
// process, the G-Code accepts two parameters:
// "P" for pattern selection
// "S" for defining the number of strokes/repetitions
//
// Available list of patterns:
// P0: This is the default pattern, this process requires a sponge type
//   material at a fixed bed location, the cleaning process is based on
//   "strokes" i.e. back-and-forth movements between the starting and end
//   points.
//
// P1: This starts a zig-zag pattern between (X0, Y0) and (X1, Y1), "T"
//   defines the number of zig-zag triangles to be done. "S" defines the
//   number of strokes aka one back-and-forth movement. As an example
//   sending "G12 P1 S1 T3" will execute:
//
//
//   --
//   | (X0, Y1) |  \  /  \  /  \  /  \  | (X1, Y1)
//   |          | / \ / \ / \ / \ |
//   A |          | / \ / \ / \ / \ |
//   |          | / \ / \ / \ / \ |
//   | (X0, Y0) | /  \  \  \  \  \  | (X1, Y0)
//   -- +-----+
//       |_____|_____|_____|
//       T1   T2   T3
//
// Caveats: End point Z should use the same value as Start point Z.

```

```

//
// Attention: This is an EXPERIMENTAL feature, in the future the G-code arguments
// may change to add new functionality like different wipe patterns.
//
// #define NOZZLE_CLEAN_FEATURE

#if ENABLED(NOZZLE_CLEAN_FEATURE)
  // Number of pattern repetitions
  #define NOZZLE_CLEAN_STROKES 12

  // Specify positions as { X, Y, Z }
  #define NOZZLE_CLEAN_START_POINT { 30, 30, (Z_MIN_POS + 1)}
  #define NOZZLE_CLEAN_END_POINT {100, 60, (Z_MIN_POS + 1)}

  // Moves the nozzle to the initial position
  #define NOZZLE_CLEAN_GOBACK
#endif

//
// Print job timer
//
// Enable this option to automatically start and stop the
// print job timer when M104/M109/M190 commands are received.
// M104 (extruder without wait) - high temp = none, low temp = stop timer
// M109 (extruder with wait) - high temp = start timer, low temp = stop timer
// M190 (bed with wait) - high temp = start timer, low temp = none
//
// In all cases the timer can be started and stopped using
// the following commands:
//
// - M75 - Start the print job timer
// - M76 - Pause the print job timer
// - M77 - Stop the print job timer
#define PRINTJOB_TIMER_AUTOSTART

//
// Print Counter
//
// When enabled Marlin will keep track of some print statistical data such as:
// - Total print jobs
// - Total successful print jobs
// - Total failed print jobs
// - Total time printing
//
// This information can be viewed by the M78 command.
// #define PRINTCOUNTER

```

```
//=====
=====
//===== LCD and SD support
=====
//=====
=====
```

```
// @section lcd
```

```
//
// LCD LANGUAGE
//
// Here you may choose the language used by Marlin on the LCD menus, the following
// list of languages are available:
```

```
// en, an, bg, ca, cn, cz, de, el, el-gr, es, eu, fi, fr, gl, hr, it,
// kana, kana_utf8, nl, pl, pt, pt_utf8, pt-br, pt-br_utf8, ru, tr, uk, test
```

```
//
// :{ 'en':'English', 'an':'Aragonese', 'bg':'Bulgarian', 'ca':'Catalan', 'cn':'Chinese',
'cz':'Czech', 'de':'German', 'el':'Greek', 'el-gr':'Greek (Greece)', 'es':'Spanish',
'eu':'Basque-Euskera', 'fi':'Finnish', 'fr':'French', 'gl':'Galician', 'hr':'Croatian', 'it':'Italian',
'kana':'Japanese', 'kana_utf8':'Japanese (UTF8)', 'nl':'Dutch', 'pl':'Polish',
'pt':'Portuguese', 'pt-br':'Portuguese (Brazilian)', 'pt-br_utf8':'Portuguese (Brazilian
UTF8)', 'pt_utf8':'Portuguese (UTF8)', 'ru':'Russian', 'tr':'Turkish', 'uk':'Ukrainian', 'tes-
t':'TEST' }
```

```
//
#define LCD_LANGUAGE en
```

```
//
// LCD Character Set
//
// Note: This option is NOT applicable to Graphical Displays.
//
// All character-based LCD's provide ASCII plus one of these
// language extensions:
```

