



Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas  
Bacharelado em Engenharia Mecânica

SUEID PEREIRA DE CARVALHO

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA ROBÓTICO  
PRISMÁTICO PARA IMPRESSÃO DE EDIFICAÇÕES**

Cruz das Almas

2021

**SUEID PEREIRA DE CARVALHO**

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA ROBÓTICO  
PRISMÁTICO PARA IMPRESSÃO DE EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Engenharia Mecânica.

**Orientador:** Prof. Dr. Ivanoé João Rodowanski

Cruz das Almas

2021

**SUEID PEREIRA DE CARVALHO**

**SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA ROBÓTICO  
PRISMÁTICO PARA IMPRESSÃO DE EDIFICAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, como requisito para obtenção do grau de Engenharia Mecânica.

Aprovado em 25 de maio de 2021.



Prof. Dr. Ivanoé João Rodowanski  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Orientador



Prof. Me. Vânio Vicente Santos de Souza  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Avaliador 1



Prof. Esp. Edilberto Andrade Silva  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Avaliador 2

*“Quando algo é importante o suficiente,  
você o faz mesmo que as probabilidades  
não estejam a seu favor.”*

*-Elon Musk*

## AGRADECIMENTOS

Deus tem me ensinado tanta coisa sobre o poder da perseverança, mas principalmente sobre a paciência. Muitos momentos durante a graduação acreditei que não fosse capaz, Ele me mostrou a todo tempo que estava errada e me entregou a força necessária para persistir e concluir. Sou muito grata por todo o processo que precisei viver para compreender o Seu poder na minha vida.

Agradeço aos meus pais, Alice Sueid e Mário, foram as pessoas que sempre confiaram no meu potencial, investiram todo o tempo e trabalho para eu ter o melhor durante a vida inteira. Sem eles eu nunca teria chegado até aqui, obrigada por me ajudarem quando eu mais precisei e por todo amor incondicional. Espero que um dia possa retribuir toda a dedicação.

À Danilo, meu amor, amigo e companheiro, que me apoiou desde o início e me ajudou 100% a concluir essa monografia. Obrigada pela paciência e pelo aprendizado nos últimos tempos e durante esses quatro anos juntos.

Meus amigos da engenharia mecânica, Maiana, Karolayne, Matheus Leão e André, que foram imprescindíveis na minha caminhada, por todo apoio emocional, pelo suporte nos momentos mais difíceis, por compartilhar conhecimento e pela motivação diária. Sem vocês a temporada na engenharia não teria sido a mesma.

Aos meus amigos, Ana Carolina, Neide, Felipe, Henrique, Larissa, Léviton, Ticiania, Luan, Vitor, Maria Clara, Erico, Jose Raymundo, Mateus Brito e nosso querido Neto, em memória, que estiveram comigo durante a graduação, onde dividimos momentos de aprendizado, mas também por todas as aventuras e histórias que tivemos juntos.

À minha tia e madrinha, Maria da Purificação, que incentivou na decisão de escolher a UFRB pra minha vida, apoiou e comemorou todas as minhas conquistas acadêmicas.

À minha tia, Izaí Pereira, agradeço pela força que sempre me deu e pelo suporte constante pra mim e para meus pais. Você foi luz durante todo meu caminho, muito obrigada por tudo.

Gostaria de agradecer também ao meu orientador, Prof. Ivanoé João Rodowanski, pelo incentivo na escolha do tema, pela disponibilidade e pelo acompanhamento no período de realização deste trabalho.

CARVALHO, Sueid Pereira de. Simulação de um sistema robótico prismático para impressão de edificações. 46 páginas. 2021. Trabalho de Conclusão do Curso do Bacharelado em Engenharia Mecânica, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2021.

## RESUMO

A impressão tridimensional trata-se de um processo de fabricação em que o material sobrepõe-se camada por camada a partir de um modelo digital desenvolvido no computador. A sua aplicabilidade no mercado vem crescendo exponencialmente em diversas áreas, inclusive no setor da indústria da construção. Com diversas vantagens em termos de produtividade e sustentabilidade, a tecnologia da impressão 3D para edificações vem aos poucos conquistando o espaço como uma nova forma de produção. Por este motivo, o estudo realizado no âmbito desta monografia tem como objetivo apresentar a possibilidade de simular o funcionamento de uma impressora que faça a trajetória necessária, deposite o material e deposite camadas formando um trecho simples de parede. Para isso, foram efetuados testes em alguns softwares. Após esse procedimento, foi extraído o código G para ser implantado em uma plataforma de prototipagem eletrônica tornando possível visualizar a movimentação dos eixos. No decorrer do trabalho, observou-se que, para realizar a simulação da extrusão do material, seria necessário a aquisição de licenças de softwares específicos, responsáveis por esse tipo de simulação, tornando-a inviável devido a não disponibilidade de recurso para tal. Então, de maneira alternativa, direcionou-se às pesquisas em simular a realização da trajetória que seria executada pela impressora 3D, de forma que fosse possível extrair o código G. Esse procedimento foi realizado em uma máquina CNC virtual, para a obtenção do código G. Depois foi necessário simular o sistema eletrônico de controle baseado na plataforma Arduino, no qual foi realizado o controle da execução dos movimentos, a partir dos comandos em código G, dessa maneira, foi possível realizar em ambiente virtual a simulação da movimentação dos eixos. Com base nas simulações realizadas, observou-se que, já é viável aplicá-la em um modelo real e estudar o seu comportamento. Adicionalmente, este trabalho servirá como base para projetos futuros de investigação na área da automação e para o desenvolvimento dessa tecnologia.

**Palavras-chave:** impressora; construção civil; cnc; simulação; código g.

## ABSTRACT

Three-dimensional printing is a manufacturing process in which the material is superimposed layer by layer from a digital model developed on the computer. Its applicability in the market has been growing exponentially in several areas, including the construction industry sector. With several advantages in terms of productivity and sustainability, 3D printing technology for buildings is gradually conquering space as a new form of production. For this reason, the study carried out in the scope of this monograph aims to present the possibility of simulating the operation of a printer that makes the necessary trajectory, deposits the material and deposits layers forming a simple section of the wall. For this, tests were carried out on some software. After this procedure, the G code was extracted to be implanted in an electronic prototyping platform, making it possible to visualize the movement of the axes. In the course of the work, it was observed that, in order to perform the material extrusion simulation, it would be necessary to acquire specific software licenses, responsible for this type of simulation, making it unfeasible due to the lack of resources for such. So, alternatively, research was directed at simulating the trajectory that would be executed by the 3D printer, so that it would be possible to extract the G code. This procedure was performed in a virtual CNC machine, to obtain the G code. Afterwards, it was necessary to simulate the electronic control system based on the Arduino platform, in which the control of the execution of the movements was carried out, from the commands in G code, in this way, it was possible to perform in a virtual environment the simulation of the movement of the axes. Based on the simulations carried out, it was observed that it is already feasible to apply it to a real model and study its behavior. Additionally, this work will serve as a basis for future research projects in the field of automation and for the development of this technology.

**Keywords:** printer; construction; cnc; simulation; g code.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1.** Fluxograma da metodologia.....Pág.20
- Figura 2.** (A) Modelagem simples da impressora prismática; (B) Modelagem geométrica completa da impressora prismática.....Pág.21
- Figura 3.** Área útil demarcada para evitar colisões no modelo da impressora tridimensional.....Pág.21
- Figura 4.** Vista isométrica para notar-se a área útil e a área limitada.....Pág.22
- Figura 5.** Vista em planta da impressora tridimensional em um trecho genérico de parede.....Pág.22
- Figura 6.** Dimensionamento do segmento de parede em função dos limites de movimento da máquina.....Pág.23
- Figura 7.** Sistemas complexos para simular o comportamento das funções.....Pág.24
- Figura 8.** (A) Instalação realizada sem os módulos necessários; (B) Módulos de instalação necessários para o pleno funcionamento da simulação..... Pág.25
- Figura 9.** Segmento de parede utilizado.....Pág.26
- Figura 10.** Máquina virtual *Dekstop Router* utilizada para a simulação da trajetória.....Pág.27
- Figura 11.** Dimensões aplicadas na CNC virtual.....Pág.28
- Figura 12.** Importando o arquivo .DXF para o CNCSimulation Pro..... Pág.28

<b>Figura 13.</b> Desenho da trajetória importada do SolidWorks para o CNC Simulator Pro.....	Pág.29
<b>Figura 14.</b> Realização da simulação da trajetória através do CNC Simulator Pro.....	Pág.30
<b>Figura 15.</b> Máquina CNC virtual realizando a simulação da trajetória.....	Pág.30
<b>Figura 16.</b> Resultado da Simulação através do CNC Simulator Pro.....	Pág.31
<b>Figura 17.</b> Driver A4988.....	Pág.32
<b>Figura 18.</b> (A) Circuito com conexões entre os drivers e o Arduino; (B) Circuito simplificado utilizando a <i>CNC Shield</i> .....	Pág.33
<b>Figura 19.</b> Diagrama do driver A4998.....	Pág.34
<b>Figura 20.</b> (A) Driver A4988 virtual; (B) Circuito interno do driver.....	Pág.34
<b>Figura 21.</b> Circuito montado com Arduino, drivers e motores.....	Pág.35
<b>Figura 22.</b> Simulação da trajetória realizada pela máquina CNC virtual.....	Pág.36
<b>Figura 23.</b> Software Universal G Code Sender realizando a importação do código G extraído pelo CNC Simulator Pro.....	Pág.37
<b>Figura 24.</b> Software VSPE, Virtual Serial Ports Emulator conectando no Universal G Code Sender e Proteus.....	Pág.38

**Figura 25.** Resultado final da simulação da movimentação de cada eixo, extraído através do código G.....Pág. 38

## **LISTA DE SIGLAS**

**3D** – Três dimensões

**CNC** – Computer Numeric Control – Controlo Numérico Computadorizado

**CAM** – Manufatura assistida por computador

**CAD** – Computer Aided Design – Design Assistido por Computador

**DXF** – Drawing Exchange Format – Formato de Troca de Desenho

**mm** – Milímetro

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

## SUMÁRIO

<b>1.INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1 MOTIVAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 OBJETIVO GERAL	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
<b>3. METODOLOGIA E APLICAÇÃO</b>	<b>19</b>
3.1 MODELAGEM DA ESTRUTURA	20
3.2 SIMULAÇÃO UTILIZANDO O MATLAB	23
3.3 SIMULAÇÃO UTILIZANDO LABVIEW	25
3.4 SIMULAÇÃO COM CNC VIRTUAL	26
3.5 IMPLANTAÇÃO DO CÓDIGO G NO ARDUINO VIRTUAL	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>35</b>
<b>5. CONCLUSÃO</b>	<b>39</b>
5.1 RECOMENDAÇÕES SOBRE TRABALHOS FUTUROS	40
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>41</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b>45</b>

# 1.INTRODUÇÃO

## 1.1 MOTIVAÇÃO

Com o desenvolvimento contínuo do mundo e o crescimento da população aumenta a busca por alternativas mais rápidas e eficientes na construção civil. Ainda que o campo seja considerado um dos mais atrasados em relação ao avanço tecnológico de automação, por não acompanhar o ritmo de outras áreas e para a execução de obras ainda ser necessário mão de obra braçal, de acordo com FARIAS (2013), no Brasil a construção civil ainda é marcada por utilizar técnicas consideradas artesanais e com enormes desperdícios.

