

14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

PROJETO DE UMA FRESA CNC PARA PROTOTIPAGEM DE PLACAS DE CIRCUITOS IMPRESSO APLICADAS EM AULAS E NO DESENVOLVIMENTO DE PESQUISAS.

GABRIEL HENRIQUE DE MORAES¹, DANILO BASSETO DO VALLE², CLAUDINER MENDES DE SEIXAS³

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, moraes.g@aluno.ifsp.edu.br.

² Doutor em Engenharia Elétrica, Docente, IFSP-GPAI, Câmpus Votuporanga, danilo.valle@ifsp.edu.br.

³ Doutor em Engenharia Elétrica, Docente, IFSP-GPAI, Câmpus Votuporanga, claudiner@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.04.00.00-7 Engenharia Elétrica

RESUMO: Máquinas controladas numericamente por computador (CNC), são operatrizes altamente precisas com grande participação em produções de peças em escalas industriais, apresentando vantagens durante o processo de produção devido a agilidade e eficiência. Este projeto da fresa CNC para prototipagem de placas de circuito impresso tem como objetivo atingir um modelo de baixo custo e acessível, através de estudos dos elementos que compõem a máquina e seu funcionamento assim como a definição da estrutura mecânica e elétrica/eletônica para seu controle. Para sua concepção, usou-se como referência uma modelagem 3D e análise de softwares CAD (Desenho Auxiliado por Computador) / CAM (Manufatura Auxiliada por Computador) para geração do G-Code, determinando os parâmetros do desenho. Este código é importado ao Arduino/CNC Shield, que por sua vez, controlará o sistema de transmissão eletromecânico da máquina, executando os movimentos da ferramenta fresadora sobre a mesa de trabalho e iniciando a produção da placa de circuito projetada em software. A partir deste projeto, conclui-se que após feito um estudo teórico sobre o funcionamento e dimensionamento adequado dos elementos da fresadora, assim como uma modelagem 3D, será viável construir um protótipo para a prototipagem das placas de circuito impresso, auxiliando o desenvolvimento de pesquisas e aulas.

PALAVRAS-CHAVE: CNC Shield; Controle Numérico Computadorizado; Desenho auxiliado por computador; Fresa CNC; Manufatura auxiliada por computador; Máquinas Operatrizes.

DESIGN OF A CNC MILL FOR PROTOTYPING PRINTED CIRCUIT BOARDS APPLIED IN CLASSES AND IN RESEARCH DEVELOPMENT.

ABSTRACT: Computer Numerically Controlled Machines (CNC) are highly accurate tools with great participation in the production of parts on industrial scales, presenting advantages during the production process due to agility and efficiency. The project of the CNC milling machine for prototyping printed circuit boards aims to achieve a low-cost and accessible model, through studies of the elements that make up the machine and its operation, as well as the definition of the mechanical and electrical/electronic structure for its control. . For its conception, a 3D modeling and CAD (Computer Aided Design) / CAM (Computer Aided Manufacturing) software analysis was used as a reference for generating the G-Code, determining the design parameters, imported to the Arduino/CNC Shield , processing the digital data and controlling the electromechanical transmission system of the CNC machine, executing the movements of the milling tool on the work table and starting the production of the circuit board designed in software. From this project, it is concluded that after making a theoretical study on all the operation and adequate dimensioning of the elements of the milling machine, as well as a 3D modeling, a future prototype will be elaborated for the prototyping of the printed circuit boards, helping the development of research and classes.

KEYWORDS: CNC Shield; Computer Numerical Control; Computer aided design; CNC cutter; Computer-aided manufacturing; Machine Tools.

INTRODUÇÃO

Com a inovação e evolução da tecnologia nos setores mecânicos, elétricos e automação, a exigência de precisão e ótimo controle de máquinas controladas numericamente por computadores está cada vez mais alta no processo de fabricação e usinagem de peças, para tal, utilizam-se máquinas operatrizes, conhecidas como máquinas CNC (controle numérico computadorizado) ou do inglês Computer Numeric Control. Segundo (Fiebig, 2018, p. 11, grifo nosso), nos sistemas CNC modernos, a concepção dos desenhos de componentes, realização de cortes, traços ou furos são altamente automatizados, através de softwares específicos, responsáveis por este processo.

Os sinais gerados pelo software são transmitidos ao se conectarem com os drivers da placa controladora, que por sua vez converterá tais informações em movimentos mecânicos, por meio dos motores de passo, ao terem suas bobinas acionadas de forma controlada, (Neomotion, 2023), responsáveis pela movimentação da ferramenta sobre a mesa de trabalho ao longo dos eixos X, Y e Z, realizando assim o seu trabalho, como gravações, cortes, e confecções de traços e trilhas. Contudo, algumas desvantagens são encontradas nas máquinas CNC, por exemplo, altos valores comerciais e grandes dimensões que variam de acordo com a aplicação destinadas a elas.

