

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS –
CÂMPUS URUAÇU
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS
CURSO DE TECNOLOGIA EM ANÁLISE E DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS

MARCOS VINICIUS ALVES CHAVES

DESENVOLVIMENTO DE EXTRUSORA DE BAIXO CUSTO PARA
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS DA IMPRESSÃO 3D.

URUAÇU/GO

2023

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Marcos Vinicius Alves Chaves

Matrícula: 20211050100286

Título do Trabalho: Desenvolvimento de extrusora de baixo custo para reaproveitamento de resíduos plásticos da impressão 3d.

Autorização - Marque uma das opções

- ☒ (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- ☐ () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
- ☐ () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ () O documento está sujeito a registro de patente.
☐ () O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ () Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.



Documento assinado digitalmente
MARCOS VINICIUS ALVES CHAVES
Data: 07/08/2024 11:49:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Uruaçu Goiás, 03/12/2023.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

MARCOS VINICIUS ALVES CHAVES

**DESENVOLVIMENTO DE EXTRUSORA DE BAIXO CUSTO PARA
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS DA IMPRESSÃO 3D.**

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado como requisito para obtenção do título de
Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas ao
Departamento de Áreas Acadêmicas do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus
Uruaçu.

Orientador: Prof. Me. Alessandro Siqueira da Silva

URUAÇU/GO

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Chaves, Marcos Vinicius Alves.

C512d Desenvolvimento e extrusora de baixo custo para reaproveitamento de resíduos plásticos da impressão 3D [manuscrito] / Marcos Vinicius Alves Chaves. - 2023.
LIX, 59 p.: il.

Orientador: Prof. Me. Alessandro Siqueira da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás: Campus Uruaçu, curso de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, 2023.

Bibliografia.

Inclui lista de figuras, lista de quadros, lista de lista de siglas e figuras.

1. Sustentabilidade. 2. Extrusora. 3. Impressão 3D. 4. Extreme Programming (Programa). I. Silva, Alessandro Siqueira da (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD: 509.81

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Sabrina Gisele da Silva Felix CRB1/2561



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS URUAÇU

Marcos Vinicius Alves Chaves

DESENVOLVIMENTO DE EXTRUSORA DE BAIXO CUSTO PARA REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS PLÁSTICOS DA IMPRESSÃO 3D

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título de
Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de
Sistemas ao Departamento de Áreas Acadêmicas
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Goiás - Campus Uruaçu.

Aprovado em 17 de novembro de 2023.

(Assinado eletronicamente)

Prof. Me. Alessandro Siqueira da Silva
Instituto Federal de Goiás - Campus Uruaçu - Orientador

(Assinado eletronicamente)

Prof. Me. Davi Taveira Alencar Alarcão
Instituto Federal de Goiás - Campus Uruaçu

(Assinado eletronicamente)

**Prof. Me. Maurílio Humberto Rodrigues
Miranda**
Instituto Federal de Goiás - Campus Uruaçu

Documento assinado eletronicamente por:

- Davi Taveira Alencar Alarcão, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 06/12/2023 22:29:15.
- Maurílio Humberto Rodrigues Miranda, CHEFE - CD4 - URU-DAA, em 06/12/2023 10:47:05.
- Alessandro Siqueira da Silva, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLÓGICO, em 05/12/2023 12:00:00.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 30/11/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 484142
Código de Autenticação: e8c6224f74



AGRADECIMENTOS

Primeiramente, expresso minha profunda gratidão a Deus por me conceder a força e a orientação necessárias para concluir esta importante etapa da minha jornada acadêmica. Gostaria de estender meus sinceros agradecimentos aos dedicados professores que compartilharam seus conhecimentos e orientações ao longo do curso.

Aos meus colegas de curso, que se tornaram amigos e compartilharam comigo os desafios e as alegrias desta jornada, minha sincera gratidão. Agradeço também ao Instituto Federal de Goiás por proporcionar um ambiente propício ao aprendizado e crescimento. Minha família desempenhou um papel fundamental nesta conquista, suportando as noites em claro de estudos e programação. Expresso meu amor e gratidão por seu apoio incondicional.

Neste momento, só posso fazer um pedido: que esta etapa termine de uma vez por todas, mas com a certeza de que ela foi valiosa e enriquecedora em minha vida.

“Não creio que haja uma emoção mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando. Essas emoções fazem você esquecer de comer, de dormir, de tudo.” Nikola Tesla

RESUMO

Neste trabalho, descreve-se o desenvolvimento de uma extrusora de baixo custo para a produção de filamentos, reutilizando resíduos plásticos provenientes de falhas em impressões 3D, suportes descartados e filamentos malsucedidos. A máquina, composta por diversos componentes eletrônicos, como relé, resistência para o aquecimento do bico ou bloco, sensor de temperatura, motor de passo e driver para controlar o motor, teve sua estrutura montada com cantoneira de aço de 1 polegada. Antes da montagem, um protótipo foi elaborado na plataforma Arduino IDE para simular o funcionamento desejado. O desenvolvimento do projeto seguiu princípios da metodologia Extreme Programming (XP), com reuniões periódicas para garantir feedback, assegurando a qualidade do projeto. O código-fonte e a documentação são mantidas no ambiente de desenvolvimento do Arduino IDE, e a escolha da plataforma Arduino foi respaldada por requisitos funcionais e não funcionais para garantir eficiência e segurança, com a abordagem XP promovendo entregas incrementais até a finalização do projeto.

Palavras-chave: Extrusora, Impressões 3D, Reutilizar, Arduino, Extreme Programming(XP).

ABSTRACT

In this work, the development of a low-cost extruder for the production of filaments is described, reusing plastic waste resulting from failures in 3D printing, discarded supports and unsuccessful filaments. The machine, made up of several electronic components, such as a relay, resistance for heating the nozzle or block, temperature sensor, stepper motor and driver to control the motor, had its structure assembled with 1-inch steel angle iron. Before assembly, a prototype was created on the Arduino IDE platform to simulate the desired operation. The development of the project followed the principles of the Extreme Programming (XP) methodology, with periodic meetings to ensure feedback, ensuring the quality of the project. Source code and documentation are maintained in the Arduino IDE development environment, and the choice of the Arduino platform was supported by functional and non-functional requirements to ensure efficiency and security, with the XP approach promoting incremental deliveries until project completion.

Keywords: *Extruder, 3D Printing, Reuse, Arduino, Extreme Programming(XP).*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Suporte	16
Figura 02 - Código de materiais plásticos	17
Figura 03 - Esquemático de uma extrusora	18
Figura 04 - Impressora <i>FDM</i>	21
Figura 05 - Arduino 2560 Mega	23
Figura 06 - <i>Driver</i> DRV8825	24
Figura 07 - Motor de passo	25
Figura 08 - Relé de estado sólido	26
Figura 09 - Resistência de cartucho	27
Figura 10 - Sensor de temperatura (Termistor)	28
Figura 11 - Diagrama caso de Uso (EXT-MV V1 2023)	33
Figura 12 - Configuração de resistência fixa e algoritmo	39
Figura 13 - Configuração do motor de passo	39
Figura 14 - Configuração <i>Encoder</i> 1 e <i>Encoder</i> 2	40
Figura 15 - Configuração Endereçamento do <i>display</i>	40
Figura 16 - Configuração Inicialização do arduino	41
Figura 17 - Inicialização do <i>display</i>	41
Figura 18 - Aviso de sistema carregado	42
Figura 19 - Parametrização do <i>loop</i>	42
Figura 20 - Parâmetros da temperatura e definições	43
Figura 21 - Condicional do motor de passo	43
Figura 22 - Atualizar <i>display</i>	44
Figura 23 - Verificação dos botões dos <i>encoders</i>	44
Figura 24 - Ajuste de temperatura com <i>encoder</i> 1	45
Figura 25 - Ajuste de velocidade com <i>encoder</i> 2	45
Figura 26 - Placa ilhada	46
Figura 27 - Componentes montados na placa ilhada	47
Figura 28 - Trilhas de soldagem	47
Figura 29 - Estanho	48

Figura 30 - 1º Protótipo extrusora	49
Figura 31 - 1º Protótipo - Simulação - EXT-MV V.1 - 2023	50
Figura 32 - 1º Protótipo - Simulação - Inicializando	50
Figura 33 - 1º Protótipo - Simulação - Sistema Carregado	50
Figura 34 - 1º Protótipo - Simulação - <i>Status</i> - Aquecendo	51
Figura 35 - 1º Protótipo - Simulação - <i>Status</i> - Pronto	51
Figura 36 - <i>Display</i> – Versão final	52
Figura 37 - Vista frontal - Extrusora	52
Figura 38 - Vista lateral - Extrusora	53
Figura 39 - Rsoca sem fim/broca	53
Figura 40 - Vista frontal - Bico - Extrusora	54
Figura 41 - Produção de filamento	54
Figura 42 - Filamento produzido	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Documentação do Caso de Uso Acionamento da máquina	34
Quadro 2 - Documentação do Caso de Uso Código carregado	34
Quadro 3 - Documentação do Caso de Uso Configurar parâmetros.	35
Quadro 4 - Documentação do Caso de Uso Ajuste de Temperatura.	35
Quadro 5 - Documentação do Caso de Uso Ajuste de velocidade.	36
Quadro 6 - Documentação do Caso de Uso Visualizar informações.	37
Quadro 7 - Documentação do Caso de Uso Desligar.	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PLA	Ácido Polilático
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
STM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
XP	<i>Extreme Programming</i>
RF	<i>Requisito funcional</i>
RNF	<i>Requisito não funcional</i>
SLA	<i>Stereolithography</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
DLP	<i>Digital Light Processing</i>
MJF	<i>Multi Jet Fusion</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
PCB	<i>Printed Circuit Board</i>
DIY	<i>Do It Yourself</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
CNC	<i>Computer Numeric Control</i>
RTD	<i>Resistance Temperature Detectors</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. Objetivos	15
1.1.1. Objetivo Geral	15
1.1.2. Objetivo Específico	16
1.2. Justificativa	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1. Extrusão de polímeros	18
2.2. Impressora 3D <i>FDM</i>	19
2.3. Metodologia Ágeis no Desenvolvimento de <i>software</i>	21
2.4. TECNOLOGIAS	21
2.4.1. Arduino	21
2.4.2. <i>Driver</i> DRV8825	23
2.4.3. Motor de passo	24
2.4.4. Relé de estado sólido	25
2.4.5. Resistência de cartucho	26
2.4.6. Sensor de temperatura	27
3 METODOLOGIA	29
3.1 Planejamento Iterativo	29
3.2 Entregas Incrementais	29
3.3 Prototipação	30
3.4 Gerenciamento de Tarefas	30
3.5 <i>Feedback</i> e Revisões	30
3.6 Controle de Documentação	30
4 EXT-MV V.1 2023	32
4.1 <i>Software</i>	32
4.1.1 Requisitos do <i>Software</i>	32
4.1.2 Diagrama de Caso de Uso	33
4.1.3 Código fonte arduino	38
4.2 <i>Hardware</i>	46

4.2.1 Circuito	46
5 RESULTADOS	49
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	56
7 REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

No ano de 2020, três unidades do Instituto Federal de Goiás (IFG) Câmpus Itumbiara, Câmpus Uruaçu e a Reitoria foram contempladas no edital nº35/2020 da Secretaria de Educação Profissional e Tecnológica do Ministério da Educação (Setec/MEC) e receberam recursos para implantar laboratórios IFMaker. Os laboratórios IFmaker são ambientes colaborativos, facilitadores de projeção, produção e consolidação de produtos e/ou serviços, por meio da formação complementar em áreas compatíveis com as atividades de Ensino, Pesquisa e Extensão (IFG, 2020). Dentre os diversos equipamentos adquiridos para os laboratórios estão as impressoras 3D do tipo *FDM* (Fused Deposition Modeling) que em português significa Modelagem por Fusão e Deposição.