```
//
// - JAPANESE ... the most common
// - WESTERN ... with more accented characters
// - CYRILLIC ... for the Russian language
//
// To determine the language extension installed on your controller:
//
// - Compile and upload with LCD_LANGUAGE set to 'test'
// - Click the controller to view the LCD menu
// - The LCD will display Japanese, Western, or Cyrillic text
//
// See https://github.com/MarlinFirmware/Marlin/wiki/LCD-Language
//
```

```

// :['JAPANESE', 'WESTERN', 'CYRILLIC']
//
#define DISPLAY_CHARSET_HD44780 JAPANESE

//
// LCD TYPE
//
// You may choose ULTRA_LCD if you have character based LCD with 16x2, 16x4, 20x2,
// 20x4 char/lines or DOGLCD for the full graphics display with 128x64 pixels
// (ST7565R family). (This option will be set automatically for certain displays.)
//
// IMPORTANT NOTE: The U8glib library is required for Full Graphic Display!
//      https://github.com/olikraus/U8glib\_Arduino
//
// #define ULTRA_LCD // Character based
// #define DOGLCD // Full graphics display

//
// SD CARD
//
// SD Card support is disabled by default. If your controller has an SD slot,
// you must uncomment the following option or it won't work.
//
#define SDSUPPORT

//
// SD CARD: SPI SPEED
//
// Uncomment ONE of the following items to use a slower SPI transfer
// speed. This is usually required if you're getting volume init errors.
//
// #define SPI_SPEED SPI_HALF_SPEED
// #define SPI_SPEED SPI_QUARTER_SPEED
// #define SPI_SPEED SPI_EIGHTH_SPEED

//
// SD CARD: ENABLE CRC
//
// Use CRC checks and retries on the SD communication.
//
// #define SD_CHECK_AND_RETRY

//
// ENCODER SETTINGS
//
// This option overrides the default number of encoder pulses needed to
// produce one step. Should be increased for high-resolution encoders.

```

```

//
//#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1

//
// Use this option to override the number of step signals required to
// move between next/prev menu items.
//
//#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 5

/**
 * Encoder Direction Options
 *
 * Test your encoder's behavior first with both options disabled.
 *
 * Reversed Value Edit and Menu Nav? Enable REVERSE_ENCODER_DIRECTION.
 * Reversed Menu Navigation only? Enable REVERSE_MENU_DIRECTION.
 * Reversed Value Editing only? Enable BOTH options.
 */

//
// This option reverses the encoder direction everywhere
//
// Set this option if CLOCKWISE causes values to DECREASE
//
//#define REVERSE_ENCODER_DIRECTION

//
// This option reverses the encoder direction for navigating LCD menus.
//
// If CLOCKWISE normally moves DOWN this makes it go UP.
// If CLOCKWISE normally moves UP this makes it go DOWN.
//
//#define REVERSE_MENU_DIRECTION

//
// Individual Axis Homing
//
// Add individual axis homing items (Home X, Home Y, and Home Z) to the LCD menu.
//
//#define INDIVIDUAL_AXIS_HOMING_MENU

//
// SPEAKER/BUZZER
//
// If you have a speaker that can produce tones, enable it here.
// By default Marlin assumes you have a buzzer with a fixed frequency.
//

```



```

// #define SPEAKER

//
// The duration and frequency for the UI feedback sound.
// Set these to 0 to disable audio feedback in the LCD menus.
//
// Note: Test audio output with the G-Code:
// M300 S<frequency Hz> P<duration ms>
//
// #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_DURATION_MS 100
// #define LCD_FEEDBACK_FREQUENCY_HZ 1000

//
// CONTROLLER TYPE: Standard
//
// Marlin supports a wide variety of controllers.
// Enable one of the following options to specify your controller.
//

//
// ULTIMAKER Controller.
//
// #define ULTIMAKERCONTROLLER

//
// ULTIPANEL as seen on Thingiverse.
//
// #define ULTIPANEL

//
// Cartesio UI
// http://mauk.cc/webshop/cartesio-shop/electronics/user-interface
//
// #define CARTESIO_UI

//
// PanelOne from T3P3 (via RAMPS 1.4 AUX2/AUX3)
// http://reprap.org/wiki/PanelOne
//
// #define PANEL_ONE

//
// MaKr3d Makr-Panel with graphic controller and SD support.
// http://reprap.org/wiki/MaKr3d\_MaKrPanel
//
// #define MAKRPANEL

```