Em obras existem desperdícios ligados a recursos, tempo e em retrabalho, todos gerados por erros de projetos, qualidade insuficiente no processo, falta de controle técnico, treinamento e análises de risco.

Assim a impressão 3D surge para revolucionar este campo, para melhorar alguns dos problemas que envolvem a construção civil. A impressora 3D para edificações é responsável pela parte estrutural, é feita de forma automatizada e com maior precisão, reduzindo as falhas e custos do projeto (GARDNER, et al, 2013). Além das questões ambientais envolvidas, prometendo reduzir expressivamente os desperdícios de materiais e energia durante o processo. Outro fator vantajoso é que não há excesso de ruídos, poeira, emissão de resíduos e de substâncias prejudiciais. (MENEZES, 2020)

Segundo PORTO (2016), a indústria da construção também é conhecida por ser uma das mais perigosas do mundo, com demasiados acidentes de trabalho e o que mais uma vez justifica a utilização da impressora, oferecendo maior segurança para os trabalhadores envolvidos já que trata-se de um processo automatizado com maior controle do processo produtivo.

Ainda que seja uma tecnologia interessante para o setor, existem diversas implicações voltadas ao uso da impressão 3D em edificações, principalmente por tratar-se de um investimento de alto custo e que ainda está em estudo, o que dificulta a popularidade e alta adesão no mercado.

No presente trabalho, pretende-se definir e simular a parte computacional e eletrônica em um protótipo de impressora 3D para construção civil. Para que possibilite

a implementação futura de um projeto em estudo no Laboratório de Automação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

A parte eletrônica foi definida em ambiente virtual, e foi realizada a simulação de hardware e software responsáveis por controlar os movimentos da impressão base de um segmento de parede.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Como o tema trata de um campo de estudo relativamente novo, este trabalho tem como objetivo colaborar com o desenvolvimento da pesquisa em automação e contribuir com um trabalho de investigação centrado na impressão 3D na área da construção civil na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Na monografia foram feitos testes com a simulação de impressão 3D de um trecho simples de parede, para a aquisição de dados e agregar no desenvolvimento já efetuado nessa área de estudo.

Com os resultados obtidos, essa pesquisa poderá proporcionar avanços em projetos futuros e conhecimento para a comunidade acadêmica em geral.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

O primeiro objetivo específico é estudar a viabilidade da impressão de um trecho simples de parede utilizando simulação em softwares. Mostrar quais metodologias apresentam resultados positivos e negativos, apontar quais foram as principais dificuldades encontradas nessa pesquisa e os desafios que precisam ser superados para o sucesso de um protótipo em escala real.

O segundo objetivo fundamental para este trabalho é desenvolver uma rotina CNC, gerar o código G, extraí-lo e implementá-lo em plataformas virtuais para verificar o funcionamento dos motores de passo da máquina de impressão.

O terceiro objetivo específico é analisar o comportamento do sistema sem a necessidade de intervenção no modelo real, investigar o procedimento, fazer as conclusões e utilizar as informações para prever comportamentos futuros.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

A monografia está organizada e dividida nos seguintes capítulos:

1. Introdução;
2. Revisão Bibliográfica;
3. Metodologia Aplicada;
4. Resultados e Discussão;
5. Conclusão.

O primeiro capítulo apresenta a motivação para a realização deste trabalho, aborda sobre os objetivos e a sua estrutura.

O segundo capítulo é a contextualização sobre o tema, explicando sobre a impressão 3D de maneira geral, quais são suas aplicações e vantagens na área da construção civil. Além de descrever sobre as metodologias que foram usadas e que foram utilizadas como parâmetros no estudo deste trabalho.

O terceiro capítulo relata qual foi o método utilizado para a realização da dissertação, quais os materiais e as peculiaridades referentes ao procedimento.

No quarto capítulo aborda sobre os resultados encontrados durante o tempo em estudo sobre o tema, com uma explicação detalhada sobre todas as metodologias utilizadas e os testes que foram feitos em alguns programas. Também estão relatadas as dificuldades encontradas durante o processo de realização do trabalho e quais foram os potenciais objetos de estudo para o sucesso da pesquisa.

No quinto e último capítulo retrata as considerações finais sobre o trabalho e sugestões para projetos futuros.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A impressão tridimensional é uma tecnologia que transforma os projetos digitais em objetos que são tangíveis, ocorre através de um processo de fabricação aditivo em que a máquina é controlada por um computador e através do depósito de camadas acumuladas por um determinado material, estas sobrepõem-se até formar o modelo desejado. (DICOMP, 2018)

Apesar da impressão 3D estar em expansão nesse momento, ela surgiu em 1984 e foi inventada pelo engenheiro norte-americano, Chuck Hull, que na época utilizava o processo de estereolitografia. Uma impressão tridimensional ocasionada pela produção de camada por camada feita através de processos fotoquímicos, a partir de que a luz contribuía para que os monômeros e oligômeros químicos se cruzassem para formar os polímeros. (FLORÊNCIO et al., 2016)

Atualmente, a tecnologia da impressão 3D é utilizada em diversos âmbitos, com aplicação em design de produtos, eletrônicos, na medicina, no setor aeroespacial e na área da engenharia civil, principalmente pelas suas potencialidades (LOPES, 2016). No contexto da construção civil, essa tecnologia traz benefícios significativos e tem o propósito de reduzir o tempo de realização do projeto, na economia de materiais e redução de acidentes devido a sua automatização, além de questões ligadas à sustentabilidade com uma menor taxa de desperdício (PORTO, 2016). Apesar de a evolução tecnológica nessa área ser um pouco mais lenta que em outros setores, a impressão 3D na construção indica que será uma revolução nesse mercado, afirma o estudo desenvolvido por Romain de Laubier, Seven Withöft e Christoph Rothballer, os executivos do The Boston Consulting Group (BCG). (CELERE, 2018).

Em países desenvolvidos como Emirados Árabes e Estados Unidos esse cenário já é uma realidade, segundo uma pesquisa americana no setor da SmarTech, a indústria da construção impressa em 3D saltará para 40 bilhões de dólares até 2027 (ENGETAX, 2019). No Brasil, nas construções de edificações ainda existem fatores limitantes, como a necessidade de alto investimento na tecnologia, entretanto muitas empresas utilizam a impressão 3D para a prototipagem, isto é, a criação de maquetes para projetos na construção civil. (UNIVERSIDADE TRISUL, 2020)

Um dos maiores desafios para expandir o mercado da impressão 3D no setor civil é a necessidade de alto investimento, por tratar-se de uma inovação tecnológica e

ainda em estudo, a implantação de uma impressora 3D em um canteiro de obra pode ser avaliada entre quinhentos mil a dois milhões de dólares (AUTODOC, 2019). Além de questões burocráticas como a regulamentação específica para o uso dessa tecnologia e fatores que ainda são obstáculos, como a altura das edificações. De fato, essas restrições não devem permanecer por muito tempo, já que o mercado da impressão 3D está em desenvolvimento no mundo inteiro, as pesquisas e aplicações nessa área vem produzindo resultados favoráveis em diversos aspectos do processo e possui um verdadeiro potencial econômico, social e ambiental. (PACHECO, 2017)

Um dos maiores desenvolvedores de estudo dessa tecnologia é o projeto *Contour Crafting*, que tem como líder o professor Behrokh Khoshnevis, da Universidade do Sul da Califórnia, nos Estados Unidos. Seus estudos demonstram que existe a capacidade de imprimir uma casa em até 20 horas e já vem sendo desenvolvido casas até para solo lunar, com a parceria da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). (FLORÊNCIO et al., 2016)

O método utilizado para imprimir utilizando o concreto é análogo ao que a impressora 3D faz usando o polímero. Primeiro, é necessário ter o modelo 3D desejado em um software de modelagem tridimensional, e logo depois, transformar para camadas através de um software “fatiador”, onde será determinado a quantidade dessas camadas e a espessura para o modelo. Essa informação é enviada para a impressora 3D, que será responsável por ler e interpretar o código G que foi gerado pelo fatiador, e a partir disso segue na construção das camadas. (FLORÊNCIO et al., 2016)

Na impressão 3D para edificações tem o funcionamento através do processo de extrusão de material, no qual utiliza-se a tecnologia de modelagem por deposição. Dessa forma, o filamento que é acoplado na bobina alimenta o bocal de extrusão do material, onde é possível controlar o fluxo depositado. Enquanto isso, o bocal é aquecido de maneira que derreta o material e este é movimentado no espaço por meio do controle numérico computadorizado, que faz a comunicação direta com o software de manufatura assistida por computador (CAM). Assim, a parede é produzida com a extrusão do material fundido, que forma as camadas necessárias para a sua construção. (LOPES, 2017)

Através das máquinas controladas por um computador, e conhecida como Manufatura Assistida por Computador, em inglês, *Computer Aided Manufacturing* (CAM) em associação com o Desenho Assistido por Computador, em inglês, *Computer Aided Design* (CAD) que é basicamente o software que contém o modelo digital

tridimensional e então é implementado o Código G a fim de gerar o percurso para a produção do protótipo. (SILVA, 2019)

O código G implementado é uma linguagem padronizada para sistemas de comando numérico computadorizados. É responsável por instruir a máquina qual sequência realizar de acordo com a tarefa desejada, o programa então executa linha por linha até o final do código. (POLI NÁUTICO, 2020)

A intenção de realizar a simulação da impressora 3D para edificações, é analisar a viabilidade do projeto, o comportamento antes da sua construção efetiva, poder realizar interferências sobre os sistemas sem a necessidade de afetar o modelo real, investigar todo o procedimento, fazer as conclusões e utilizar as informações para prever comportamentos futuros. Além de evitar perder tempo e dinheiro na construção do projeto real.

Para o presente estudo pretende-se simular uma máquina de impressão 3D, que seja capaz de produzir um segmento de parede, e para isto, serão utilizados algumas metodologias como objeto de estudo. A intenção é usar um software CAD simulador, o SolidWorks, testá-lo em conjunto com outros programas, modelar a base do segmento de parede e gerar a programação do código G.

Um dos softwares utilizados em teste foi o Matlab, um software orientado para o cálculo numérico, que permite a resolução de problemas no âmbito científico e possui diversas extensões que o torna uma ferramenta poderosa em diversas áreas do conhecimento, como inteligência artificial, análise de elementos finitos e até o aperfeiçoamento de sistemas em tempo real (SALVADOR, 2017). Serão realizados testes com o Matlab para adquirir a trajetória que será feita pela impressora 3D, após isso, será necessário explorar a extensão do Matlab para interpretar e gerar um código G.

O segundo programa implementado neste estudo é o LabVIEW, um software de linguagem de programação gráfica que pertence à National Instruments. Assim como dito anteriormente, serão realizados testes para obter a simulação da impressão 3D em uma parede simples.