Os atuais avanços na área da manufatura aditiva, também conhecida como impressão tridimensional (3D) e, como consequência, a crescente demanda por impressoras deste tipo são considerados positivos para o desenvolvimento de novos produtos. No entanto, durante o processo de fabricação de peças e objetos em impressoras do tipo *FDM*, é comum gerar resíduos que são descartados no lixo comum, sem serem reciclados ou reaproveitados. O presente projeto teve como objetivo desenvolver uma máquina extrusora de baixo custo que permita a reutilização de sobras e resíduos de filamentos, como o PLA (Ácido Polilático) e o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), gerados durante a impressão 3D. A proposta é oferecer uma alternativa econômica para reaproveitar os resíduos plásticos produzidos pelos laboratórios IFMaker do IFG.

O processo envolveu a seleção de modelos de código aberto por meio de pesquisas direcionadas. Após a escolha, foi desenvolvido um protótipo no *software* de Desenho Assistido por Computador (*CAD*). Em seguida, realizou testes de fundição dos filamentos e de utilização dos filamentos reutilizados. Como resultado esperado, foi criado um protótipo capaz de transformar os resíduos da impressão 3D em filamentos prontos para serem reutilizados.

1.1.Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Desenvolver uma máquina extrusora de baixo custo que possibilite reaproveitar sobras/resíduos de filamento 3D dos tipos PLA e ABS produzidos pelos laboratórios IFMaker do IFG.

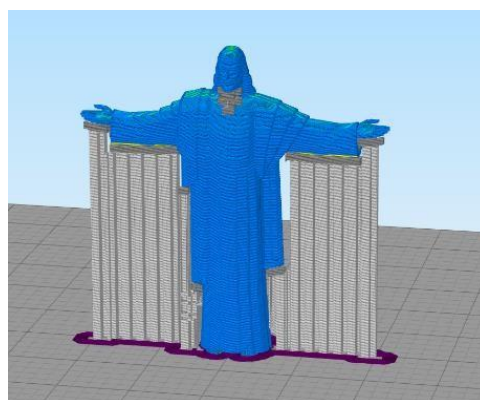
1.1.2. Objetivo Específico

- Reduzir o descarte incorreto do plástico e seus impactos ambientais negativos
- Apresentar a reutilização de resíduos de filamentos 3D como proposta para os laboratórios IFMaker.
- Conscientizar a comunidade acadêmica sobre a reutilização e reaproveitamento de material plástico.
- Avaliar as propriedades mecânicas do material extrusado.

1.2. Justificativa

Nos últimos anos, há diversos avanços no campo da manufatura aditiva 3D e consequentemente uma crescente demanda de uso das impressoras 3D. O custo para aquisição de uma impressora 3D ainda é alto e seus periféricos e insumos utilizados no processo de impressão 3D, caminham na mesma proporção. Uma impressora 3D do tipo *FDM* tem capacidade de produzir diversos produtos por meio da utilização dos filamentos ABS e PLA, por exemplo. Durante o processo de fabricação de peças e objetos em uma impressora 3D do tipo *FDM*, normalmente são impressos suportes (Figura 1) necessários para garantir o sucesso de uma impressão, porém estes suportes são descartados no lixo comum, além disso, ainda devemos considerar as impressões malsucedidas que também são descartadas. Segundo Sousa (2019), os tipos de filamento ABS e PLA, os tipos de filamento ABS e PLA não são reciclados pelo programa municipal de reciclagem de Uruaçu. Observação: Esses suportes são necessários para segurar partes flutuantes assim como se pode ver no braço do cristo redentor.

Figura 1: Suporte



Fonte: Sethi, 2017.

De acordo com os códigos de identificação de resinas internacionais da *ASTM* (*American Society for Testing and Materials*) assim como mostra a (Figura2) tanto PLA como ABS são classificados como tipo 7 por se tratar de materiais que normalmente não são processados por programas municipais de reciclagem. Como alternativa para reutilizar esses resíduos do processo de impressão 3D, existe um equipamento chamado de extrusora de filamentos, que através de um processo de extrusão, força a passagem de plástico triturado por dentro de um cilindro aquecido, por meio de uma rosca sem fim, como resultado do processo é possível produzir filamentos em diversas espessuras, entretanto, o equipamento tem um custo elevado, com custo inicial de R\$5000,00 em média. Pensando na reutilização destes resíduos, o presente projeto pretendeu desenvolver um equipamento que utiliza como princípio de funcionamento a extrusão através de uma rosca sem fim, assim reutilizando o material descartado, buscou neste projeto otimizar o seu uso, bem como avaliou as propriedades mecânicas dos materiais extrusados. Sendo assim, essa proposta desenvolveu uma máquina que recupere sobras/resíduos de filamento 3D dos tipos PLA e ABS que perderam sua utilidade e foram descartados. Observação: O 7 são outras matérias como resinas e plásticos como ABS e o PLA.

Figura 2: Código de materiais plásticos

Códigos de identificação de materiais plásticos						
01  PETE	02  HDPE	03  V	04  LDPE	05  PP	06  PS	07  Outros
PET	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	Outros
Polietileno tereftalato	Polietileno de alta densidade	Cloreto de polivinilo	Polietileno de baixa densidade	Polipropileno	Poliestireno	Outros

Fonte: Ctborracha, 2017.

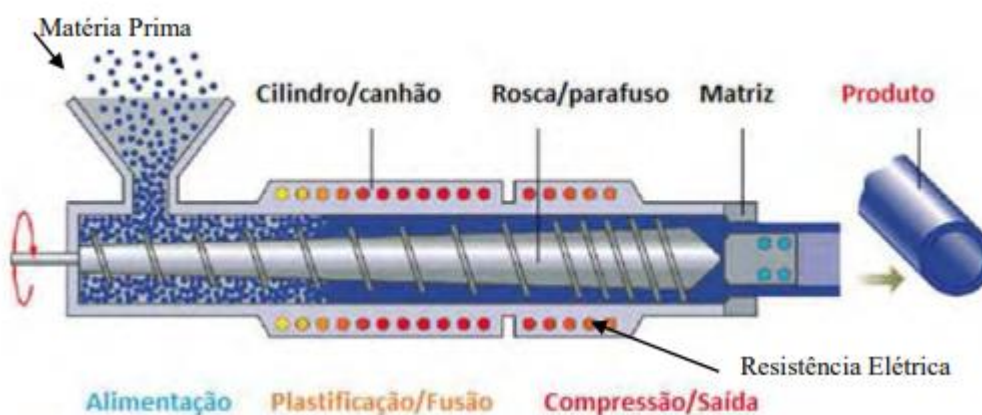
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo, destaca-se a revisão bibliográfica que fundamenta o desenvolvimento do projeto, abrangendo fontes como livros, artigos científicos e relatórios técnicos selecionados pela relevância aos objetivos estabelecidos. As fontes foram escolhidas considerando sua atualidade e contribuição significativa para o embasamento teórico, proporcionando uma base sólida para o desenvolvimento da pesquisa. Importante mencionar que, devido a limitações como a disponibilidade de determinadas fontes, foram adotadas medidas para assegurar a representatividade e abrangência da revisão bibliográfica

2.1.Extrusão de polímeros

Uma extrusora é um equipamento muito utilizado na indústria de processamento de plástico. Resumidamente, o processo de produção consiste em depositar a matéria prima na forma de *pellets* ou triturada na alimentação que fica montada acima do cilindro/canhão da extrusora, e esta alimenta o processo por simples força da gravidade. O material segue em direção a rosca/parafuso que o força a se mover pelo canhão que é aquecido na temperatura de fundição do plástico escolhido (ABS ou PLA). No final do processo, o material aquecido passa por uma matriz que determina o diâmetro do filamento. A Figura 3 apresenta o esquemático de uma extrusora ABIPLAST(2014).

Figura 3: Esquemático de uma extrusora



Fonte: ABIPLAST, 2014.

Com o desenvolvimento tecnológico, especialmente a partir do século XX, novos materiais foram desenvolvidos, entre os quais estão os polímeros. Dado que o mais conhecido

é o plástico, utilizado mundialmente em diversas áreas da indústria. Isto ocorre pelas suas características, entre elas a sua leveza, alta flexibilidade, maior resistência a corrosão e resistência mecânica, entre outras propriedades. Um diferencial que pesa na escolha do plástico, é o econômico, já que o seu custo de fabricação baixo e a sua leveza em comparação a metais, madeira entre outros (PIATTI e RODRIGUES, 2005). Embora todos os benefícios que o plástico proporciona à sociedade, existe um problema decorrente, que é a sua poluição ao meio ambiente; exemplo disso é que em torno de 90% dos lixos domésticos é constituído por plástico. Levando em consideração a sua estabilidade estrutural, o plástico leva muito tempo para se degradar (BARNES *et al.*, 2009). Segundo Souza *et al.*, 2014: Os avanços tecnológicos disponíveis em diversas partes do mundo e no Brasil, ainda estão longe de ser acessíveis à grande parte da população. O computador, por exemplo, é um objeto desconhecido por parte expressiva da população brasileira, e embora facilite a vida das pessoas, geram subprodutos extremamente indesejáveis, como o chamado lixo eletrônico ou e-Lixo, que se configura em entulhos e máquinas velhas, obsoletas, que podem ser abandonadas ao ar livre ou em lixões públicos. A reutilização desse e-Lixo proporciona a criação de uma máquina que por sua vez, se faz muito útil para reduzir o custo de produção bem como reaproveitar equipamentos e peças descartadas.

2.2. Impressora 3D FDM

A impressora 3D *FDM* é um dos métodos mais comumente utilizados na impressão 3D. Nesse processo, o material de impressão é depositado camada por camada, através de uma extrusora aquecida, formando o objeto desejado. Segundo Smith (2019), "a impressão 3D *FDM* é uma tecnologia amplamente adotada devido à sua simplicidade e baixo custo".