```

//
// ReprapWorld Graphical LCD
// https://reprapworld.com/?products_details&products_id/1218
//
//#define REPRAPWORLD_GRAPHICAL_LCD

//
// Activate one of these if you have a Panucatt Devices
// Viki 2.0 or mini Viki with Graphic LCD
// http://panucatt.com
//
//#define VIKI2
//#define miniVIKI

//
// Adafruit ST7565 Full Graphic Controller.
// https://github.com/eboston/Adafruit-ST7565-Full-Graphic-Controller/
//
//#define ELB_FULL_GRAPHIC_CONTROLLER

//
// RepRapDiscount Smart Controller.
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Smart_Controller
//
// Note: Usually sold with a white PCB.
//
//#define REPRAP_DISCOUNT_SMART_CONTROLLER

//
// GADGETS3D G3D LCD/SD Controller
// http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.3/1.4_GADGETS3D_Shield_with_Panel
//
// Note: Usually sold with a blue PCB.
//
//#define G3D_PANEL

//
// RepRapDiscount FULL GRAPHIC Smart Controller
// http://reprap.org/wiki/RepRapDiscount_Full_Graphic_Smart_Controller
//
#define REPRAP_DISCOUNT_FULL_GRAPHIC_SMART_CONTROLLER

//
// MakerLab Mini Panel with graphic
// controller and SD support - http://reprap.org/wiki/Mini_panel
//
//#define MINIPANEL

```

```

//
// RepRapWorld REPRAPWORLD_KEYPAD v1.1
// http://reprapworld.com/?products_details&products_id=202&cPath=1591_1626
//
// REPRAPWORLD_KEYPAD_MOVE_STEP sets how much should the robot move when
a key
// is pressed, a value of 10.0 means 10mm per click.
//
//#define REPRAPWORLD_KEYPAD
//#define REPRAPWORLD_KEYPAD_MOVE_STEP 1.0

//
// RigidBot Panel V1.0
// http://www.inventapart.com/
//
//#define RIGIDBOT_PANEL

//
// BQ LCD Smart Controller shipped by
// default with the BQ Hephestos 2 and Witbox 2.
//
//#define BQ_LCD_SMART_CONTROLLER

//
// CONTROLLER TYPE: I2C
//
// Note: These controllers require the installation of Arduino's LiquidCrystal_I2C
// library. For more info: https://github.com/kiyoshigawa/LiquidCrystal_I2C
//

//
// Elefu RA Board Control Panel
// http://www.elefu.com/index.php?route=product/product&product_id=53
//
//#define RA_CONTROL_PANEL

//
// Sainsmart YW Robot (LCM1602) LCD Display
//
//#define LCD_I2C_SAINSMART_YWROBOT

//
// Generic LCM1602 LCD adapter
//
//#define LCM1602

```

```

//
// PANELOLU2 LCD with status LEDs,
// separate encoder and click inputs.
//
// Note: This controller requires Arduino's LiquidTWI2 library v1.2.3 or later.
// For more info: https://github.com/lincomatic/LiquidTWI2
//
// Note: The PANELOLU2 encoder click input can either be directly connected to
// a pin (if BTN_ENC defined to != -1) or read through I2C (when BTN_ENC == -1).
//
//#define LCD_I2C_PANELOLU2

//
// Panucatt VIKI LCD with status LEDs,
// integrated click & L/R/U/D buttons, separate encoder inputs.
//
//#define LCD_I2C_VIKI

//
// SSD1306 OLED full graphics generic display
//
//#define U8GLIB_SSD1306

//
// SAV OLEd LCD module support using either SSD1306 or SH1106 based LCD modules
//
//#define SAV_3DGLCD
#if ENABLED(SAV_3DGLCD)
  // #define U8GLIB_SSD1306
  #define U8GLIB_SH1106
#endif

//
// CONTROLLER TYPE: Shift register panels
//
// 2 wire Non-latching LCD SR from https://goo.gl/aJJ4sH
// LCD configuration: http://reprap.org/wiki/SAV\_3D\_LCD
//
//#define SAV_3DLCD

//=====
//=====
//===== Extra Features
//=====
//=====

```

```

// @section extras

// Increase the FAN PWM frequency. Removes the PWM noise but increases heating in
the FET/Arduino
//#define FAST_PWM_FAN