O terceiro software usado foi o CNC Simulator Pro, um programa de simulação CNC 3D, onde foi utilizado uma máquina similar para gerar a trajetória e ser possível extrair o código G. Após esse processo, a parte eletrônica será configurada e programada para usar o código fonte através do programa Proteus Design Suite, um

software para criar projetos de circuitos integrados, onde poderá ser visto a movimentação dos motores para cada eixo.

Para fazer a programação da parte eletrônica ainda é importante utilizar mais dois programas respectivamente: o Virtual Serial Ports Emulator (VSPE), é um software que replica portas seriais virtuais e que são criadas para ser compatíveis com os sistemas operacionais (ELTIMA'S KNOWLEDGE BASE, 2020) e o Universal G Code Sender, como importador do código G e transformar em linguagens de programação, como GRBL.

Assim, nesta pesquisa será possível estudar a viabilidade da impressora 3D para edificações, como também ter parâmetros dos possíveis erros e melhorias que deverão ser implementados no protótipo real. É importante ressaltar a relevância desse projeto na comunidade acadêmica para o desenvolvimento da tecnologia na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, localizada em Cruz das Almas, Bahia, através de projetos futuros e para a aplicação em diversas áreas do conhecimento.

### **3. METODOLOGIA E APLICAÇÃO**

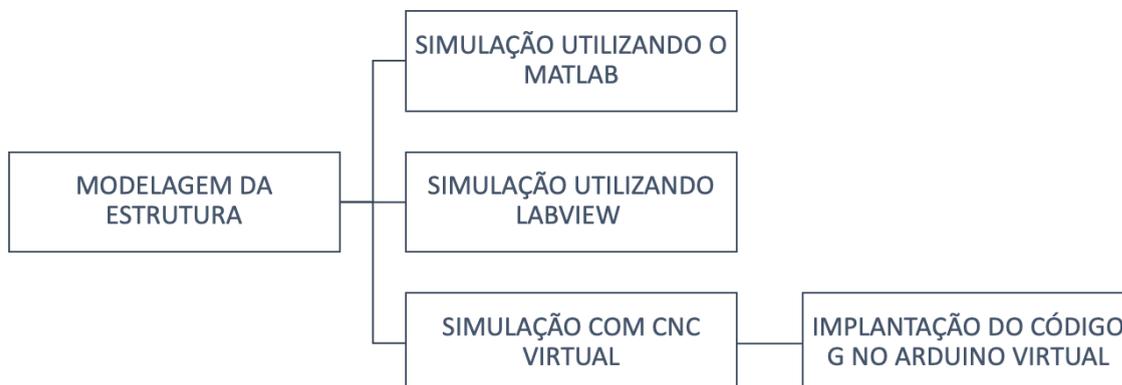
Inicialmente, foi coletado o máximo de informações relevantes para o presente estudo e quais as tecnologias seriam empregadas para o desenvolvimento do trabalho. Após revisão bibliográfica através de monografias, dissertações, sites e mídias eletrônicas referente a simulação de impressão 3D para edificações, encontrou-se a possibilidade de executar uma simulação da impressora através de softwares de computação gráfica. Assim, houve o período de contextualização para compreender os softwares e a melhor possibilidade para que se adequasse às necessidades dessa pesquisa.

O primeiro programa utilizado, para desenvolvimento dos desenhos foi o SolidWorks, que permitiu modelar geometricamente a impressora 3D e realizar o estudo de movimentação dos eixos.

Neste trabalho foram utilizadas três diferentes metodologias para a realização da simulação da impressão de um trecho simples de parede, com alguns testes de usabilidade e eficiência em diversos softwares para a realização do projeto. A primeira metodologia foi utilizar o Matlab, a segunda metodologia usada foi através do LabVIEW Student Software Suite e a última metodologia aplicada foi com o

CNC Simulator Pro. Abaixo pode-se verificar o fluxograma da metodologia utilizada no trabalho, Figura 1.

**Figura 1.** Fluxograma da metodologia.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Também foi possível gerar e extrair o código G com a simulação do movimento da trajetória da máquina. Após extrair este código, foi implantado no programa Proteus Design Suite, para demonstrar como seria a movimentação dos motores para cada eixo, deixando o código fonte pronto para testes em trabalhos futuros com a parte eletrônica.

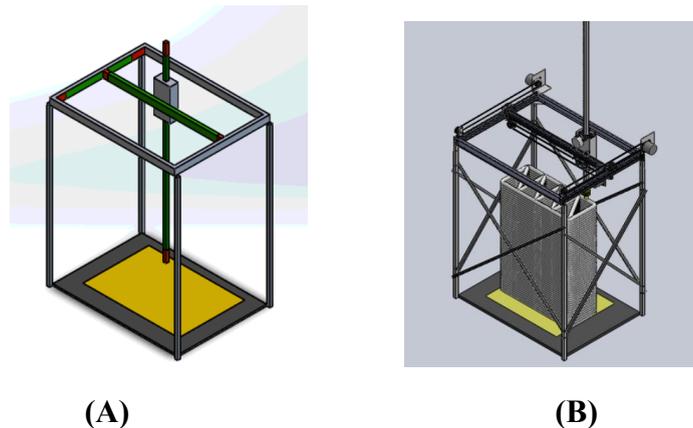
Para acesso dos softwares foram utilizadas licenças gratuitas e com acesso para estudantes através do Instituto Politécnico de Bragança, local onde foi realizada a pesquisa.

A seguir foram apresentados as metodologias utilizadas para a realização do presente trabalho.

### **3.1 MODELAGEM DA ESTRUTURA**

Na etapa inicial, foi realizado o desenho da impressora prismática em um software CAD 3D, o SolidWorks, onde foi possível modelar uma estrutura mecânica simples, como visto na Figura 1 (A). Criar um modelo simplificado justifica-se porque o modelo virtual completo, Figura 1 (B), tem muitas peças de geometria complexas, assim criou-se um para visualização de medidas e dos movimentos dos eixos, além de facilitar a tentativa de importar um modelo para outros softwares. Na Figura 2, é possível comparar a estrutura entre os dois modelos.

**Figura 2.** (A) Modelagem simples da impressora prismática; (B) Modelagem geométrica completa da impressora prismática

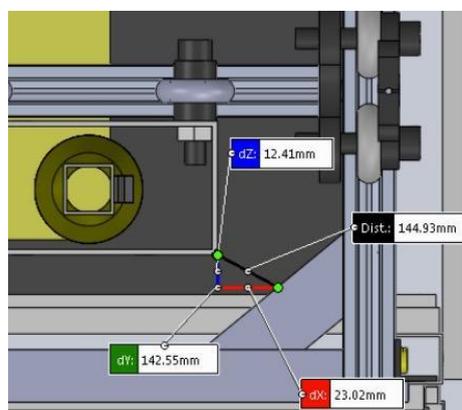


**Fonte:** (A) Autoria própria (2021); (B) Autoria própria (2021).

Um dos fatores observados no processo de modelagem, é que para implementar a movimentação seria necessário delimitar a área útil de impressão, uma vez que não teria uma geometria simétrica e o carro móvel restringiria o avanço em X, na direção em que está posicionado. Na Figura 1 (A), utilizou-se diferentes cores com faixas indicativas da área útil para os deslocamentos nos eixos X, Y e Z, para evitar colisões com a estrutura metálica. A cor verde representa a área na qual o eixo pode se deslocar e a parte vermelha é a qual ele fica com movimentos limitados pelo curso máximo admissível dos eixos.

A fim de facilitar a visualização de área útil e movimentos nos eixos, foi construído uma base de impressão meramente expositiva, na qual a partir de uma vista superior foi traçado o perímetro da área útil em comparação a área total disponível, Figura 3.

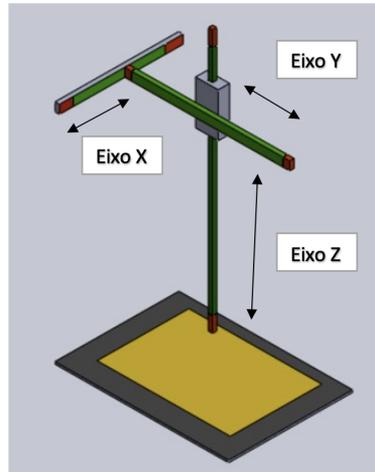
**Figura 3.** Definição dos limites laterais para a área útil.



**Fonte:** Autoria própria (2021).

Na Figura 4, pode-se perceber no modelo simplificado, a vista isométrica com a demarcação da área útil de impressão em comparação com a área total disponível.

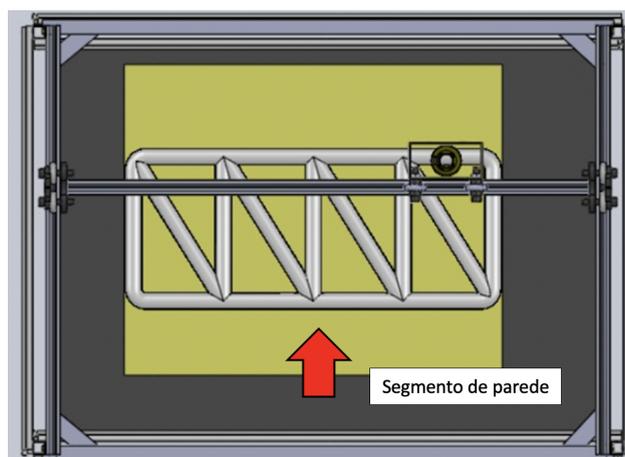
**Figura 4.** Vista isométrica da área útil e a área limitada.



**Fonte:** Aatoria Própria (2021).

A principal intenção da impressora prismática é a injeção do material e a simulação do movimento necessário para realizar um trecho simples de parede. A partir disso, obter o código G e implementar no Arduino Virtual para demonstrar como seria a movimentação dos motores que transmitem o movimento para cada eixo. Na Figura 5, é mostrada a impressora através da vista superior e como seria realizada a impressão do trecho simples de parede.

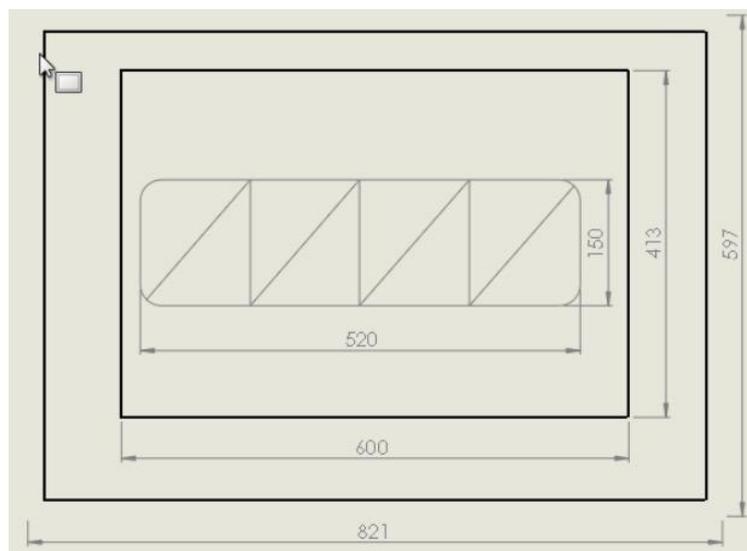
**Figura 5.** Vista em planta da impressora em um trecho genérico de parede.