Além da *FDM*, existem diversos outros métodos de impressão 3D. Entre eles, destacam-se (*Print it 3D*, 2021):

SLA (Estereolitografia): Neste método, um laser é utilizado para solidificar uma resina líquida camada por camada. É reconhecido pela alta precisão e detalhamento, tornando-o popular em aplicações que requerem peças de alta qualidade.

SLS (Sinterização Seletiva a Laser): Envolve o uso de um laser para fundir partículas de pó (geralmente plástico ou metal) camada por camada, resultando em objetos duráveis e funcionais.

PolyJet: Este método emprega jatos de resina líquida que são curados por UV para criar objetos. A PolyJet é conhecida por sua capacidade de produzir objetos multicomponentes e coloridos com alta resolução.

DLP (*Digital Light Processing*): Semelhante à SLA, o DLP utiliza uma fonte de luz digital para curar uma resina líquida, sendo mais rápido do que a SLA.

MJF (Fusão por Jato de Multijatos): Usa uma matriz de jatos de tinta para aplicar agente de fusão a um leito de pó, criando objetos rápidos e duráveis.

LOM (Modelagem de Objetos em Camadas): Folhas de material (como papel ou plástico) são cortadas a laser em camadas e coladas umas sobre as outras para formar o objeto.

Cada método tem suas próprias vantagens e desvantagens, sendo escolhido com base nas necessidades específicas do projeto, como resolução, material, e orçamento disponível. Enquanto a *FDM* é elogiada por sua simplicidade e custo acessível, outros métodos podem oferecer maior precisão, velocidade ou a capacidade de usar materiais mais especializados.

A estrutura da impressora 3D *FDM* consiste em vários componentes essenciais. De acordo com Johnson (2020c), "uma impressora 3D *FDM* típica é composta por uma plataforma de impressão, uma extrusora, motores de movimento e um sistema de controle". Esses componentes trabalham em conjunto para controlar o movimento da extrusora e a deposição precisa do material, camada por camada, para construir o objeto desejado.

Quanto aos materiais utilizados na impressão 3D *FDM*, os termoplásticos são os mais comuns. O PLA e o ABS são exemplos populares. Segundo Brown et al. (2018), "o PLA é um dos filamentos mais utilizados na impressão 3D *FDM* devido à sua facilidade de uso, baixa toxicidade e boa qualidade de impressão". Já o ABS é conhecido por sua resistência e durabilidade.

Os parâmetros de impressão, como velocidade de impressão, temperatura de extrusão e taxa de fluxo, desempenham um papel crucial na qualidade do objeto impresso. De acordo com Ramirez *et al.* (2021), "o ajuste adequado dos parâmetros de impressão, como a taxa de fluxo do material, pode afetar diretamente a precisão e a resolução do objeto impresso".

No que diz respeito às aplicações da impressão 3D *FDM*, elas são diversas e abrangem vários setores. Na área médica, por exemplo, a impressão 3D *FDM* é usada para criar modelos anatômicos personalizados e dispositivos médicos. Segundo Martinez *et al.* (2020), "a impressão 3D *FDM* tem se mostrado uma ferramenta promissora na produção de próteses personalizadas de baixo custo e alta qualidade". A Figura 4 apresenta um modelo de uma impressora 3D *FDM*.

Figura 4: Impressora 3D FDM



Fonte: Filament2print, 2023.

2.3. Metodologias Ágeis no Desenvolvimento de Software

O *Extreme Programming (XP)* é uma abordagem disciplinada para o desenvolvimento de *software*, com foco na satisfação do cliente por meio de entregas frequentes de *software* funcionando. Segundo Beck (1999), um dos principais autores e defensores do *XP*, "o *Extreme Programming* é uma abordagem disciplinada para o desenvolvimento de *software*, com foco na satisfação do cliente por meio de entregas frequentes de *software* funcionando". Essa metodologia enfatiza a comunicação efetiva, o feedback contínuo, a simplicidade e a coragem de fazer mudanças quando necessário.

O Scrum é um *framework* ágil para gerenciamento de projetos que se baseia em ciclos de trabalho chamados de sprints. Ele promove a colaboração entre a equipe e a entrega incremental de valor ao longo do tempo. Segundo Sutherland e Schwaber (2017), criadores do Scrum, "O Scrum é um *framework* no qual as pessoas podem resolver problemas complexos, enquanto entregam de forma produtiva produtos com a mais alta qualidade possível". Ele oferece flexibilidade para adaptar-se às mudanças, melhoria contínua e transparência em todas as etapas do projeto."

2.4 TECNOLOGIAS

A seguir são descritas as principais tecnologias, plataformas, peças e componentes que foram utilizadas para desenvolver o projeto.

2.4.1 Arduino

O Arduino, figura 5, é uma plataforma de código aberto, cuja programação é baseada em códigos C/C++. Sua utilização é simplificada devido à abertura da plataforma e à expansão

continua de sua biblioteca, graças à comunidade de programadores que compartilham códigos de forma acessível. Pode ser aplicado em diversas situações (SOUZA *et. al.*, 2004).

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica que facilita a criação de projetos interativos. Diversos tipos de placas Arduino estão disponíveis, cada uma com características específicas para atender às necessidades de diferentes projetos. Abaixo estão algumas das placas Arduino mais comuns:

Arduino Uno: É a placa mais popular e amplamente utilizada. Possui um microcontrolador ATmega328P, entradas e saídas digitais, entradas analógicas e conexão *USB* para programação e comunicação com o computador.

Arduino Mega: Oferece mais pinos de entrada e saída em comparação com o Arduino Uno. É útil para projetos maiores e mais complexos que exigem mais portas.

Arduino Nano: Uma versão compacta do Arduino Uno, ideal para projetos com restrições de espaço. Possui características semelhantes ao Uno, mas é mais compacto.

Arduino Leonardo: Diferencia-se por ter um microcontrolador ATmega32u4 com capacidades de simulação de dispositivo *HID (Human Interface Device)*. Isso permite emular teclados e mouses diretamente na placa.

Arduino Pro Mini: Similar ao Arduino Nano, mas sem o conector *USB* integrado. É usado principalmente em projetos permanentes onde o espaço é crítico.

Arduino Due: Utiliza um microcontrolador ARM Cortex-M3 de 32 bits, tornando-o mais poderoso em comparação com os modelos baseados em AVR de 8 bits. Possui mais memória e recursos, sendo adequado para projetos mais avançados.

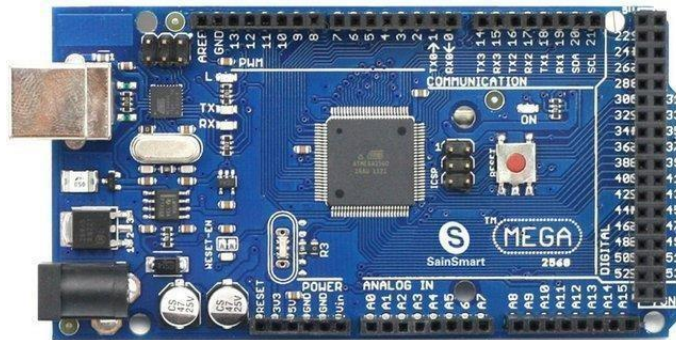
Arduino MKR Series: Uma série de placas Arduino projetadas para aplicações IoT (Internet das Coisas). Inclui modelos como o Arduino MKR1000, MKRZero e outros, que oferecem conectividade *Wi-Fi*, *Bluetooth* e baixo consumo de energia.

Arduino Yún: Combina um processador Linux com um microcontrolador Arduino. Oferece conectividade *Wi-Fi* nativa e é especialmente útil para projetos que envolvem comunicação com a internet.

Arduino Esplora: Projetado para facilitar o aprendizado de eletrônica e programação, possui sensores embutidos, botões e *joystick*, tornando-o ideal para projetos educacionais.

Arduino Lilypad: Projetado para projetos wearable (vestíveis) e têxteis. Possui uma forma circular e é costurável em tecidos.

Figura 5 – Arduino 2560 Mega



Fonte: Google (2023)

2.4.2 Driver DRV8825

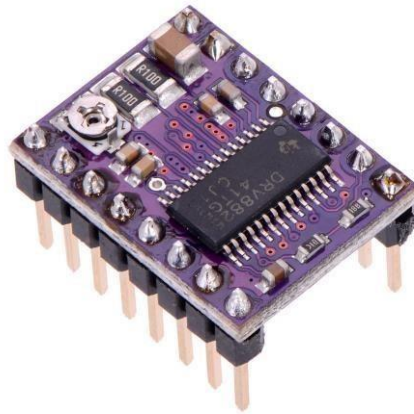
O *driver* DRV8825 é um componente eletrônico utilizado para controlar motores de passo em diversas aplicações. Esse *driver* oferece recursos avançados e capacidade de *microstepping*, permitindo um controle preciso e suave dos motores. Segundo Johnson (2018), "o DRV8825 é amplamente utilizado devido à sua alta capacidade de corrente, facilidade de uso e excelente desempenho".

O DRV8825, (Figura 6), possui uma arquitetura interna que suporta diferentes modos de *microstepping*, como 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 e até mesmo 1/32 de passo. De acordo com Li (2017), "o *microstepping* permite um movimento mais suave e silencioso dos motores de passo, reduzindo a vibração e melhorando a precisão do posicionamento".

Além disso, o DRV8825 é projetado para fornecer uma alta corrente de acionamento dos motores de passo. De acordo com o *datasheet* oficial do DRV8825 da *Texas Instruments* (2016), "esse *driver* pode fornecer até 2.5 A de corrente contínua por fase, o que o torna adequado para motores de passo de alta potência".

Para controlar o DRV8825, é necessário enviar sinais de controle adequados. O *driver* suporta a interface de controle de passo e direção, que é comumente utilizada. Segundo Johnson (2018), "a interface de passo e direção facilita a integração do DRV8825 com microcontroladores e placas de controle como o Arduino".

Figura 6 – *Driver DRV8825*



Fonte: *Texas Instruments*, 2016.

2.4.3 Motor de passo

O motor de passo (Figura 7), é um dispositivo eletromecânico utilizado para converter pulsos elétricos em movimentos angulares precisos. Ele é amplamente empregado em aplicações que requerem controle de posicionamento, como impressoras 3D, robótica e máquinas *CNC* (*Computer Numeric Control*). Segundo Brown (2020), "o motor de passo é um tipo de motor que divide o movimento em passos discretos, permitindo um controle preciso da posição angular".

A operação do motor de passo baseia-se no princípio de eletromagnetismo. Ele é composto por bobinas eletromagnéticas que são acionadas sequencialmente, gerando campos magnéticos que interagem com os ímãs permanentes presentes no rotor. Conforme mencionado por Smith (2019), "o motor de passo é projetado para mover-se em uma série de etapas discretas em resposta aos pulsos elétricos aplicados às bobinas".