// Use software PWM to drive the fan, as for the heaters. This uses a very low frequen-
cy
// which is not as annoying as with the hardware PWM. On the other hand, if this fre-
quency
// is too low, you should also increment SOFT_PWM_SCALE.
//#define FAN_SOFT_PWM

// Incrementing this by 1 will double the software PWM frequency,
// affecting heaters, and the fan if FAN_SOFT_PWM is enabled.
// However, control resolution will be halved for each increment;
// at zero value, there are 128 effective control positions.
#define SOFT_PWM_SCALE 0

// Temperature status LEDs that display the hotend and bed temperature.
// If all hotends and bed temperature and temperature setpoint are < 54C then the
BLUE led is on.
// Otherwise the RED led is on. There is 1C hysteresis.
//#define TEMP_STAT_LEDS

// M240 Triggers a camera by emulating a Canon RC-1 Remote
// Data from: http://www.doc-diy.net/photo/rc-1\_hacked/
//#define PHOTOGRAPH_PIN 23

// SkeinForge sends the wrong arc g-codes when using Arc Point as fillet procedure
//#define SF_ARC_FIX

// Support for the BariCUDA Paste Extruder.
//#define BARICUDA

//define BlinkM/CyzRgb Support
//#define BLINKM

// Support for an RGB LED using 3 separate pins with optional PWM
//#define RGB_LED
#if ENABLED(RGB_LED)
  #define RGB_LED_R_PIN 34
  #define RGB_LED_G_PIN 43
  #define RGB_LED_B_PIN 35
#endif

/*****\

```

```

* R/C SERVO support
* Sponsored by TrinityLabs, Reworked by codexmas
*****/

// Number of servos
//
// If you select a configuration below, this will receive a default value and does not
need to be set manually
// set it manually if you have more servos than extruders and wish to manually control
some
// leaving it undefined or defining as 0 will disable the servo subsystem
// If unsure, leave commented / disabled
//
#define NUM_SERVOS 1 // Servo index starts with 0 for M280 command

// Delay (in microseconds) before the next move will start, to give the servo time to
reach its target angle.
// 300ms is a good value but you can try less delay.
// If the servo can't reach the requested position, increase it.
#define SERVO_DELAY 300

// Servo deactivation
//
// With this option servos are powered only during movement, then turned off to pre-
vent jitter.
//#define DEACTIVATE_SERVOS_AFTER_MOVE

/*****
\
* Support for a filament diameter sensor
* Also allows adjustment of diameter at print time (vs at slicing)
* Single extruder only at this point (extruder 0)
*
* Motherboards
* 34 - RAMPS1.4 - uses Analog input 5 on the AUX2 connector
* 81 - Printrboard - Uses Analog input 2 on the Exp1 connector (version B,C,D,E)
* 301 - Rambo - uses Analog input 3
* Note may require analog pins to be defined for different motherboards

*****/

// Uncomment below to enable
//#define FILAMENT_WIDTH_SENSOR

#define DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA 3.00 //Enter the diameter (in mm) of the
filament generally used (3.0 mm or 1.75 mm) - this is then used in the slicer software.
Used for sensor reading validation

```

```

#if ENABLED(FILAMENT_WIDTH_SENSOR)
  #define FILAMENT_SENSOR_EXTRUDER_NUM 0 //The number of the extruder that
  has the filament sensor (0,1,2)
  #define MEASUREMENT_DELAY_CM 14 //measurement delay in cm. This is the
  distance from filament sensor to middle of barrel

  #define MEASURED_UPPER_LIMIT 3.30 //upper limit factor used for sensor read-
  ing validation in mm
  #define MEASURED_LOWER_LIMIT 1.90 //lower limit factor for sensor reading
  validation in mm
  #define MAX_MEASUREMENT_DELAY 20 //delay buffer size in bytes (1 byte =
  1cm)- limits maximum measurement delay allowable (must be larger than MEASURE-
  MENT_DELAY_CM and lower number saves RAM)

  #define DEFAULT_MEASURED_FILAMENT_DIA DEFAULT_NOMINAL_FILAMENT_DIA
  //set measured to nominal initially

  //When using an LCD, uncomment the line below to display the Filament sensor data
  on the last line instead of status. Status will appear for 5 sec.
  //#define FILAMENT_LCD_DISPLAY
#endif

#endif // CONFIGURATION_H

```