**Fonte:** Aatoria própria (2021).

Outro fator importante levado em consideração no desenvolvimento da simulação foi a parametrização da parede modelada. Para isso foi imprescindível recolher as informações referente a dimensão dos desenhos da impressora completa. Na Figura 6, é possível verificar os valores referentes às dimensões aplicadas a área total (821x597) mm, a área disponível para impressão (600x413) mm, e a área do segmento de parede (520x150) mm .

**Figura 6.** Dimensionamento do segmento de parede em função dos limites de movimento da máquina.



**Fonte:** Autoria própria (2021).

Após as definições geométricas da impressora e do segmento de parede, partiu-se então para a utilização do software responsável por estabelecer a conexão entre os programas e realizar a simulação da impressão de um trecho simples de parede.

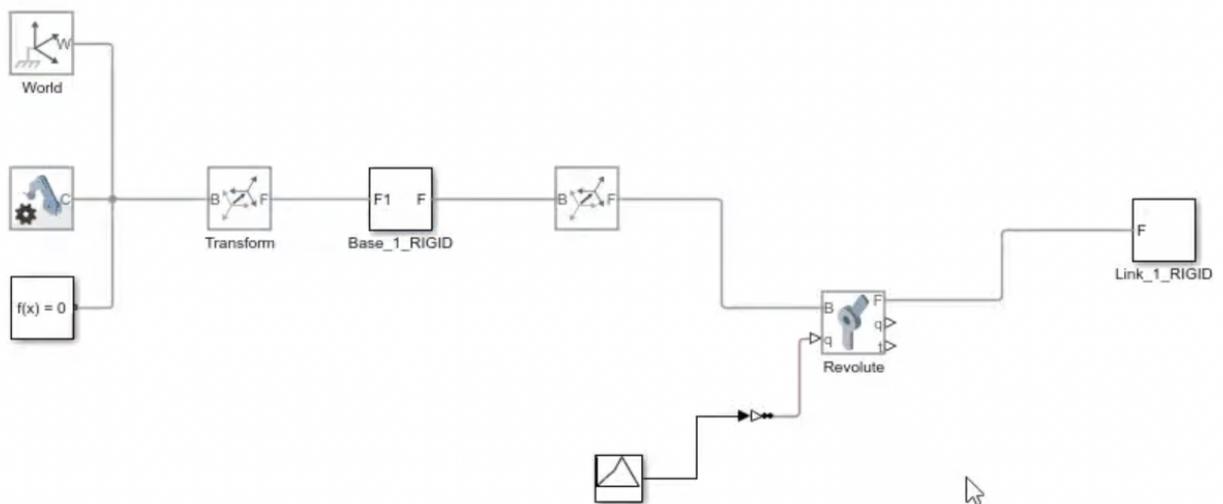
### 3.2 SIMULAÇÃO UTILIZANDO O MATLAB

O primeiro teste foi realizado com o MATLAB 2019, um software interativo voltado ao cálculo numérico para análise e visualização de dados. Com o objetivo de utilizar a aplicação da extensão Simscape Multibody para importar o modelo geométrico realizado no SolidWorks (PARKER, 2016). Assim, foi possível executar a instalação, associar ambos os softwares e realizar a importação do modelo

tridimensional da impressora (LATAMECATRÓNICA, 2019), entretanto durante a sua programação começou a aparecer problemas no comportamento das funções para as simulações, executava-se um sistema com muitos erros de linguagem, o que impossibilitava a simulação. Verificou-se também que o Matlab não era capaz de gerar o código G, o que mostrou-se um recurso limitante já que era necessário o código G no projeto.

Por tratar-se de sistemas complexos para sua programação, seria mais interessante sua implementação para movimentos pendulares, oscilatórios e para estudos desses movimentos, como o realizado por Chávez (2020), ele utiliza o Matlab para simular o movimento do pêndulo. Na Figura 7, é possível analisar o modelo do diagrama de blocos aplicado para realizar a simulação no caso de um pêndulo. Depois de algumas tentativas sem resultados, voltou-se à parte de pesquisa em busca de uma nova solução.

**Figura 7.** Sistemas complexos para simular o comportamento das funções.



**Fonte:** Chávez (2020).

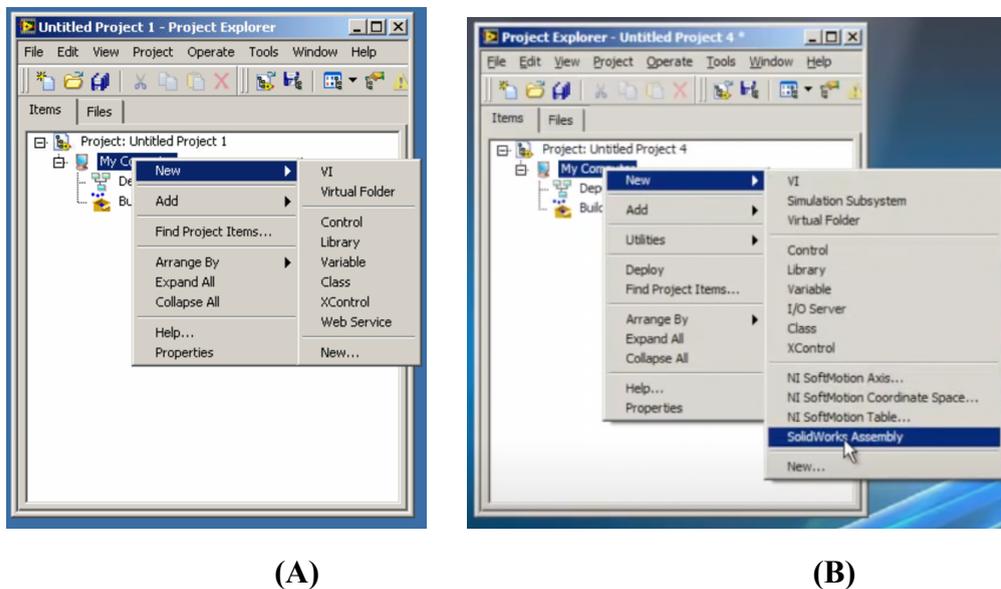
Em certo momento, foi encontrado alguns materiais em meio eletrônico com propostas de trabalhos similares e demonstrações de que um novo software seria eficiente para o projeto. Portanto, foi decidido utilizar outro software com melhor usabilidade para realizar as simulações.

### 3.3 SIMULAÇÃO UTILIZANDO LABVIEW

A segunda metodologia utilizada foi vincular o software de modelação geométrica com o LabVIEW Student Software Suite, sendo o software mais adequado para a realizar as simulações já que tratava-se de um software de automação de sistemas e seus módulos permitiam que integrasse com outras plataformas. (EDWARD, 2015)

Entretanto depois de diversas tentativas, durante a instalação e uso do programa, percebeu-se que a National Instruments, empresa responsável pelo LabView, retirou alguns módulos gratuitos para a instalação, tanto nas versões antigas quanto nas recentes, o que impossibilitou que fosse realizado a integração com o software de modelação geométrica. Na Figura 8 abaixo, pode-se analisar que faltam as extensões para que obtivesse sucesso na modelação Figura 8 (A), enquanto no tutorial apresenta todos os módulos necessários, Figura 8 (B).

**Figura 8.** (A) Instalação realizada sem os módulos necessários; (B) Módulos de instalação necessários para o pleno funcionamento da simulação.



**Fonte:** (A) Autoria própria (2021); (B) Guarnizo (2012).

### 3.4 SIMULAÇÃO COM CNC VIRTUAL

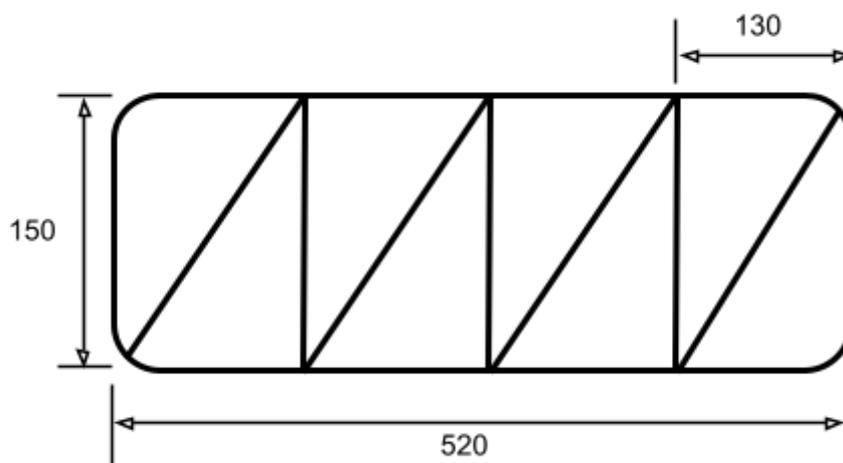
A terceira metodologia aplicada foi simular o projeto diretamente de um software de CNC virtual, sem ser necessário a importação da impressora já modelada. Então, buscou-se por esse método e foi decidido utilizar o sistema de simulação CNC 3D com o programa CNC Simulator Pro.

Após algumas tentativas, não foi possível realizar a simulação de eixos por meio da importação da impressora simplificada em um software de controle numérico, a solução foi buscar para extração do código G um software com modelo de CNC prismática similar. Sendo assim possível utilizar a impressora simplificada para definição de área útil para a impressão e importar a geometria do segmento de parede para gerar o código G com base nas dimensões encontradas na impressora simplificada.

O principal fator em utilizar este software foi a extração do código G com a trajetória que precisaria ser realizada para implantar em uma máquina real. Com o modelo virtual da impressora sendo capaz de realizar os movimentos de impressão foi possível a extração do código G que apresenta as coordenadas cartesianas necessárias para impressão. A partir desse código é possível criar uma programação a ser aplicada em uma placa controladora que enviará as coordenadas aos motores de cada eixo.

Na Figura 9, pode-se visualizar as linhas de centro do segmento de parede que foi criado e no qual a CNC virtual irá criar a trajetória.