Existem diferentes tipos de motores de passo, incluindo os motores de passo unipolares e bipolares. Os motores unipolares possuem uma bobina central com terminais adicionais em cada extremidade, enquanto os motores bipolares têm duas bobinas independentes. De acordo com Johnson (2021), "os motores de passo bipolares são conhecidos por sua maior capacidade de torque em relação aos unipolares, devido ao seu projeto com bobinas independentes".

A precisão do posicionamento do motor de passo é determinada pela resolução, que está relacionada ao número de passos por revolução. Quanto maior o número de passos por revolução, maior a resolução do motor. Segundo Li (2018), "a resolução de um motor de passo

está diretamente relacionada ao número de dentes do rotor e à configuração de acionamento das bobinas".

Figura 7 – Motor de passo



Fonte: Johnson, 2021

2.4.4 Relé de estado sólido

O relé de estado sólido *SSR* (*Solid-State Relay*) (Figura 8), é um dispositivo eletrônico de comutação que oferece uma alternativa aos relés eletromecânicos tradicionais. Ele utiliza componentes semicondutores, como tiristores ou transistores, para controlar a passagem de corrente elétrica. Segundo Jones (2017), "o relé de estado sólido é um dispositivo de chaveamento sem partes móveis, projetado para fornecer isolamento elétrico, alta velocidade de comutação e vida útil prolongada".

Ao contrário dos relés eletromecânicos, o *SSR* não possui contatos mecânicos sujeitos a desgaste. Em vez disso, ele utiliza componentes semicondutores para controlar o fluxo de corrente. Como mencionado por Patel (2019), "a ausência de partes móveis torna o relé de estado sólido mais confiável e resistente a vibrações e choques mecânicos".

O *SSR* é capaz de alternar a corrente elétrica de forma rápida e eficiente, permitindo um controle preciso de dispositivos de alta potência. Segundo Johnson (2020), "os relés de estado sólido são amplamente utilizados em aplicações industriais, como controle de aquecimento, iluminação, acionamento de motores e comutação de cargas de alta corrente".

Além disso, o SSR oferece isolamento elétrico entre a entrada de controle e a saída de carga. Isso proporciona uma camada adicional de proteção contra picos de tensão e ruídos elétricos. Conforme destacado por Li (2018), "o relé de estado sólido oferece isolamento galvânico, garantindo uma separação segura e eficiente entre o circuito de controle e o circuito de carga".

Figura 8 – Relé estado sólido



Fonte: Li, 2018.

2.4.5 Resistência de cartucho

A resistência cartucho (Figura 9), é um elemento de aquecimento utilizado em diversas aplicações industriais devido às suas características vantajosas. Consiste em um dispositivo compacto que utiliza um fio de alta qualidade, geralmente composto por níquelcromo (NiCr) ou aço inoxidável, para gerar calor. Essa solução é escolhida por sua eficiência térmica, resposta rápida e capacidade de suportar temperaturas elevadas (SMITH, 2020).

A principal vantagem do design da resistência de cartucho é sua capacidade de dissipação de calor uniforme e controle preciso da temperatura. O tubo metálico utilizado na resistência cartucho possibilita a transferência eficiente de calor para o meio a ser aquecido, enquanto o fio interno é projetado para garantir uma distribuição uniforme de temperatura ao longo do seu comprimento (JOHNSON, 2019).

Essa tecnologia é amplamente empregada em processos de aquecimento industrial, tais como aquecimento de moldes, extrusão de plásticos, aquecimento de líquidos e secagem de materiais. Sua popularidade se deve à alta potência, resistência mecânica e capacidade de

suportar ambientes adversos, o que a torna uma escolha frequente em aplicações que requerem aquecimento direto e controle preciso da temperatura (BROWN, 2018).

Outra vantagem da resistência de cartucho é sua durabilidade e longa vida útil. Em decorrência dos materiais de alta qualidade e técnicas avançadas de fabricação utilizados em sua produção, ela é capaz de resistir a condições extremas, como altas temperaturas e ambientes corrosivos. A resistência cartucho apresenta excelente resistência à oxidação, corrosão e desgaste (LI, 2021).

Figura 9 – Resistência de cartucho



Fonte: Brown, 2018.

2.4.6 Sensor de temperatura

O sensor de temperatura (Figura 10) é um dispositivo utilizado para medir e monitorar a temperatura em diversas aplicações, desde controle de processos industriais até sistemas de climatização. Existem diferentes tipos de sensores de temperatura, cada um com seus princípios de funcionamento e características específicas. De acordo com Johnson (2020), "os sensores de temperatura são amplamente empregados em uma variedade de setores, pois fornecem informações essenciais para garantir o funcionamento adequado e a segurança de sistemas e processos".

Um exemplo comum de sensor de temperatura é o termopar, que consiste em dois fios de metais diferentes unidos em uma extremidade. Segundo Brown (2018), "os termopares são baseados no princípio do efeito *Seebeck*, que gera uma diferença de tensão proporcional à diferença de temperatura entre as junções do termopar". Essa diferença de tensão é medida e convertida em uma leitura de temperatura.

Outro tipo comum de sensor de temperatura é o termoresistor, como o termistor. Ele é composto por um material semicondutor cuja resistência elétrica varia com a temperatura.

Conforme mencionado por Smith (2019), "os termistores são conhecidos por sua alta sensibilidade térmica e resposta rápida às mudanças de temperatura".

Além disso, existem sensores de temperatura baseados em princípios como a expansão térmica de líquidos (termômetros de líquido), a variação de resistência em fios metálicos *RTDs* (*Resistance Temperature Detectors*) e a mudança de características elétricas em materiais semicondutores (sensores de temperatura de silício). Cada tipo de sensor possui suas vantagens e limitações, e a escolha do sensor adequado depende das necessidades específicas da aplicação.

Figura 10 – Sensor de temperatura (termistor)



Fonte: Smith, 2019.

3. METODOLOGIA

Para iniciar o projeto, foi conduzida uma revisão bibliográfica abrangente, explorando diversas fontes, incluindo livros, artigos e dissertações (MELO et. al., 2015). O objetivo desse levantamento foi analisar diversas abordagens relacionadas à implementação de extrusoras de baixo custo e selecionar a mais apropriada para o desenvolvimento do projeto. A revisão abrangeu temas como extrusoras, resinas, polímeros e processos de fabricação de filamentos, fornecendo uma base sólida para a escolha e implementação da abordagem mais adequada.

Além disso, foi adotada uma abordagem ágil baseada em princípios da metodologia *XP* (*Extreme Programming*) e do *framework Scrum* para o desenvolvimento da extrusora. Essa metodologia foi adaptada para atender às necessidades específicas do projeto, considerando a restrição de ser desenvolvido individualmente.

Dessa forma, a metodologia adotada para o desenvolvimento da extrusora de baixo custo e do sistema de controle, compreende a aplicação de uma abordagem ágil adaptada, baseada nos princípios da metodologia *XP* e do *framework Scrum*. Essa adaptação leva em consideração as necessidades específicas do projeto e a restrição de ser desenvolvido individualmente.

3.1 Planejamento Iterativo

O projeto foi dividido em iterações curtas e fixas, chamadas de *sprints*, com duração de duas semanas. No início de cada *sprint*, as tarefas foram planejadas a serem realizadas e estimadas as suas durações. Durante o planejamento, os objetivos específicos foram definidos e as metas foram alcançadas até o final do *sprint*.

3.2 Entregas Incrementais

Foram realizadas entregas incrementais a cada final de *sprint*, visando obter resultados funcionais ao longo do tempo. Cada entrega consistiu em um incremento do produto, contendo funcionalidades completas e testadas.

3.3 Prototipação

Foram desenvolvidos protótipos e versões simplificadas da extrusora para testar os conceitos e validar as funcionalidades antes da implementação completa. Essa abordagem permitiu a identificação e correção antecipada de possíveis problemas e auxiliou na tomada de decisões durante o desenvolvimento.

3.4 Gerenciamento de Tarefas

Foi escolhido o quadro Kanban, reconhecido como um método ágil, para o gerenciamento de tarefas no desenvolvimento da máquina extrusora. Seja físico ou digital, esse sistema visual permite que cada tarefa seja representada como um cartão, movendo-se entre colunas conforme seu progresso. A decisão pelo Kanban baseia-se em sua capacidade de proporcionar transparência, adaptabilidade a mudanças e promoção da colaboração da equipe, otimizando assim a eficiência do processo de desenvolvimento.

3.5 *Feedback* e Revisões

Foram realizadas reuniões periódicas de revisão do projeto, nas quais foi obtido *feedback* de profissionais da área de manufatura aditiva. Essas reuniões serviram para avaliar o progresso, identificar possíveis ajustes e garantir a qualidade do projeto. O *feedback* foi utilizado para orientar as próximas iterações e melhorar continuamente o protótipo.

3.6 Controle de Documentação

O código fonte e a documentação do projeto foram gerenciadas diretamente no ambiente de desenvolvimento do Arduino IDE, o que assegurou a rastreabilidade e facilitou a elaboração deste trabalho.

Além disso, foram estabelecidos requisitos funcionais e não funcionais para o sistema. Requisitos funcionais referiram-se às funcionalidades específicas que o sistema deveria cumprir, como o processo de fundição, a taxa de fluxo do material e a precisão da impressão. Já os requisitos não funcionais abordaram características que não estavam diretamente relacionadas às funcionalidades, mas eram igualmente importantes, como a eficiência

energética, a segurança do operador e a durabilidade dos componentes do projeto. Para melhor visualização das funcionalidades do sistema, foi desenvolvido o Diagrama de Caso de Uso e sua documentação.

4. EXT-MV V.1 2023

O desenvolvimento do projeto foi construído de acordo com as metodologias citadas no capítulo anterior, e os estágios foram detalhados a seguir, neste capítulo.

4.1 *Software*

4.1.1 Requisitos do *Software*

Requisitos Funcionais:

RF 1: Carregar sistema: O sistema após o carregamento permitir que o usuário faça ajustes nas configurações de temperatura e velocidade do motor.

RF 2: O sistema deve permitir a alteração dos parâmetros: Se o usuário quiser fixar uma temperatura tanto maior ou menor o sistema deve permitir, porém dentro na margem de segurança.

RF 3: Controle da velocidade dos motores: O sistema deve permitir que o usuário controle a velocidade dos motores da extrusora.

RF 4: Controle de temperatura: O sistema deve permitir que o usuário ajuste a temperatura do bloco aquecedor para mais ou para menos, de acordo com o tipo de filamento a ser produzido.

RF 5: Exibição de informações: O sistema deve mostrar ao usuário a temperatura atual do bloco aquecedor, assim como a velocidade do motor e parâmetros de ajustes das mesmas.

Requisitos Não Funcionais:

RNF 1: Usabilidade: O sistema deve ser intuitivo e de fácil utilização, com informações ao *display* de fácil entendimento.

RNF 2: Confiabilidade: O sistema deve ser confiável, garantindo que as informações exibidas sejam precisas e que as ações realizadas pelo usuário tenham o efeito esperado.