Devido a isso, a iniciativa de execução deste projeto foi motivada pois há a intenção de desenvolver um protótipo de baixo custo, com dimensões menores em relação às existentes no mercado, visto que sua construção será elaborada para a confecção de placas de circuito impresso utilizando-se uma fresa CNC. Além da perspectiva de poder equipar o laboratório de pesquisa do campus, atendendo aos estudantes de Bacharelado em Engenharia Elétrica, oferecendo a oportunidade de confecção de placas de circuito para auxiliar em suas atividades de ensino e pesquisas durante o curso.

MATERIAL E MÉTODOS

Com o intuito de alcançar os objetivos estabelecidos e obter resultados acerca da proposta deste projeto, em primeiro lugar, por se tratar de uma fresa CNC, foi realizado um estudo específico e descritivo sobre o controle numérico computadorizado e como ele opera, por meio de uma revisão bibliográfica, visando a compreensão do funcionamento geral de uma máquina CNC, da análise e estudo de protótipos já existentes, inclusive produtos encontrados no mercado, para que a execução deste projeto seja realizada de forma adequada.

Além disso, a partir da revisão bibliográfica realizada, foi possível compreender os principais elementos contidos na estrutura da máquina operatriz, partindo desde sua estrutura mecânica, até todo o sistema elétrico das instalações feitas para que o sistema de controle, eletrônica e eletromecânica possam se comunicar, visando um manejo controlado, automatizado e estável. É de suma importância destacar que todo este planejamento foi voltado a aplicação em prototipagem de placas de circuito impresso, consequentemente, também foi analisada as formas de fresamento para confecção das trilhas, que podem variar de acordo com as especificações de sua aplicação. Desta forma, foi possível estabelecer um modelo de um pré-projeto, tendo seu desenvolvimento utilizando o software AutoCAD 2024, cuja modelagem foi feita em 3D, visando destacar os elementos fundamentais a sua estrutura.

Por fim, também foram definidos os componentes e elementos necessários, para que futuramente seja construído um protótipo, listados a seguir. **Mesa de trabalho:** Perfil estrutural em alumínio 40x40mm, chapa de MDF 3mm. **Material para sustentação dos eixos:** Estrutura em polietileno. **Eixos (X, Y e Z):** Para os eixos X e Y serão utilizados 4 eixos lineares de 20mm de espessura com rolamentos lineares (buchas de esferas) 20mm, e seus respectivos mancais, para o eixo Z, será utilizado um fuso esférico com passo de 8mm (TR8 8x400mm) composto também por eixos e rolamentos lineares. **Sistema de movimentação:** correias e polias sincronizadoras GT2, 20 dentes, ambas com 10mm. **Parte elétrica/Eletromecânica:** 4 motores de passo NEMA 23, modelo: W523-0240-20-4 (WOTIOM), 4 unidades de chaves fim de curso haste longa, Arduíno UNO r3, CNC Shield V3, 4 unidades do Driver A4988 ou do DRV8825 com seus dissipadores e Cabo USB para conexão do notebook/desktop e o Arduíno. **Ferramenta fresadora:** Micro-retífica (135W). **Fonte:** fonte regulável linear (0-12V 10A).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo (Rocha Jr; Kataoka; Silva, 2012, pag. 1, grifo nosso), o controle numérico é uma maneira específica de realizar o controle de sistemas cujo posicionamento é a principal variável para se controlar. A Aeronáutica dos Estados Unidos foi oficialmente conhecida por utilizar o CN, na década de 1940, como um mecanismo auxiliar, com a proposta de armazenar dados e usinar superfícies de aerofólios destinados às aeronaves. Neste âmbito, os computadores eletrônicos eram apenas projetos na época, entretanto, utilizava-se a tecnologia de cartões perfurados, fitas magnéticas ou perfuradas, além de outras opções disponíveis na época. (Groover, 2008). Com o passar do tempo, maior precisão, velocidade e qualidade começaram a ser exigidos, sendo desenvolvido o Controle Numérico Computadorizado (CNC), passando a ser o carro chefe da indústria moderna.

Neste âmbito, (Rocha Jr; Kataoka; Silva, 2019, pag. 15, grifo nosso) afirmou que as máquinas que utilizam desta tecnologia, possuem diversos componentes em sua estrutura do sistema de controle realizados por softwares e processadores existentes, ao invés de arranjos eletromecânicos e eletrônica discreta. (Lyra, 2010, pag 3, grifo nosso) enfatiza que fresadoras convencionais são ferramentas capazes de transformar material bruto em peças com complexidades geométricas, por meio do controle dos movimentos lineares, eletrônica e computação, passando a ser automatizada, ou seja, através da tecnologia CNC. A operação de uma máquina CNC ocorre pelo processo de desenhar em um software CAD (Desenho Auxiliado por Computador), em seguida este desenho é enviado a um programa CAM (Manufatura Auxiliada por Computador), gerando o G-Code.