**Figura 9.** Segmento de parede utilizado.

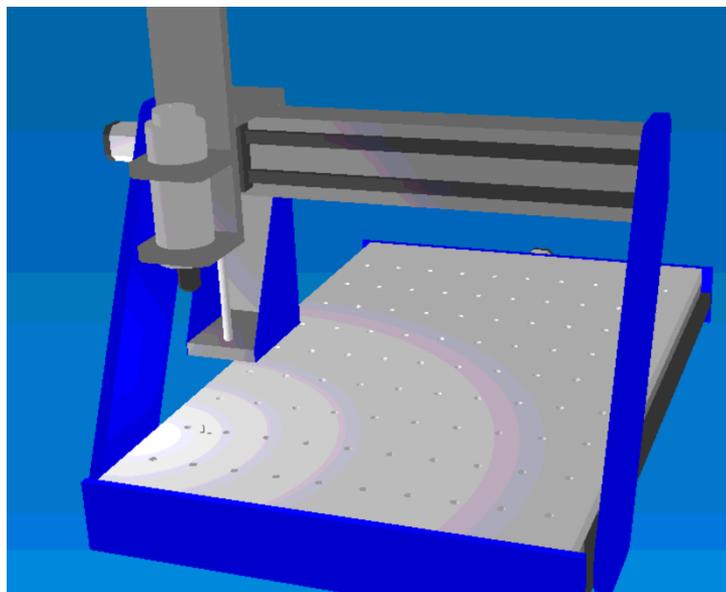


**Fonte:** Autoria Própria (2021).

O passo seguinte foi escolher dentro do software CNC Simulator Pro a máquina CNC mais próxima do desejado. Assim foram realizados testes com diversas máquinas da biblioteca para encontrar a mais adequada e que se aproximasse do modelo. Existem outros modelos de impressoras, onde a movimentação cartesiana é feita entre distintas formas entre a movimentação da base e do extrusor fixo. Neste caso específico, a impressora prismática conta com movimentação cartesiana independente dos três eixos.

Usando o CNC Simulator Pro para gerar o código G, das impressoras disponíveis foi utilizado a impressora *Desktop Router* devido a semelhança entre os eixos para a movimentação do código G. Na Figura 10, é mostrada a máquina *Desktop Router*, disponível na biblioteca do programa.

**Figura 10.** Máquina virtual *Desktop Router* utilizada para a simulação da trajetória.

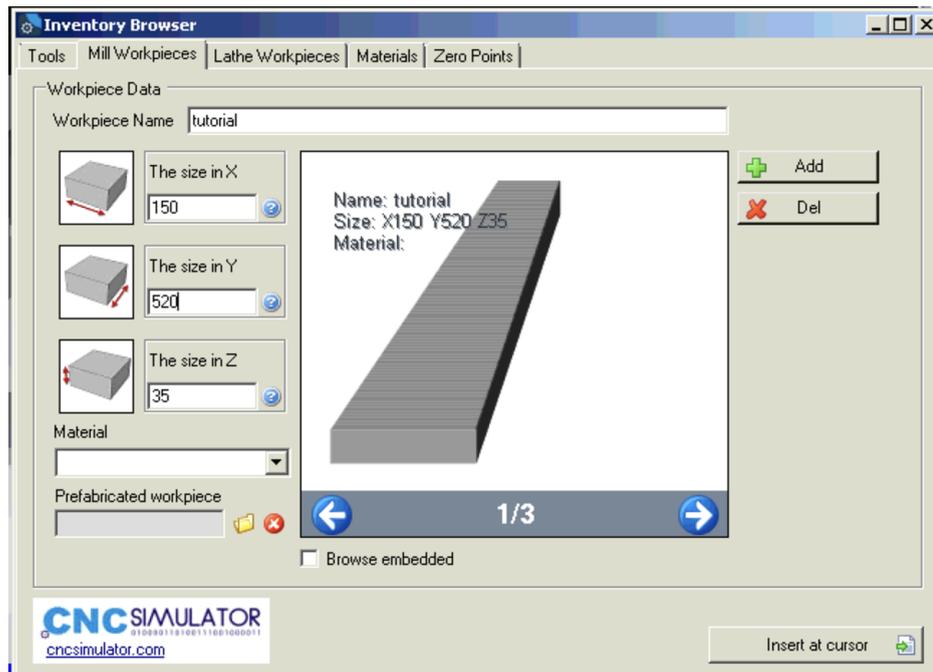


**Fonte:** CNC Simulator Pro (2021).

Para facilitar a programação da máquina CNC, este software oferece a importação do desenho através de arquivo “.DXF”, então voltou-se ao SolidWorks para criar como seria a trajetória realizada pela impressora, para imprimir o segmento de parede desejado, para isso o arquivo foi salvo com o formato .DXF.

Após definido o modelo de máquina, foi necessário colocar as dimensões já estabelecidas no desenho, como pode ser visto na Figura 11, sendo necessário inserir na programação da impressora CNC.

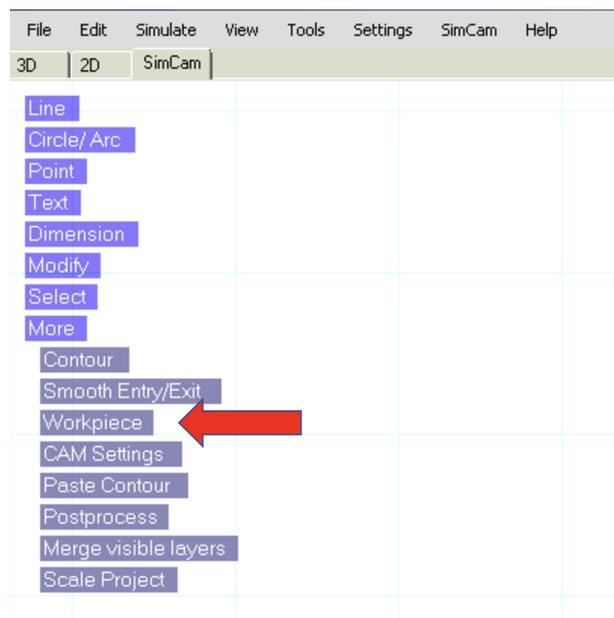
**Figura 11.** Dimensões aplicadas na CNC virtual.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

No CNCSimulation Pro, para realizar a importação do arquivo .DXF, basta apenas selecionar a aba “SimCam” e depois clicar em “Workpiece”, escolhendo a dimensão estabelecida no passo anterior, como na Figura 12.

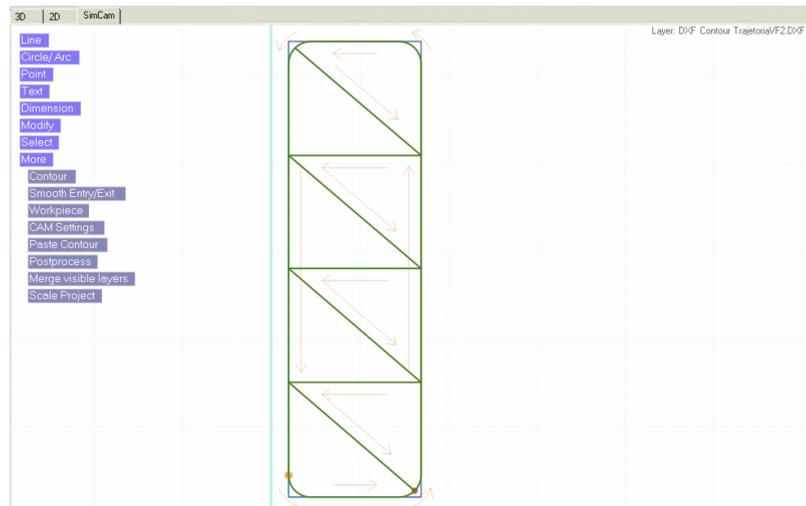
**Figura 12.** Importando o arquivo .DXF para o CNCSimulation Pro.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

E para finalizar a importação, precisou copiar o arquivo no formato .DXF e colocar no espaço da “Workpiece”, como na Figura 13.

**Figura 13.** Desenho da trajetória importado do SolidWorks para o CNC Simulator Pro.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Após realizar todas as configurações da máquina e do desenho, o código G foi gerado e projetado de acordo com o trajeto que a máquina faria (Anexo 1). Este é formado por números e letras para indicar o posicionamento e as operações da ferramenta da máquina. Abaixo foi retirado um trecho do código e pode-se observar algumas configurações importantes.

(...)

```
G01 Z28 F50 S1000 M03 M08
```

```
G03 X45 Y20 I25 J0 F100
```

```
G01 X145
```

(...)

Significado das letras de acordo com as operações:

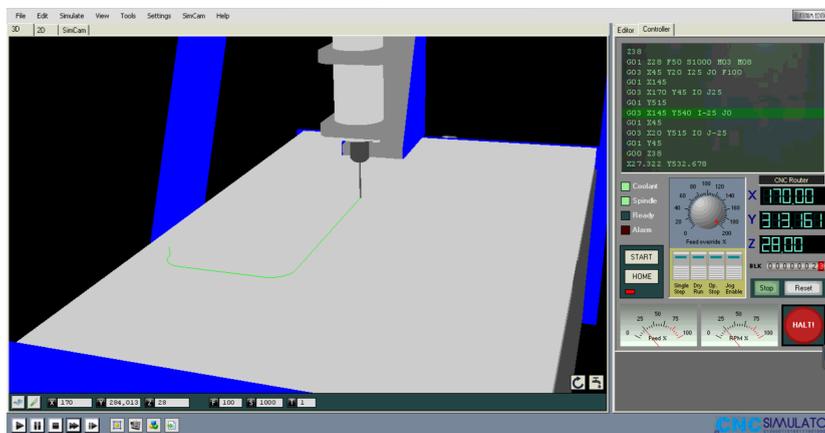
- “G” representa uma função preparatória, isto é, definindo que determinada operação será executada;
- “M” é o controlador da máquina, onde é possível ligar ou desligar cada eixo;
- “F” é a velocidade de avanço da ferramenta dado em mm/min;

- “S” é a rotação da ferramenta dado em rpm;
- “T” é a primeira função da ferramenta;
- E as letras “X”, “Y”, “Z”, “I”, “J” são as coordenadas do código.

É importante compreender sobre o código G porque é o parâmetro utilizado para analisar a movimentação que a máquina-ferramenta faz no processo de simulação da impressora tridimensional.

Com o código G funcionando, foi possível visualizar a simulação funcionando de acordo com a trajetória gerada. Na Figura 14, pode-se ver o programa realizando o início da trajetória.

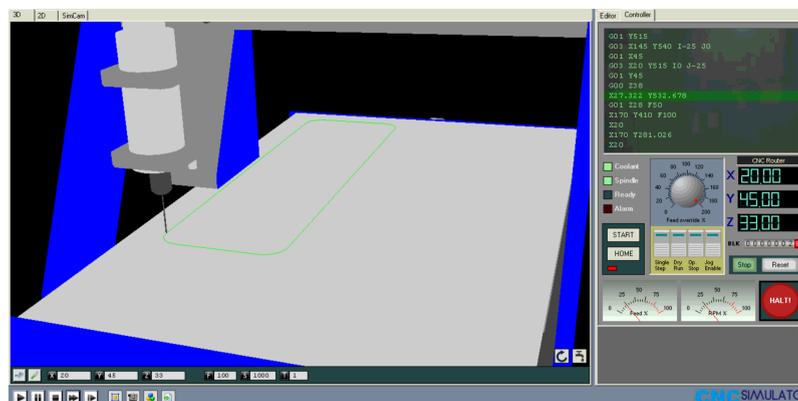
**Figura 14.** Realização da simulação da trajetória através do CNC Simulator Pro.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Durante a simulação, é possível ir acompanhando as coordenadas do código e vendo a trajetória que a máquina realizou nas movimentações dos eixos, demonstrada na Figura 15.