RNF 3: Desempenho: O sistema deve ser responsivo, garantindo uma resposta rápida às interações do usuário e um controle eficiente dos motores e da temperatura.

RNF 4: Segurança: O sistema deve assegurar a segurança do usuário e do equipamento, evitando operações inadequadas que possam causar danos ou acidentes.

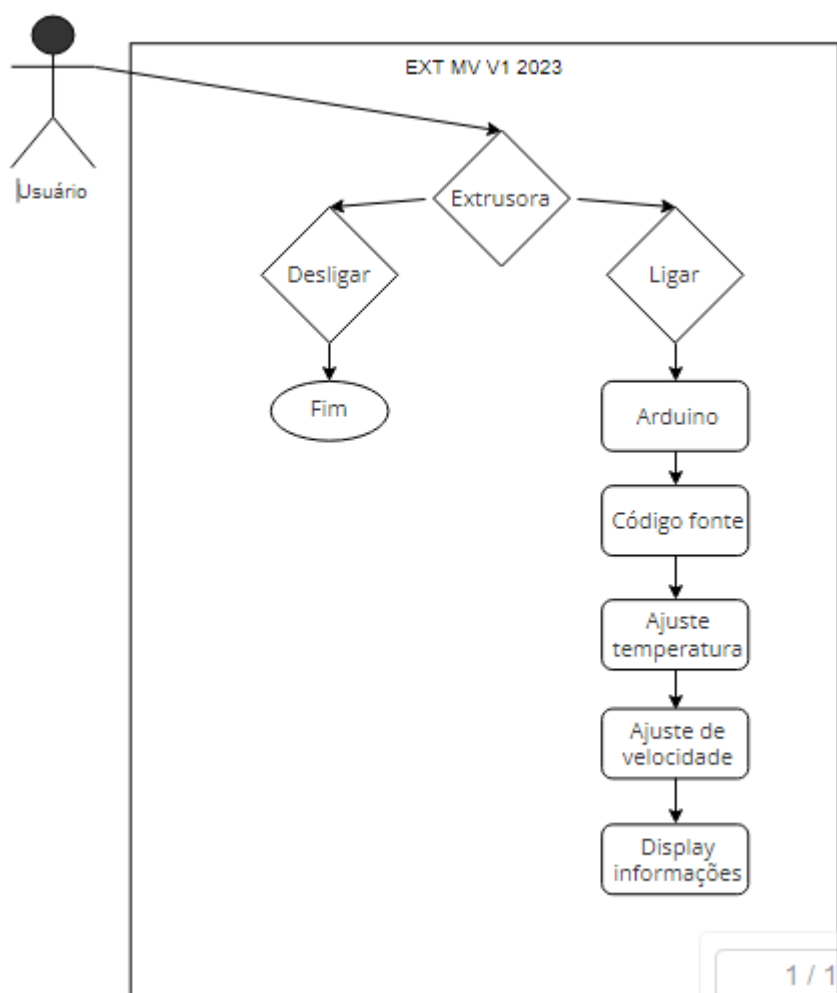
Projeto lógico: O controle lógico foi desenvolvido utilizando a plataforma Arduino que é de código aberto, permitindo a programação em linguagem C/C++. A plataforma Arduino consiste em um microcontrolador AVR com *bootloader* e uma interface de desenvolvimento para os códigos. Também permitirá a conexão com diversos componentes, como o termistor a ser utilizado no projeto.

Projeto em CAD: Com o protótipo e materiais definidos, realizado a modelagem 3D com o software *sketchup*. A modelagem 3D realizada é de extrema importância para definir as dimensões da extrusora, as peças a serem impressas em 3D e as conexões lógicas.

4.1.2 Diagrama de Caso de Uso

Os diagramas de caso de uso são esquemas que representam através de atores e ações uma idealização das principais funcionalidades de um sistema. É apresentado com uma linguagem mais compreensível por qualquer pessoa (GUEDES, 2009). Neste contexto, é representado o caso de uso do protótipo do aplicativo proposto identificando as principais ações que forem realizadas pelo usuário e sua documentação:

Figura 11 - Diagrama de Caso de Uso (EXT-MV V.1)



Fonte: Autor, 2023.

Quadro 1 - Documentação do Caso de Uso Acionamento da máquina

Nome do caso de uso	Acionamento da máquina
Caso de uso geral	
Ator principal	Usuário
Resumo	Este caso descreve a etapa onde usuário irá iniciar o ligar ou desligar a máquina extrusora
Pré-condições	Não há.
Pós-condições	
Ações do ator	Ações do sistema
1 – Ligar maquina	
	2 – Carregar código do arduino
Restrições/Validações	

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 2 - Documentação do Caso de Uso Código carregado

Nome do caso de uso	Código carregado
Caso de uso geral	
Ator principal	
Resumo	Esta etapa mostra após o carregamento do código do arduino.

Pré-condições	
Pós-condições	Não há
Ações do ator	Ações do sistema
1 – Verificar temperatura do bloco	
	2 – Verificar velocidade atual

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 3 - Documentação do Caso de Uso Configurar parâmetros.

Nome do caso de uso	Configurar parâmetros
Caso de uso geral	
Ator principal	
Resumo	Permite ao usuário configurar os parâmetros da extrusora, como velocidade do motor, temperatura do bloco aquecedor.
Pré-condições	Ter carregado o sistema complementente.
Pós-condições	Não há
Ações do ator	Ações do sistema
	1- Mostrar todos os parâmetros que podem ser alterados pelo usuário como temperatura e velocidade do motor.

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 4 - Documentação do Caso de Uso Ajuste de Temperatura.

Nome do caso de uso	Ajuste de temperatura
----------------------------	-----------------------

Caso de uso geral	
Ator principal	Usuário
Resumo	Permite ao usuário ajustar a temperatura do bloco aquecedor para mais ou para menos, de acordo com o tipo de filamento a ser produzido.
Pré-condições	
Pós-condições	Não há.
Ações do ator	Ações do sistema
1 - Selecionar e configurar os parâmetros desejados da temperatura para cada tipo de filamento.	
Restrições/Validações	

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 5 - Documentação do Caso de Uso Ajuste de velocidade.

Nome do caso de uso	Ajuste de velocidade do motor
Caso de uso geral	
Ator principal	Usuário
Resumo	Permite ao usuário ajustar a velocidade da rosca sem fim da extrusão.
Pré-condições	

Pós-condições	Não há.
Ações do ator	Ações do sistema
1 - Selecionar e configurar os parâmetros desejados da velocidade para cada tipo de filamento.	
Restrições/Validações	

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 6 - Documentação do Caso de Uso Visualizar informações.

Nome do caso de uso	Informar visualizações
Caso de uso geral	
Ator principal	Usuário
Resumo	Permite ao usuário visualizar informações no display
Pré-condições	
Pós-condições	
Ações do ator	Ações do sistema
	1 - Apresentar ao usuário visualizar informações como a temperatura do bloco aquecedor atual, temperatura regulada e velocidade atual e alterada do motor no display.
Restrições/Validações	

Fonte: Autor, 2023.

Quadro 7 - Documentação do Caso de Uso Desligar.

Nome do caso de uso	Desligar
Caso de uso geral	
Ator principal	Usuário
Resumo	Após a finalização de produção, maquina ser desligada.
Pré-condições	
Pós-condições	
Ações do ator	Ações do sistema
	1 – A máquina extrusora ser desligada, será gradualmente resfriado o bloco aquecedor.
Restrições/Validações	

Fonte: Autor, 2023.

4.1.3 Código fonte arduino

Nesta etapa foi elaborada a codificação de toda a lógica utilizada no arduino para controle da máquina extrusora. Primeiro, apresentado o código com uma legenda de cada parte, e depois forneço a explicação detalhada de cada parte.

Figura 12 – Configuração de resistência fixa e algoritmo

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <LiquidCrystal_I2C.h>
3 #include <EEPROM.h>
4
5 // Defina o novo valor de resistência fixa e a tensão de referência
6 const float R_Ref = 180.0; // Novo valor de resistência fixa de 180 ohms
7 const float V_Ref = 5.0; // Tensão de referência de 5V
8 float temperaturaLimite = 200.0; // Defina o limite de temperatura desejado
9 const float temperaturaHisterese = 2.0; // Histerese de temperatura de 2 graus
10 const int relayPin = 3; // Pino do relé
11
12 //Algoritmo para formar o sinal de graus Celsius
13 byte grauCelsius[8] = {
14     0b00110,
15     0b01001,
16     0b01001,
17     0b00110,
18     0b00000,
19     0b00000,
20     0b00000,
21     0b00000
22 };
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 12 mostra as seguintes etapas: Inclui as bibliotecas necessárias, como "Wire.h", "LiquidCrystal_I2C.h" e "EEPROM.h", para o funcionamento do Arduino. Define constantes para "R_Ref" (resistência fixa), "V_Ref" (tensão de referência), "temperaturaLimite" (limite de temperatura desejado), "temperaturaHisterese" (histerese de temperatura) e "relayPin" (pino do relé). Cria um algoritmo para formar o símbolo de graus Celsius que será exibido no *display*.

Figura 13 – Configuração do motor de passo

```
24 // Motor de passo
25 const int dirPin = 5;
26 const int stepPin = 2; // Alterado para evitar conflito com o relé
27 const int steps = 200;
28 int microPausa = 2000;
29 int direction = 1; // 1 para frente, -1 para trás
30 int speedDelay = 1000; // Ajuste a velocidade desejada
31 bool motorGirando = false; // Variável para controlar o estado do motor de passo
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 13 mostra as seguintes etapas: Define as configurações para o motor de passo, incluindo os pinos "dirPin" (pino de direção) e "stepPin" (pino de passo). Configura parâmetros para o motor de passo, como o número de "steps" (passos por revolução), "microPausa" (duração dos pulsos), "direction" (direção de rotação), "speedDelay" (velocidade de rotação) e "motorGirando" (variável de controle do estado do motor de passo).

Figura 14 – Configuração do Encoder 1 e Encoder 2

```
33 // Encoder 1
34 const int encoder1PinA = 4;
35 const int encoder1PinB = 6;
36 const int encoder1ButtonPin = 7;
37 volatile int encoder1Pos = 0;
38 volatile int encoder1LastEncoded = 0; // Adicionada declaração
39 bool encoder1ButtonPressed = false;
40 bool encoder1ButtonReleased = true;
41 bool encoder1ButtonState = LOW;
42 bool encoder1LastButtonState = LOW;
43
44 // Encoder 2
45 const int encoder2PinA = 9;
46 const int encoder2PinB = 10;
47 const int encoder2ButtonPin = 11;
48 volatile int encoder2Pos = 0;
49 volatile int encoder2LastEncoded = 0; // Adicionada declaração
50 bool encoder2ButtonPressed = false;
51 bool encoder2ButtonReleased = true;
52 bool encoder2ButtonState = LOW;
53 bool encoder2LastButtonState = LOW;
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 14 mostra as seguintes etapas: Configura os pinos e variáveis relacionados aos *encoders*. Existem dois *encoders*: "encoder1" e "encoder2". Para cada *encoder*, definimos os pinos de sinal "encoder1PinA" e "encoder1PinB", o pino do botão "encoder1ButtonPin", variáveis para contar a posição atual "encoder1Pos", "encoder1LastEncoded" para rastrear a posição anterior, bem como variáveis de controle de botão e estados.

Figura 15 – Configuração do endereçamento do *display*

```
55 LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4); // Endereço do display I2C
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 15 mostra a seguinte etapa: Inicializa o objeto "lcd" da classe "LiquidCrystal_I2C" para controlar o display *LCD*. É definido o endereço I2C do display (0x27) e suas dimensões (20 colunas por 4 linhas).

Figura 16 – Configuração de inicialização do arduino

```
57 void setup() {  
58   Serial.begin(9600);  
59   pinMode(relayPin, OUTPUT);  
60   pinMode(encoder1ButtonPin, INPUT_PULLUP);  
61   pinMode(encoder2ButtonPin, INPUT_PULLUP);  
62  
63   // Configuração dos encoders  
64   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoder1PinA), updateEncoder1, CHANGE);  
65   attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoder2PinA), updateEncoder2, CHANGE);  
66  
67   // Configuração do display  
68   lcd.init();  
69   lcd.backlight();  
70  
71   // Cria o caractere personalizado para o grau Celsius  
72   lcd.createChar(1, grauCelsius);
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 16 mostra as seguintes etapas: O `setup()` é uma função que é executada uma vez quando o Arduino é inicializado. Inicia a comunicação serial com uma taxa de 9600 *bauds*. Configura o pino do relé e os pinos do botão dos *encoders* como saída ou entrada com resistência de *pull-up*. Configura as interrupções para os *encoders*, para que a função `updateEncoder1` seja chamada quando ocorrer uma mudança no sinal do *encoder 1* e `updateEncoder2` para o *encoder 2*. Inicializa o *display LCD* e cria um caractere personalizado para o grau Celsius.

Figura 17 – Inicialização do *display*

```
74 // Inicialização personalizada do display  
75 lcd.clear();  
76 // Parte 1: Aviso do modelo e versão da extrusora.  
77 lcd.setCursor(5, 1);  
78 lcd.print("EXT-MV V.1");  
79 lcd.setCursor(8, 2);  
80 lcd.print("2023");  
81 delay(5000);  
82 lcd.clear();  
83 lcd.setCursor(3, 1);  
84 lcd.print("Iniciando.");  
85  
86 // Parte 2: Barra de progresso  
87 for (int i = 0; i < 20; i++) {  
88   lcd.setCursor(i, 2);  
89   lcd.print("#");  
90   delay(300);  
91 }
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 17 mostra as seguintes etapas: Configura o *display LCD* para exibir informações personalizadas no início da execução. Exibe uma mensagem de modelo e versão da extrusora. Aguarda 5 segundos antes de continuar. Exibe uma mensagem de inicialização e uma barra de progresso animada.

Figura 18 – Aviso de sistema carregado

```
93 // Parte 3: Aviso de sistema carregado!
94 delay(2000);
95 lcd.clear();
96 lcd.setCursor(6, 1);
97 lcd.print("Sistema");
98 lcd.setCursor(5, 2);
99 lcd.print("Carregado!");
100 delay(2000);
101 lcd.clear();
102
103 // Inicializa o motor de passo
104 pinMode(dirPin, OUTPUT);
105 pinMode(stepPin, OUTPUT);
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 18 mostra as seguintes etapas: Exibe uma mensagem de "Sistema Carregado!" no *display LCD* após a inicialização. Aguarda 2 segundos antes de continuar. Inicializa o motor de passo, configurando os pinos "dirPin" e "stepPin" como saídas.

Figura 19 – Parametrização do *loop*

```
120 void loop() {
121   int adcValue = analogRead(A0);
122   float Vout = (V_Ref * adcValue) / 1023.0;
123   float R_PT100 = R_Ref * (V_Ref / Vout - 1.0);
124   float Temp_C = (R_PT100 - 108.2) / 0.385;
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 19 mostra as seguintes etapas: O *loop()* é uma função que é executada continuamente. Lê o valor do sensor analógico conectado a "A0" e calcula a temperatura em graus Celsius com base nos parâmetros definidos anteriormente.

Figura 20 – Parâmetros da temperatura e definições

```
126 if (Temp_C >= temperaturaLimite) {
127     if (!motorGirando) {
128         // Ligue o motor de passo se não estiver girando
129         motorGirando = true;
130         digitalWrite(dirPin, HIGH); // Defina a direção desejada
131     }
132 } else if (Temp_C <= (temperaturaLimite - 10.0)) {
133     if (motorGirando) {
134         // Desligue o motor de passo se estiver girando e a temperatura cair mais de 10 graus
135         motorGirando = false;
136         digitalWrite(dirPin, LOW); // Inverta a direção, se necessário
137     }
138 }
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 20 mostra as seguintes etapas: Verifica se a temperatura medida (**Temp_C**) é maior ou igual ao limite de temperatura (**temperaturaLimite**). Se for verdadeiro e o motor não estiver girando, liga o motor de passo definindo a direção como alta (presumivelmente, para aumentar a temperatura). Em seguida, verifica se a temperatura caiu em 10 graus abaixo do limite de temperatura. Se for verdadeiro e o motor estiver girando, desliga o motor de passo e inverte a direção (presumivelmente, para diminuir a temperatura).

Figura 21 - Condicional do motor de passo

```
140 if (motorGirando) {
141     // Gire o motor de passo somente se motorGirando for verdadeiro
142     digitalWrite(stepPin, HIGH);
143     delayMicroseconds(microPausa);
144     digitalWrite(stepPin, LOW);
145     delayMicroseconds(microPausa);
146 }
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 21 mostra as seguintes etapas: Se a variável **motorGirando** for verdadeira, o código faz o motor de passo girar. Isso é feito alternando o pino **stepPin** entre alto e baixo com uma pausa definida pela variável **microPausa**.

Figura 22 - Atualizar *display*

```
148 // Atualiza o display
149 lcd.setCursor(11, 0);
150 lcd.print(Temp_C);
151 lcd.write(1); // Escreve o caractere personalizado para o grau Celsius acima da letra C
152 lcd.print("C");
153 lcd.setCursor(0, 2);
154 lcd.print("Velocidade2: ");
155 lcd.setCursor(12, 2);
156 lcd.print(speedDelay);
157 lcd.setCursor(0, 3);
158 lcd.print("Temp-Definida: ");
159 lcd.setCursor(14, 3);
160 lcd.print(temperaturaLimite);
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 22 mostra as seguintes etapas: Atualiza o *display LCD* com informações, incluindo a temperatura atual, o caractere personalizado para o grau Celsius, a velocidade de extrusão e o limite de temperatura definido.

Figura 23 – Verificação dos botões dos *encoders*

```
162 // Verifica os botões dos encoders
163 encoder1ButtonState = digitalRead(encoder1ButtonPin);
164 encoder2ButtonState = digitalRead(encoder2ButtonPin);
165
166 if (encoder1ButtonState != encoder1LastButtonState) {
167     if (encoder1ButtonState == HIGH) {
168         encoder1ButtonPressed = true;
169     } else {
170         encoder1ButtonReleased = true;
171     }
172 }
173
174 if (encoder2ButtonState != encoder2LastButtonState) {
175     if (encoder2ButtonState == HIGH) {
176         encoder2ButtonPressed = true;
177     } else {
178         encoder2ButtonReleased = true;
179     }
180 }
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 23 mostra as seguintes etapas: Lê o estado dos botões dos *encoders* e verifica se houve uma mudança desde a última verificação. Se o botão do *encoder1* for pressionado, define a variável **encoder1ButtonPressed** como verdadeira; se for liberado, define **encoder1ButtonReleased** como verdadeira.

Figura 24 – Ajuste de temperatura com *encoder1*

```
182 encoder1LastButtonState = encoder1ButtonState;
183 encoder2LastButtonState = encoder2ButtonState;
184
185 // Ajusta a temperatura com encoder 1
186 if (encoder1ButtonPressed) {
187     encoder1ButtonPressed = false;
188     if (encoder1ButtonReleased) {
189         encoder1ButtonReleased = false;
190         int encoder1Delta = encoder1Pos / 4; // Ajuste a sensibilidade
191         temperaturaLimite += encoder1Delta;
192         EEPROM.write(1, temperaturaLimite); // Salva a temperatura no EEPROM
193         // EEPROM.commit(); // Remova esta linha
194     }
195 }
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 24 mostra as seguintes etapas: Atualiza as variáveis de estado dos botões dos *encoders* para serem usadas na próxima iteração do loop. Ajusta a temperatura usando o *encoder1* se o botão foi pressionado e depois liberado. O valor do *encoder* é lido da variável **encoder1Pos** e, após ajustar a sensibilidade, é somado ao limite de temperatura. O valor da temperatura é então salvo na memória EEPROM.

Figura 25 – Ajuste de velocidade com *encoder2*

```
197 // Ajusta a velocidade com encoder 2
198 if (encoder2ButtonPressed) {
199     encoder2ButtonPressed = false;
200     if (encoder2ButtonReleased) {
201         encoder2ButtonReleased = false;
202         int encoder2Delta = encoder2Pos / 4; // Ajuste a sensibilidade
203         speedDelay += encoder2Delta;
204         if (speedDelay < 100) {
205             speedDelay = 100;
206         }
207         EEPROM.write(0, speedDelay); // Salva a velocidade no EEPROM
208         // EEPROM.commit(); // Remova esta linha
209     }
210 }
211 }
```

Fonte: Autor, 2023.

A figura 25 mostra as seguintes etapas: Ajusta a velocidade com o *encoder2* de maneira semelhante ao ajuste da temperatura com o *encoder1*. O valor é salvo na memória EEPROM e há um limite mínimo de 100 para a velocidade.

4.2 Hardware

4.2.1 Circuito

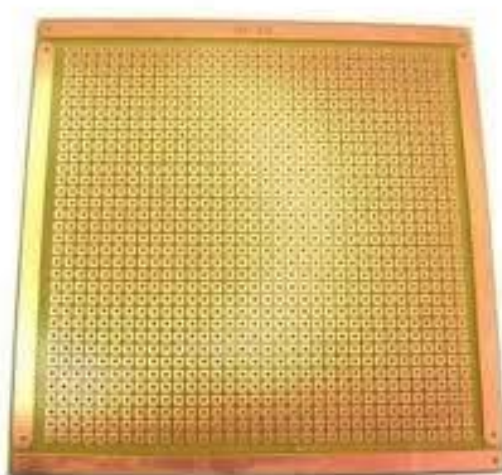
Uma placailhada, também conhecida como placa de circuito ilhada ou placa perfurada, é um tipo de substrato utilizado para montagem de circuitos eletrônicos. Essas placas são feitas de material isolante, como fibra de vidro ou fenolite, e possuem furos (ilhas) em que os componentes eletrônicos podem ser inseridos e conectados. As ilhas geralmente são revestidas com metal para facilitar a soldagem dos componentes (geralmente cobre).