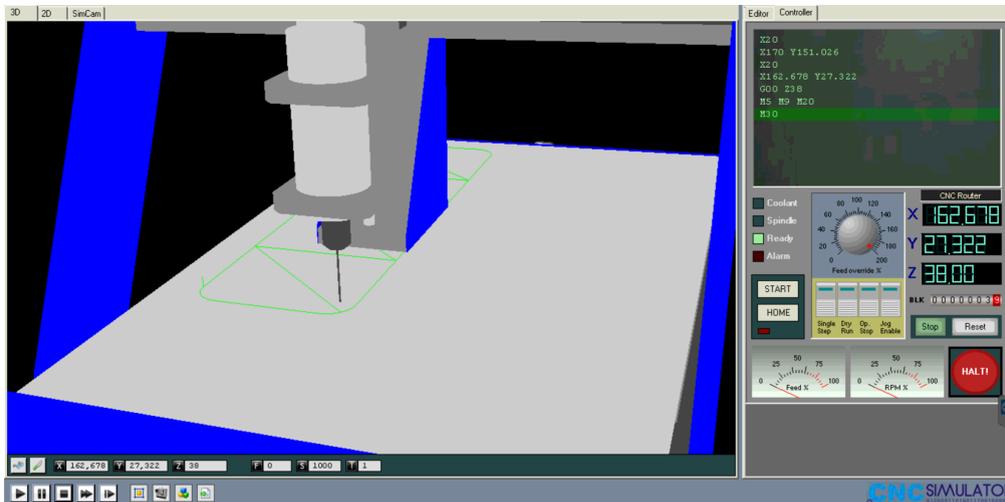
**Figura 15.** Máquina CNC virtual realizando a simulação da trajetória.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Na Figura 16, tem-se a simulação completa da trajetória realizada pela máquina e no qual é acompanhado pela leitura do código G.

**Figura 16.** Resultado da simulação através do CNC Simulator Pro.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

### 3.5 IMPLANTAÇÃO DO CÓDIGO G NO ARDUINO VIRTUAL

Com a obtenção do código G por meio do software CNC Simulator Pro, a próxima etapa foi sua implantação no Arduino Virtual a fim de simular a movimentação dos motores para cada eixo, deixando o código fonte pronto para testes em trabalhos futuros.

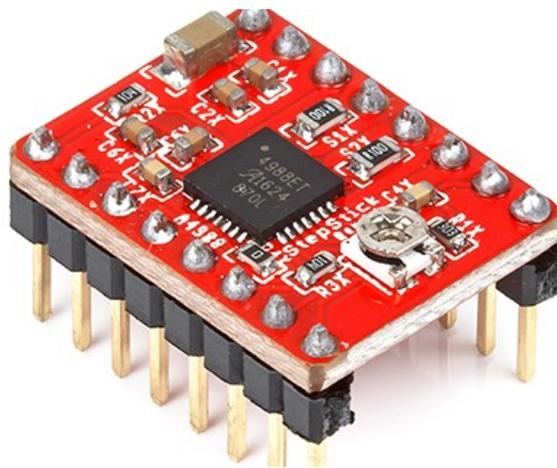
A definição da parte eletrônica foi realizada a partir de uma análise sobre os materiais disponíveis no mercado, assim foi definido usar o Arduino, já que as outras placas controladoras para conseguir sincronizar a um computador seria necessário o uso de componentes periféricos adicionais dando suporte ao cabo serial DB25 (ZAVELINSKI, 2017). Enquanto no Arduino de forma simples essa sincronização é realizada por meio de um *plug-in* USB. Outros parâmetros foram levados em consideração nessa escolha como por exemplo, o custo benefício da utilização de uma plataforma de prototipagem livre, ou seja, não ficaria limitada apenas ao controle de uma máquina CNC. Além da quantidade de material de apoio disponibilizado pelos vários usuários dessa plataforma.

Com a definição do material eletrônico a ser usado, foi necessário um período de aprendizagem com o software Arduino para obter conhecimento dos conceitos básicos. Então, com certo domínio na manipulação da plataforma foram detectados a necessidade de adicionar ao Arduino componentes para realizar a interface entre placa controladora e motores.

Os motores de passo necessitam de uma fonte externa de energia devido ao alto consumo, sua utilização requer uma demanda de corrente, não suportada pela placa de Arduino.

Além da fonte de energia, o outro componente a ser adicionado seria um driver A4988, Figura 17, para cada motor de passo (CIRCUITO, 2019). Esse driver faria a interligação entre o sinal emitido pela placa Arduino e a corrente a ser destinada para o motor de passo. Esse intermédio é realizado pela presença em driver de um circuito ponte H, onde é realizada a comutação entre chaves (estado sólido) para inversão da polaridade e chaveamento das bobinas do motor (NERY, 2020).

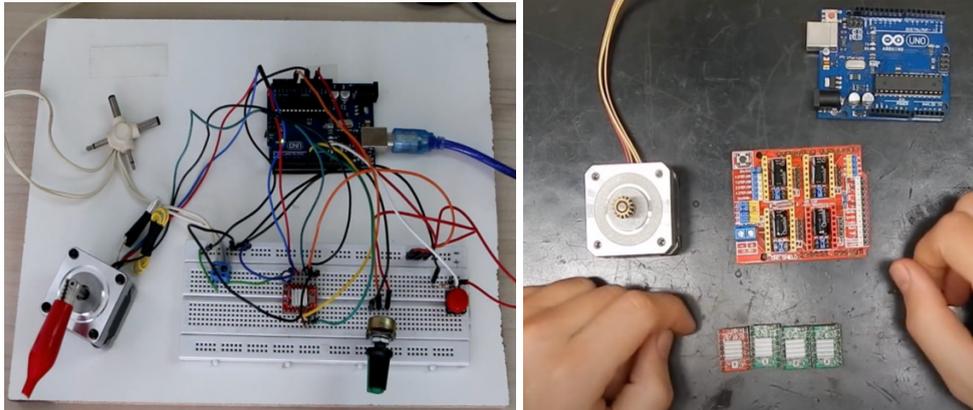
**Figura 17.** Driver A4988.



**Fonte:** Chip (2021).

A fim de facilitar a conexão entre os drivers e o Arduino, existe uma placa fabricada, a *CNC Shield*, que é responsável por incorporar o circuito externo que seria necessário para cada driver, Figura 18 (A). Assim, ela simplifica em uma placa, que é diretamente ligada no Arduino e faz a conexão com os drivers utilizados, Figura 18 (B). (MARTINS, 2021). Na Figura 18, podemos comparar os circuitos utilizando a *CNC Shield* e fazendo as conexões entre os drivers diretamente do Arduino.

**Figura 18.** (A) Circuito com conexões entre os drivers e o Arduino; (B) Circuito simplificado utilizando a *CNC Shield*.



**(A)**

**(B)**

**Fonte:** Arduino Maker (2021); Marlon Nardin (2017).

Após estudo e definição dos materiais, a montagem foi realizada de forma virtual a fim de simular o comportamento do conjunto.

Um dos motivos pela escolha do Arduino para realizar o controle da impressora foi a sua vasta linha de aplicações, uma delas é a sua utilização de forma virtual, onde é possível realizar simulações.

Dessa forma foram buscadas plataformas onde seria possível realizar a implantação virtual dos elementos definidos para o conjunto, listados a seguir:

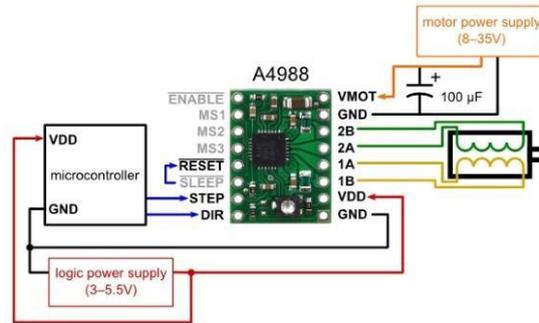
- Arduino;
- Fonte de energia;
- Driver A4988;
- *CNC Shield*;
- Motores de Passo.

Deu-se início com o software Tinkercad, sendo possível realizar a simulação de circuitos simples utilizando o Arduino, mas devido a complexidade e utilização de componentes específicos, ausentes na plataforma do Tinkercad, foi necessário fazer a migração para utilização de um ambiente de simulação mais completo.

Foi encontrado no software PROTEUS, as funções necessárias para dar segmento ao processo, ainda havia a ausência de componentes específicos como o driver A4988, no entanto, esse software disponibiliza de recursos onde é possível realizar a construção

do componente. A partir do diagrama de ligação com a placa de arduino, Figura 19, o driver A4988 foi replicado no software.

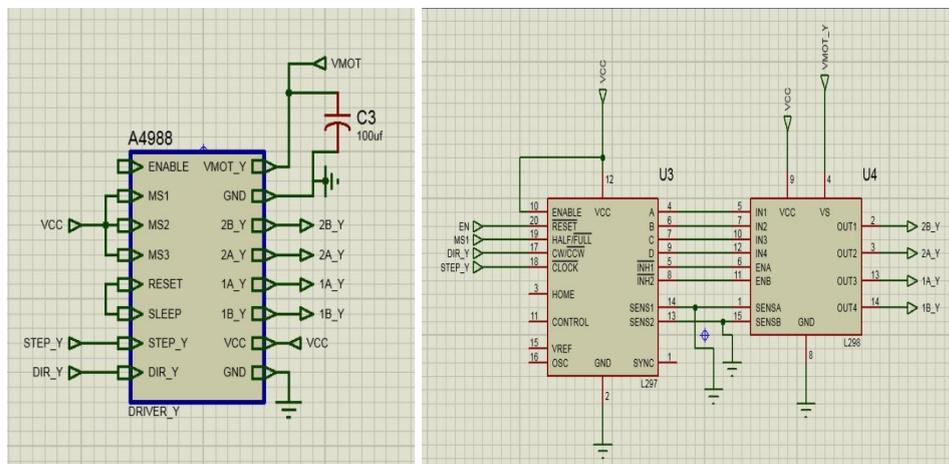
**Figura 19.** Diagrama do driver A4988 para ser ligado a placa de arduino.



**Fonte:** Filipeflop (2021).

Foram criados circuitos referentes aos drivers A4998, como pode ser visto na Figura 20 (A). E suas funções foram definidas por implantação de um circuito associado ao driver composto pelo controlador L297 e uma ponte H, Figura 20 (B).