O processo de montagem em uma placa ilhada é geralmente manual. Os componentes eletrônicos, como resistores, capacitores e semicondutores, têm seus terminais inseridos nos furos correspondentes da placa. Os terminais são então dobrados na parte de trás da placa e soldados para criar as conexões elétricas.

Essas placas são frequentemente usadas em prototipagem rápida, projetos DIY (Do It Yourself) faça você mesmo e pequenas produções, onde a flexibilidade na montagem é mais importante do que a automação e a padronização oferecidas por placas de circuito impresso (PCBs). As placas ilhadas permitem modificações e ajustes manuais mais fáceis, tornando-as adequadas para situações em que o design do circuito pode estar sujeito a alterações durante o processo de desenvolvimento.

Com base nisso foi utilizado essa placa para a criação do circuito da máquina estrusora, assim como mostra as imagens a seguir:

Figura 26 – Placa ilhada



Fonte: TiggerComp, 2023

A figura 26 mostra a placa ilhada onde se tem os furos para encaixe dos componentes e possibilitando a soldagem dos mesmos.

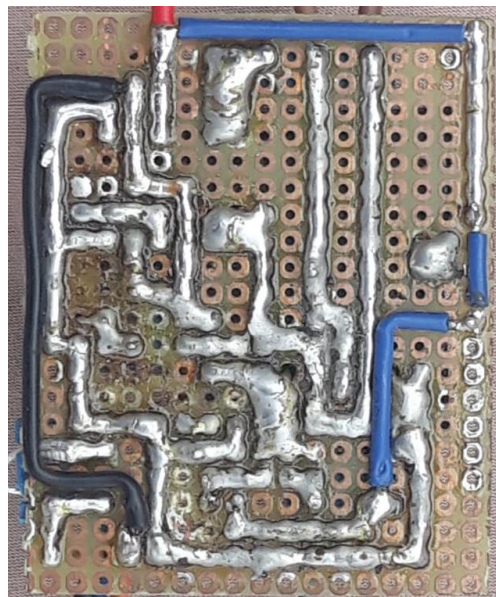
Figura 27 – Componentes montados na placa ilhada



Fonte: Autor, 2023.

Nesta figura 27 mostra os componentes alocados em suas posições de acordo com o melhor designer de conexões a serem feitas. Nessa placa encontra-se o módulo relé, resistor, transistor, regulador de tensão, *led*, optoacoplador, bornes para ligação do sensor de temperatura e acionamento do relé, assim como saída dele para resistência aquecer.

Figura 28 – Trilhas de soldagem



Fonte: Autor, 2023.

A figura 28 mostra a parte de baixo da figura 27, onde as trilhas de soldagem fazem as ligações entre os componentes que foram colocados na placa ilhada. Todas essas ligações desses caminhos foram feitas usando estanho em fio como mostra a figura 29.

Figura 29 – Estanho



Fonte:CCP, 2023.

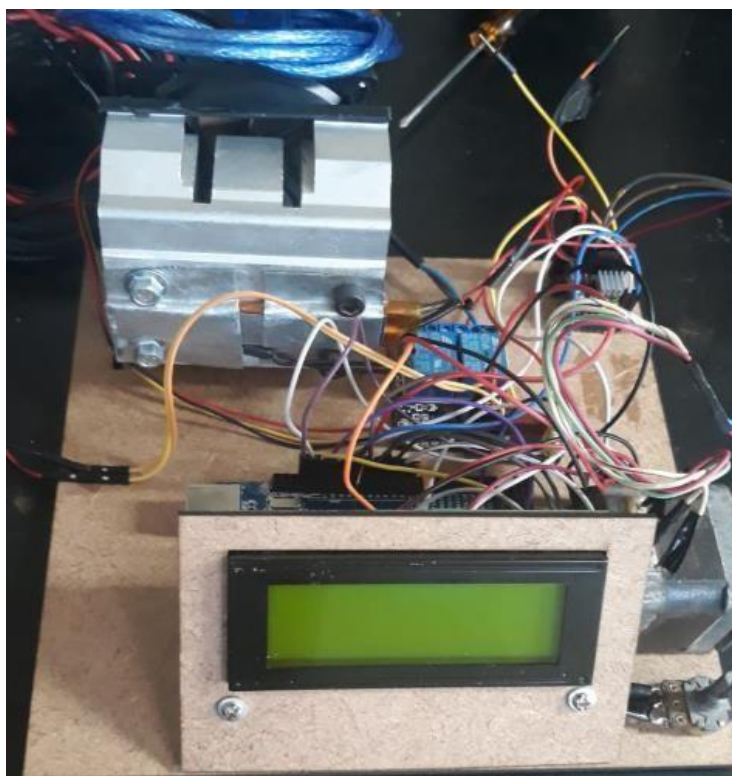
O estanho (Sn) é um elemento químico metálico, bi ou tetravalente, de cor branco-argentêa, maleável, dúctil e macio, que se localiza no grupo 14 e período 5 da Tabela Periódica. Possui número atômico 50 e massa atômica 118,710.

5. RESULTADOS

Durante a etapa inicial do projeto, foram alcançados resultados parciais significativos. Um protótipo simples foi desenvolvido, consistindo em uma resistência e um bloco de alumínio, que simula o bloco aquecedor da extrusora. Além disso, foi realizada a codificação de toda a lógica responsável pelo funcionamento do sistema, e foi implementada no Arduino.

Como resultado dessas implementações, foi possível obter a exibição das informações relevantes na tela do sistema. As informações de temperatura e o processo de aquecimento e acionamento foram adequadamente exibidos, permitindo ao usuário monitorar e controlar esses aspectos essenciais do processo de extrusão de filamento.

Figura 30 – 1º Protótipo – Extrusora



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 30, apresenta-se a montagem do protótipo, onde é possível observar o *display* à frente, o motor de passo ao seu lado, um módulo relé imediatamente atrás, ao lado do *driver* DRV8825, e o bloco aquecedor.

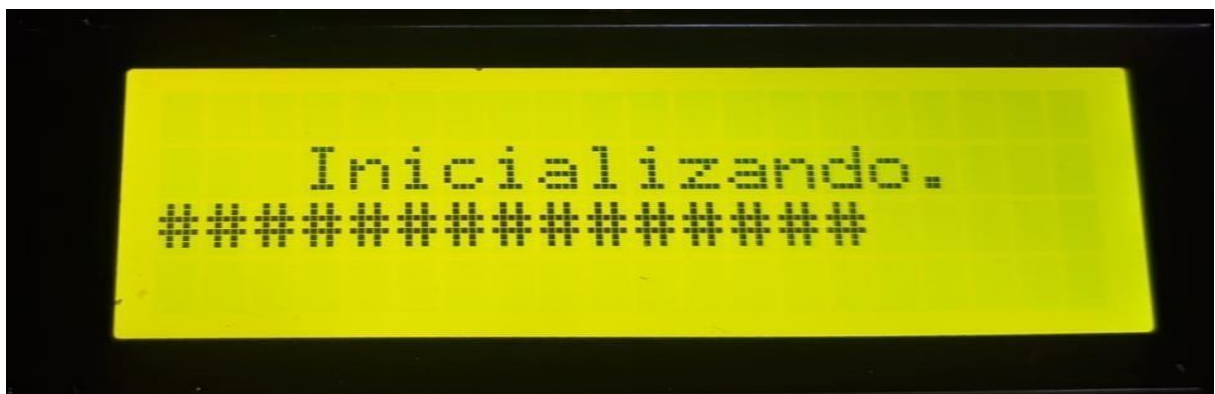
Figura 31 – 1º Protótipo - Simulação - EXT-MV V.1



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 31, apresenta-se a primeira fase da interface do *software* carregado no Arduino, na qual é exibido o nome da extrusora e sua versão.

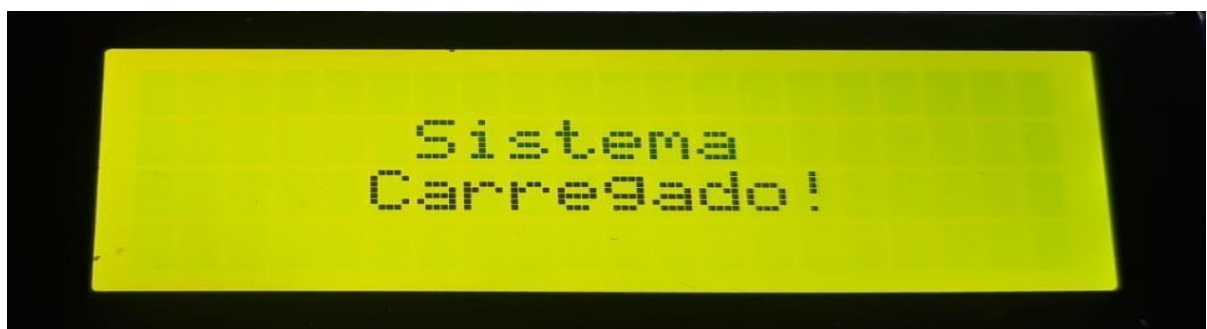
Figura 32 – 1º Protótipo - Simulação - Inicializando



Fonte: Autor, 2023

Na figura 32, apresenta-se a segunda fase da interface do *software* carregado no Arduino, na qual é exibido inicializando.

Figura 33 – 1º Protótipo - Simulação - Sistema Carregado



Fonte: Autor, 2023

Na figura 33, apresenta-se a terceira fase da interface do *software* carregado no Arduino, na qual é exibido sistema carregado.

Figura 34 – 1º Protótipo - Simulação - Status - Aquecendo



Fonte: Autor, 2023.

Na figura 34, apresenta-se a quarta fase da interface do *software* carregado no Arduino, na qual é exibido a temperatura e o status atual que é aquecendo.

Figura 35 – 1º Protótipo - Simulação - Status - Pronto

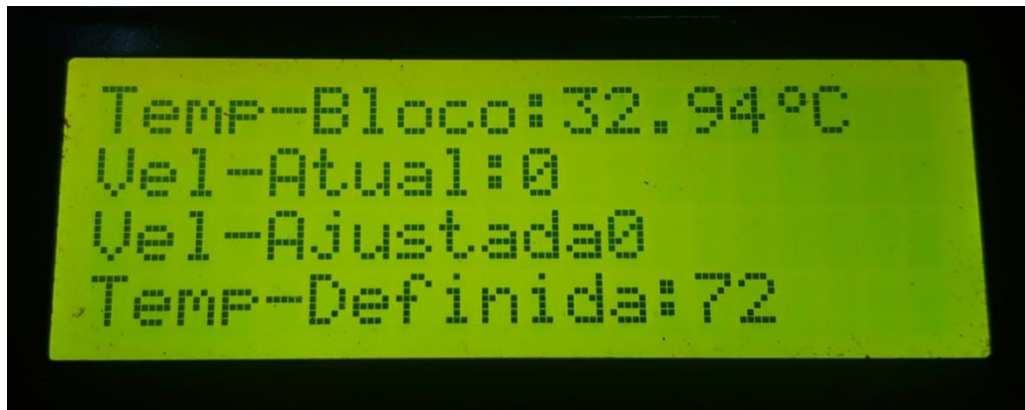


Fonte: Autor, 2023.

Na figura 35, apresenta-se a quinta fase da interface do *software* carregado no Arduino, na qual é exibido a temperatura atingida e o status atual que é pronto.

A conclusão da etapa final do projeto inclui imagens que mostram a construção da máquina extrusora, as quais podem ser visualizadas a seguir. Mesmo com os desafios encontrados, é possível constatar que foi alcançado o desenvolvimento de uma máquina construída e funcional.

Figura 36 – *Display* - versão final



Fonte: Autor, 2023

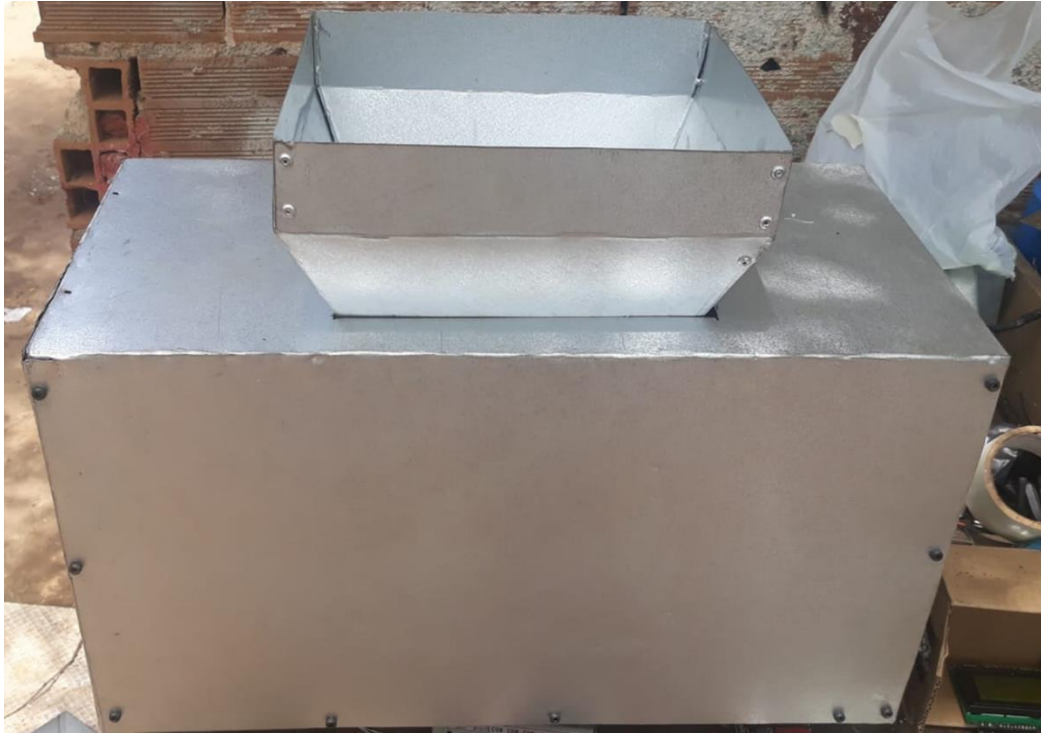
A figura 36, mostra o display com as informações: temperatura do bloco de alumínio do bico, velocidade atual, velocidade ajustada e temperatura definida.

Figura 37 – Vista frontal - Extrusora



Fonte: Autor, 2023

Figura 38 – Vista lateral - Extrusora



Fonte: Autor, 2023

Figura 39 – Rosca sem fim/broca



Fonte: Autor, 2023

Figura 40 – Vista frontal – Bico - Extrusora



Fonte: Autor, 2023

Figura 41 – Produção do filamento



Fonte: Autor, 2023

Figura 42 – Filamento produzido



Fonte: Autor, 2023

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto seguiu uma abordagem metódica, desde a definição do escopo até a implementação prática. O protótipo inicial, composto por uma resistência e um bloco de alumínio simulando o bloco aquecedor, representou um marco nas fases iniciais do desenvolvimento. Adicionalmente, a codificação da lógica no Arduino estabeleceu as bases para um controle eficiente da extrusora.

O primeiro protótipo, conforme evidenciado na Figura 30, exibiu a montagem física dos principais componentes, incluindo o *display*, motor de passo, módulo relé, *driver* DRV8825 e o bloco aquecedor. Essa etapa inicial permitiu a validação da integração física dos dispositivos, proporcionando uma base sólida para a implementação da lógica de controle.

A implementação da lógica no Arduino, conforme detalhado nas Figuras 31 a 35, possibilitou a exibição adequada de informações cruciais na tela do sistema. Foi possível monitorar e controlar com sucesso variáveis essenciais, como temperatura e status de operação. Esses resultados atestam a viabilidade do projeto, servindo como um ponto de partida robusto para as próximas fases.

Para as etapas subsequentes, é necessário avançar na integração com o motor, um elemento fundamental para a funcionalidade completa da extrusora. Além disso, consideram-se aprimoramentos na interface do usuário, visando tornar a interação mais intuitiva e informativa. A realização de testes mais aprofundados foi crucial para garantir que o sistema funcionasse de maneira confiável em diversas condições e cenários, cumprindo as expectativas de desempenho.

É importante salientar que, devido a contratempos nas entregas de peças, a fase final da montagem da máquina não pôde ser concluída com cem por cento de conclusão. Apesar desse desafio adicional, não diminui a confiança na conclusão bem-sucedida do projeto. Esse episódio inesperado destaca áreas para trabalhos futuros e ajustes necessários.

As considerações finais refletem a fase atual, marcada por um protótipo funcional e uma lógica de controle eficaz. Com a continuidade do desenvolvimento, a expectativa é alcançar uma extrusora plenamente operacional, alinhada com os objetivos iniciais. Este percurso, repleto de desafios superados e progresso tangível, reforça o compromisso em buscar inovação e excelência no campo da fabricação de filamentos.

7 REFERÊNCIAS

ABIPLAST. Processo de Transformação para Materiais Plásticos. São Paulo, 2014. Disponível em:

<http://file.abiplast.org.br/download/links/links%202014/apresentacao_sobre_transformacao_vf.pdf>. Acesso em: 25 de junho de 2022.

BARNES, D. K. et al. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, The Royal Society Publishing, v. 364, n. 1526, p. 1985–1998, 2009.

Beck, K. (1999). *Extreme Programming Explained: Embrace Change*. Addison-Wesley Professional.

Brown, A. (2018). *Cartridge Heaters: A Comprehensive Guide*. Elsevier.

Brown, A., Gupta, A., Lau, C. K., & Mitra, S. (2018). Filament-based 3D printing: Process parameters, modeling, and material properties. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 37(4), 1-16.

BRASIL. Instituto Federal de Goiás – Ministério da Educação, 2020. Três unidades são contempladas em edital nacional para implantação de laboratórios IF Maker. Disponível em: <https://www.ifg.edu.br/ultimas-noticias/19744-ifmakerfinal>. Acesso em: 20 junho. 2022

Johnson, R. (2018). *A Beginner's Guide to DRV8825 Stepper Motor Driver*. 3D Universe.

Johnson, R. (2019). *Cartridge Heaters: An In-depth Overview*. 3D Universe.

Johnson, R. (2020a). *Temperature Measurement: A Comprehensive Guide*. 3D Universe.

Johnson, R. (2020b). *Solid State Relays: A Comprehensive Guide*. 3D Universe.

Johnson, R. (2020c). *3D Printing Basics: A Comprehensive Guide to FDM 3D Printing*. 3D Universe.

Johnson, R. (2021). *Stepper Motors: A Comprehensive Guide*. 3D Universe.

Jones, T. (2017). *Solid State Relays: The Ultimate Guide*. 3D Universe.

Li, K. (2017). *Design of High-Performance Microstepping Driver Based on DRV8825*. *Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanical, Electronics and Computer Engineering (CMECE 2017)*.

Li, K. (2018a). *Design and Application of Solid State Relays in Industrial Control Systems*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1095(1), 012039.

Li, K. (2018b). *Design and Application of Stepper Motor Control System Based on Improved Algorithm*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1029(1), 012024.

Li, K. (2021). *Design and Application of Cartridge Heaters in Industrial Heating Systems*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1682(1), 012048.

Martinez, F. J., Asa, J. J., & Salcedo, R. C. (2020). *Review of the Applications of Fused Deposition Modeling in the Field of Medicine*. *Journal of Medical Engineering*, 2020.

Patel, S. (2019). *Solid State Relays: Principles and Applications*. CRC Press.

Print it 3D, 2021. Disponível em: <https://www.printit3d.com.br/>. Acesso em: 20 junho. 2022.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Alagoas: Editora da Universidade Federal de Alagoas, p. 10–11, 2005.

Ramirez, C., Valera, J. F., & Ramos, J. P. (2021). *Optimization of the process parameters in FDM additive manufacturing for high-density polyethylene*. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112(3-4), 981-992.

Raulino, Bruno. *Manufatura Aditiva: Desenvolvimento de uma Máquina de Prototipagem Rápida Baseada na Tecnologia FDM (Modelagem por Fusão e Deposição)* DF 2011.

Smith, T. (2019). *Thermistors: Principles and Applications*. Independently Published.

Sousa, Lídia R. dos S. *Análise Experimental de polímeros recicláveis e biodegradáveis na Manufatura Aditiva*/ Lidia Ruanny dos Santos Sousa Brasília: UnB, 2019. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/22066/1/2019_LidiaRuannydosSantosSousa_tcc.pdf. Acesso em: 20 junho. 2022.

Sutherland, J., & Schwaber, K. (2017). *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*. Scrum.org.

Smith, T. (2020a). *Cartridge Heaters: Principles and Applications*. Independently Published.

Smith, T. (2020b). *Stepper Motors: A Comprehensive Guide*. Independently Published.

Smith, T. (2020c). *Solid State Relays: Principles and Applications*. Independently Published.

Smith, T. (2020d). *Temperature Sensors: Principles and Applications*. Independently Published.

Souza, Luiz Carlos de Almeida. *Desenvolvimento de uma máquina extrusora para reciclagem de plástico*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)—Universidade de Brasília, 2004.

Texas Instruments. (2016). DRV8825 Stepper Motor Controller IC. Datasheet. Disponível em: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/drv8825.pdf>