**Figura 20.** (A) Driver A4998 virtual; (B) Circuito interno do driver.



**(A)**

**(B)**

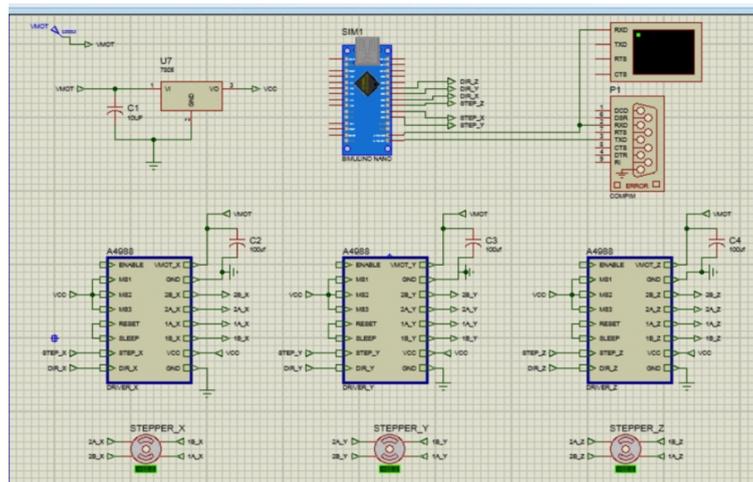
**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Inicialmente foram implementados para simulação o Arduino nano e o Driver A4988, onde a primeira etapa do processo foi realizar a conexão entre os dois circuitos sem a presença da shield para intervir. Mas se tratando de um ambiente virtual havia a

possibilidade de definição de variáveis com entrada e saída de dados, que estavam conectadas entre si, de modo a facilitar a ligação.

Com a montagem do circuito referente a conexão do Arduino aos drivers, foram adicionados três motores de passo, responsáveis pelo movimento em cada eixo coordenado X, Y e Z. Componentes extras foram adicionados: Um display e uma porta serial virtual para realizar envio e exibição de dados para comandar o circuito completo, (Figura 21).

**Figura 21.** Circuito montado com Arduino, drivers e motores.



Fonte: Autoria Própria (2021).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos softwares apresentados no capítulo anterior, foram abordadas diferentes metodologias, sendo realizados testes e geraram os resultados a serem apresentados a seguir.

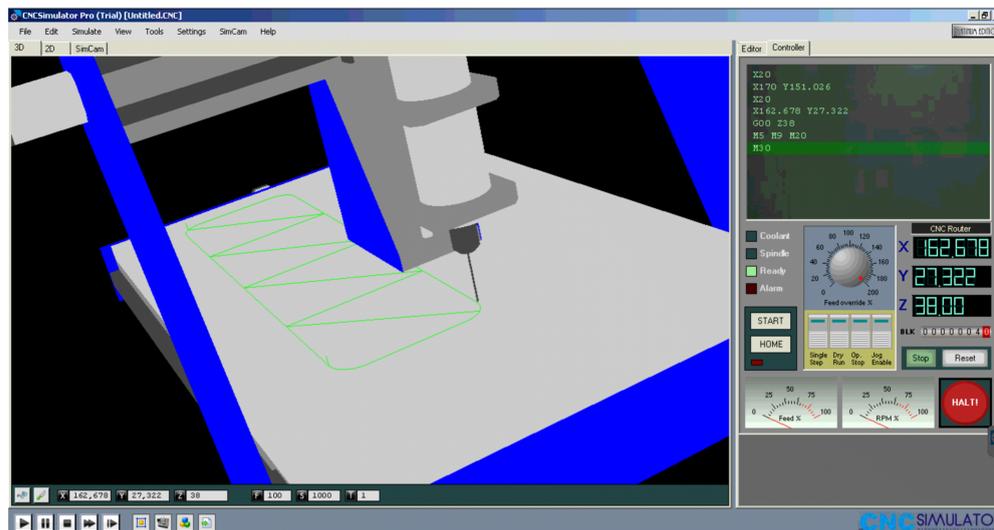
O primeiro passo a ser executado no trabalho foi encontrar um software no qual fosse possível simular a impressora realizando a extrusão do material camada por camada com uma trajetória específica, todavia tornou-se inviável justificando-se por não encontrar softwares ou métodos acessíveis de forma gratuita que fossem eficientes para realizar essa simulação. Portanto, a simulação da impressora realizando a trajetória passou a ser o principal ponto, para que assim, pudesse ser extraído o código G e implementado na parte eletrônica do projeto.

Para isso, a primeira metodologia aplicada foi utilizando o Matlab, verificando-se a possibilidade da importação do modelo simplificado da impressora modelada geometricamente, no entanto sua programação tornou-se complexa e seria necessário estudar profundamente a programação de blocos do software para o modelo de impressora modelado. Notou-se ainda, que existem trabalhos semelhantes entretanto com aplicação para movimentos oscilatórios através de pêndulos, ou seja, é possível realizar simulação da trajetória mas é necessário aprender a fazer toda parte de programação da máquina.

Migrando para outro software o próximo foi o LabView, que também seria viável realizar a sincronização com o modelo geométrico no Solidworks, a problemática em questão foi a ausência dos módulos responsáveis por essa sincronia.

Para dar seguimento a pesquisa, foi necessário postergar a ideia de sincronizar a impressora modelada, por falta de recursos em softwares. Eis que surgiu o CNCSimulador Pro e no qual foi usado também uma impressora prismática para extração do código G, essa foi definida com os mesmos parâmetros de cotas e a geometria do segmento de parede importada. Assim, uma simulação com um modelo genérico foi realizada com a trajetória que seria feita na impressora prismática, Figura 22.

**Figura 22.** Simulação da trajetória realizada pela máquina CNC virtual.



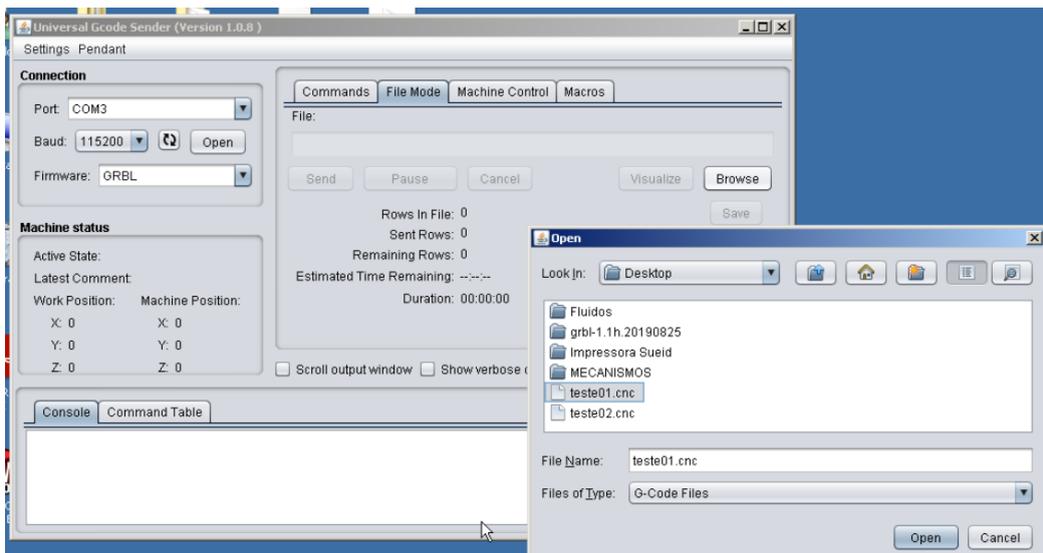
**Fonte:** Autoria Própria.

Através do CNCSimulator também foi possível extrair o código G, este precisou ser submetido a aparelhagem eletrônica no qual foi definido no capítulo Metodologia e Aplicação. Dessa forma, em um ambiente virtual utilizando o software Proteus, os

componentes eletrônicos foram digitalizados: Uma placa controladora, os drivers e os motores, formando um circuito elétrico com os principais componentes usados para controle de uma CNC.

Com o circuito pronto para realizar a simulação no Proteus, o próximo passo foi buscar um software que realizasse a conversão do código G extraído do CNC Simulator Pro em uma linguagem de programação onde o Arduino virtual no Proteus conseguisse interpretar e mandar para os motores. Dessa forma foi utilizado o software Universal G Code Sender, que interpreta o código G em coordenadas e o transforma em comandos para os motores, Figura 23, essa interpretação é feita por meio do firmware GRBL implantada no Arduino virtual.

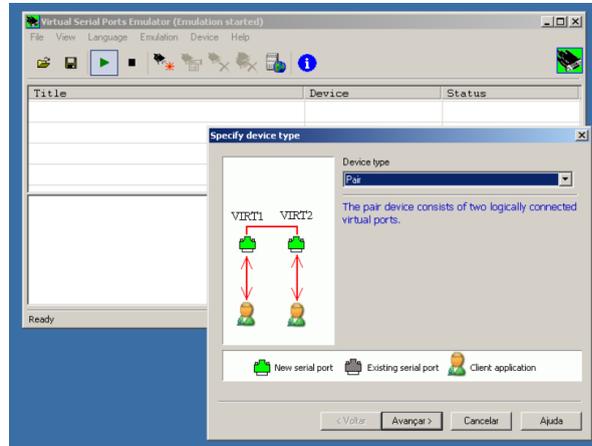
**Figura 23.** Software Universal G Code Sender realizando a importação do código G extraído pelo CNC Simulator Pro.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Para realizar a conexão entre os softwares Universal G Code Sender e Proteus, foi realizada uma pesquisa onde precisaria encontrar um aplicativo capaz de emular a conexão de uma porta serial. Para isso foi utilizado o programa VSPE, Virtual Serial Ports Emulator, e assim realizar a conexão serial entre o Arduino virtual no Proteus e o Universal G Code Sender, onde vai ser carregado o código G, Figura 24.

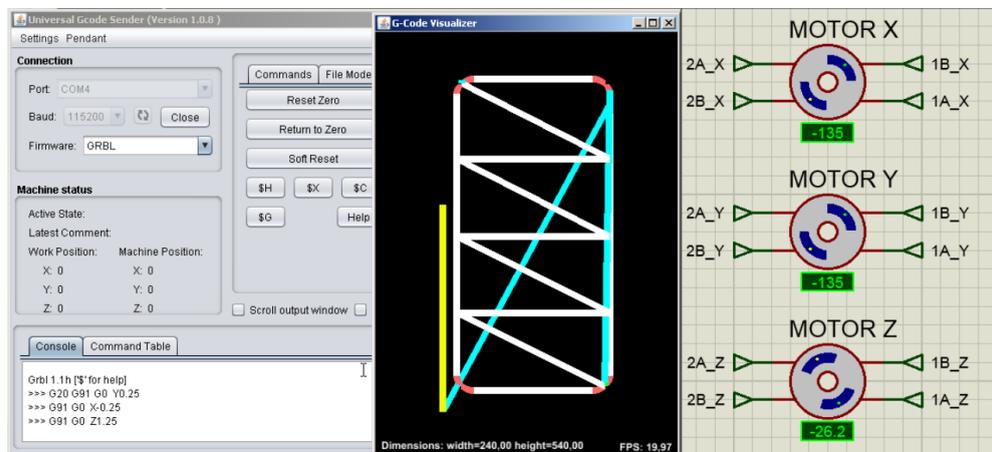
**Figura 24.** Software VSPE, Virtual Serial Ports Emulator conectando os Universal G Code Sender e Proteus.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Portanto, assim finalizou-se a ligação entre os softwares e foi possível simular a trajetória de impressão por meio do código extraído de uma geometria pré-definida e visualizar os movimentos dos motores de cada eixo. Validando por meio da simulação a ideia da utilização de um material eletrônico, onde verificou-se a parte eletrônica e a implementação do código G. Como pode ser visto na Figura 25 abaixo.

**Figura 25.** Resultado final da simulação da movimentação de cada eixo, extraído através do código G.



**Fonte:** Autoria Própria (2021).

Através desse estudo é deixado um histórico para aplicações futuras, mostrando o caminho a percorrer fora do ambiente virtual.

## **5. CONCLUSÃO**

Com este estudo foram apresentadas as possibilidades encontradas para realizar a simulação computacional e eletrônica da impressão base de um segmento de parede, como foi obtido o código G através de uma máquina CNC virtual e a maneira que foi implantado para demonstrar como seria a movimentação dos motores para cada eixo.

A proposta inicial do projeto seria realizar a simulação da extrusão do material, entretanto durante o andamento do trabalho constatou-se sua inviabilidade pelo fato da ausência de softwares que realizassem este procedimento, dessa maneira a pesquisa precisou ser direcionada para a simulação da trajetória. Alterando apenas um fator visual no resultado final, permanecendo a necessidade do estudo realizado para o seu desenvolvimento desde a criação do código G até a simulação da trajetória no circuito com Arduino e motores de passo.

Na primeira metodologia aplicada utilizando o Matlab, constatou-se que através de módulos adicionais é possível realizar a modelagem da impressora realizando os movimentos, entretanto não foi satisfatória, já que o programa não seria capaz de demonstrar o trajeto realizado pela máquina e o Matlab possui um sistema complexo de programação, sendo necessário mais tempo para aprender a programar todo o sistema no software.

Na segunda metodologia foi abordado o LabVIEW, todavia durante a instalação não obteve-se êxito na adição dos módulos necessários para realizar a programação necessária.

Na terceira metodologia, utilizou-se o software CNC Simulator Pro para visualizar em uma impressora prismática típica, simular a trajetória a ser executada com a geometria importada do Solidworks, e assim realizar a extração do código G, necessário para a demonstração da movimentação dos motores de cada eixo.

Após a simulação realizada em uma impressora similar, foi necessário realizar a implantação virtual da parte eletrônica no software Proteus, composta basicamente pela placa de Arduino, os drivers e os motores de passo.

A simulação da movimentação dos motores de cada eixo foi realizada por meio da conexão entre o Proteus e o Universal G Code Sender que recebe o código G do CNC Simulator Pro e encaminha a programação para a placa de arduino por meio do VSPE.

Apesar das dificuldades durante o trabalho, referentes a materiais e conteúdos disponíveis sobre o assunto, essa monografia pode ser utilizada como base para trabalhos futuros com melhorias no processo da simulação do depósito do material para formação do trecho simples de parede. Em especial, será fundamental para dar continuidade ao trabalho de investigação centrado na impressão 3D de argamassa realizado no Laboratório de Automação da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia.

Finalmente, conclui-se que esse trabalho vai colaborar em futuros projetos de pesquisa a quem desenvolver tecnologia na área da impressão 3D de edificações, isto porque existem ainda materiais limitados sobre o tema e que proporcione uma abordagem mais específica sobre o assunto.

## **5.1 RECOMENDAÇÕES SOBRE TRABALHOS FUTUROS**

No presente trabalho foram identificados alguns aspectos considerados relevantes para abordagens mais detalhadas. Assim, foram citados temas que poderão ser objeto de uma futura investigação.

- Desenvolver um estudo em software livre para melhorar a análise e a simulação da impressão do segmento de parede;
- Implementar o código G para a impressão de vários segmentos de parede;
- Produzir a própria impressora, de forma que determine o seu funcionamento em um ambiente real;
- Realizar testes para analisar o desempenho da máquina para imprimir o segmento de parede.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUTODOC. **Impressão 3D: como essa tecnologia se aplica na construção civil?** Disponível em: <https://site.autodoc.com.br/conteudos/impressao-3d-como-essa-tecnologia-se-aplica-na-construcao-civil/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

CELERE. **Impressão 3D na construção civil: cenário atual e perspectivas de futuro.** Disponível em: <https://celere-ce.com.br/construcao-civil/impressao-3d-na-construcao-civil/>. Acesso em: 2 mar. 2021.

CHÁVEZ, César. **Mecanismo de SolidWorks a Matlab Simulink usando Simscape multibody (Tutorial passo a passo - 2/3).** Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=zTvxDovgsyk&t=187s>. Acesso em: 8 maio 2021.

CHIP, Twins. **A4988 STEPPER MOTOR DRIVER.** Disponível em: [https://www.twinschip.com/A4988\\_Stepper\\_Motor\\_Driver](https://www.twinschip.com/A4988_Stepper_Motor_Driver). Acesso em: 8 maio 2021.

CIRCUITO, Curto. **Controle de Motor de Passo Nema com Driver A4988.** 2019. Disponível em: <https://www.curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/control-de-motor-de-pas-so-nema-driver-a4988>. Acesso em: 24 maio 2021.

CNC SIMULATOR PRO. **Máquina virtual Dekstop Router utilizada para a simulação da trajetória.** 2021. Disponível em: <https://cnccsimulator.info/download>. Acesso em: 14 maio.2021.

DICOMP. **O que é impressão 3D?** Disponível em: <https://www.dicomp.com.br/zortrax/projects/o-que-e-impressao-3d/>. Acesso em: 12 mar. 2021.

EDWARD, Mina. **Plotting with a 3 axis CNC router in Matlab, Labview and Solidworks.** 2015. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=53suySbDu5o>. Acesso em: 05 mar. 2021.

ELTIMA'S KNOWLEDGE BASE. **Lista dos Melhores Virtual Serial Port Emulators.** 2020. Disponível em: <https://www.eltima.com/pt/best-virtual-com-port-emulators/>. Acesso em: 5 maio 2021.

ENGETAX ELEVADORES. **A impressão 3D revolucionará a construção civil?** Disponível em: <https://engetax.com.br/impressao-3d-na-construcao-civil/>. Acesso em: 05 mar. 2021.

FARIAS, J. **Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Método Construtivo Light Steel Framing numa Residência Unifamiliar de Baixa Renda**, Projeto de Graduação, UFRJ, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2013.

FLOP, Filipe. **Driver Motor de Passo A4988**. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-de-passo-a4988/>. Acesso em: 8 maio 2021.

FLORÊNCIO, E.Q. et al. **O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura**. In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBERO-AMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2016, Buenos Aires, Argentina. O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura. Buenos Aires, Argentina: Sigradi, 2016. p. 9-11.

GARDNER, M., ALWI, A., KARAYIANNIS, S., et al. **Construktio, MegaScale 3D Printing**. University of Surrey, 2013.

GUARNIZO, José. **Tutorial para conexión entre Labview y SolidWorks**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QSZ3AUKizC4&t=1s>. Acesso em: 12 abr. 2021.

LATAMECATRÓNICA. **Sinmechanics Simulating Robot SolidWorks to Matlab and Positioning with Simulink**. 2019. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=li2faucT3Rc>. Acesso em: 5 mar. 2021.

LOPES, E.J. **Implementação de estratégias de controle em uma impressora 3D**. 2017. 63 f. Monografia (Doutorado) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017.

LOPES, G.T.F. **Exploração das possibilidades da impressão 3D na construção**. 2016. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2016.

MAKER, Arduíno. **Como controlar motor de passo NEMA com driver A4988 – Botão de direção e potenciômetro p/ velocidade.** 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=QdqumbmgW5M>. Acesso em: 6 maio 2021.

MARTINS, Samuel. **CNC Shield: Guia prático e introdução ao GRBL.** 2021. Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/cnc-shield-guia-pratico-e-introducao-ao-grbl/>. Acesso em: 01 maio 2021.

MENEZES, Maykow da Silva. **Plataforma CAD para elaboração de projetos e gerenciamento e controle de impressão 3D com ênfase na construção civil.** 2020. 60 p Monografia. (Curso de bacharelado em engenharia Civil) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Câmpus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2020.

NARDIN, Marlon. **#4 - CNC 3.0 | Parte Eletrônica/Drive A4988 e Ajuste de Corrente/CNC Shield 3.0/GRBL 0.9J/Motores.** 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TT7DeubmlFA>. Acesso em: 7 maio 2021.

NERY, Gustavo. **Guia definitivo de uso da Ponte H L298N.** Disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-definitivo-de-uso-da-ponte-h-l298n/>. 2020. Acesso em: 01 maio 2021.

PACHECO, Adriano. **A impressão 3D no mercado da construção civil.** Disponível em: <https://maisengenharia.altoqi.com.br/estrutural/impressao-3d-mercado-da-construcao-civil/>. Acesso em: 2 mar. 2021.

PARKER, GORDON. **SOLIDWORKS to Simulink Simscape.** 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=7-fkk7DU9fA>. Acesso em: 07 mar. 2021.

POLI NÁUTICO. **Usinagem CNC e Código G.** 2020. Disponível em: <https://www.polinautico.com/post/usinagem-cnc>. Acesso em: 08 mar. 2021.

PORTO, T.M.S. **Estudo dos avanços da tecnologia de impressão 3D e da sua aplicação na construção civil.** 2018. 80 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SALVADOR, Valter. **O que é o Matlab?** Disponível em: <https://www.portalgsti.com.br/2016/08/o-que-e-o-matlab.html>. Acesso em: 3 mar. 2021.

SILVA, A.C.P. **Exemplos de Aplicação de Impressão 3D na Construção.** 2019. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019.

UNIVERSIDADE TRISUL. **Impressora 3D na construção civil: conheça essa tecnologia e sua aplicabilidade.** Disponível em: <https://www.universidadetrisul.com.br/solucoes-construtivas/impressora-3d-na-construcao-civil-conheca-essa-tecnologia-e-sua-aplicabilidade>. Acesso em: 5 mar. 2021.

ZAVELINSKI, Aron Letchacovski. **Projeto de Torno CNC para Prototipagem Rápida e Outros Usos.** 2017. Monografia (Especialização em Automação Industrial), Departamento Acadêmico de Eletrônica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2017.

## ANEXO 1

O Código G é extraído a partir de uma geometria pré definida de uma camada do segmento de parede modelado, por meio deste código foi possível simular sua trajetória fazendo uso de uma impressora 3D prismática virtual, também foi encaminhado o mesmo para a parte eletrônica digitalizada, já que fora do ambiente virtual, é este tipo de eletrônica que é responsável pelo deslocamento dos eixos. A seguir apresenta-se o código G para a impressão de um trecho de parede.

CÓDIGO G:

%

M21 (Close door for safety)

(DXF Contour TrajetoriaVF2.DXF)

T1 M06

G00 X20 Y45

Z38

G01 Z28 F50 S1000 M03 M08

G03 X45 Y20 I25 J0 F100

G01 X145

G03 X170 Y45 I0 J25

G01 Y515

G03 X145 Y540 I-25 J0

G01 X45

G03 X20 Y515 I0 J-25

G01 Y45

G00 Z38

X27.322 Y532.678

G01 Z28 F50

X170 Y410 F100

X20

X170 Y281.026

X20

X170 Y151.026

**X20**

**X162.678 Y27.322**

**G00 Z38**

**M5 M9 M20**

**M30**