G-code é o nome genérico para a linguagem de programação utilizada para controle de máquinas/ferramentas. Quando um desenho é feito no computador, ele contém informações que devem ser convertidas para uma linguagem que a máquina irá entender, o G-code é a linguagem responsável por essa interpretação, contendo instruções e parâmetros e enviados a controladora, para que a ferramenta execute o processo. (Polastrini, 2016). Um diagrama do funcionamento geral de máquinas CNC's é ilustrado na figura 1 (Oliveira, 2019) para esclarecimento.

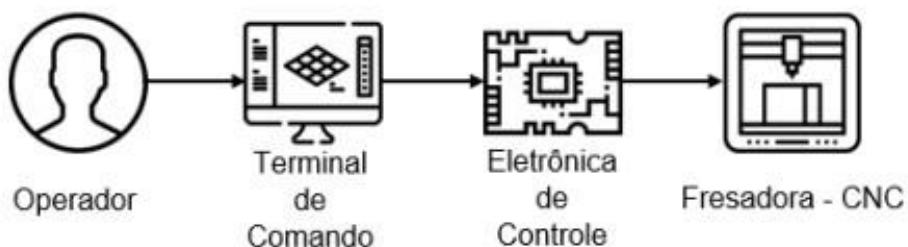


FIGURA 1. Diagrama de operação.

Na figura (1), resumiu-se de maneira sucinta as quatro principais etapas da operação básica de uma fresadora CNC, ou seja, em primeiro lugar o operador irá designar o trabalho a ser executado, que por sua vez será realizado no terminal de comando (computadores e notebooks), através dos softwares CAD/CAM. Este trabalho, por exemplo, trilhas de uma placa de circuito, será transformado em linhas de código, o G-code, podendo ser importado a um firmware GBRL na IDE do Arduino. A próxima e terceira etapa resumem-se em interpretar os dados do código, realizados pelo Arduino e transferidos a Shield CNC, que neste caso, será a placa controladora, convertendo os sinais digitais do Arduino em tensões e correntes necessárias, por meio dos driver's de potência, para a ativação e controle da parte eletromecânica (motores de passo). Por fim, a última etapa será o resultado dos movimentos que os motores de passo irão realizar sobre o sistema de movimentação dos eixos X, Y e Z.

Para uma CNC composta por 3 eixos de operação, como essa, a ferramenta fresadora irá se posicionar em coordenadas X e Y por meio de movimentos horizontais, ao passo que o eixo Z irá se deslocar verticalmente, sendo responsável pelo ajuste altura da ferramenta sobre a peça/placa em confecção. Os eixos são caracterizados em fusos e em guias lineares, formando um plano espacial de três dimensões. (Reis et al., 2018). Este processo de fresamento é definido como um processo de usinagem mecânica, destinado para trabalhar superfícies quaisquer com a utilização de ferramentas, de modo geral, multicortantes. A vantagem do fresamento é a possibilidade de se usinar peças fixas a uma mesa de trabalho, o que difere do torneamento, que é executado em usinagem por revolução.

Segundo (Lyra, 2010), o fresamento pode ser distinguido em dois tipos, o primeiro é o fresamento cilíndrico tangencial, muito utilizado para aplicações em que se deseja obter superfícies planas paralelas ao eixo de rotação da ferramenta, o segundo método é denominado fresamento frontal, utilizado em superfícies planas perpendiculares ao eixo de rotação, e para as confecções de trilhas em placas de circuito, recomenda-se o segundo método, por ser o mais usual e prático, partindo do ponto de vista que ao se deslocar a ferramenta perpendicularmente ao plano, será possível confeccionar as trilhas, para realizar os furos, recomenda-se o movimento de avanço, variando a altura ao longo do eixo Z, utilizando por exemplo uma broca helicoidal de topo.

(Moreira, 2018, pag. 44, grifo nosso), diz que ao se conhecer os valores de corrente em relação a largura das trilhas da placa, de acordo com a intensidade de corrente que fluirá por elas, pode-se estabelecer larguras de trilhas para as placas utilizadas na prototipagem. A tabela (1) demonstra as relações determinadas.

TABELA 1. Capacidade de corrente que circulará para dadas espessuras de trilhas.

Largura da trilha (mm)	Corrente para cobre 0,0347mm (A)	Corrente para cobre 0,0684mm (A)
5	0,5	0,7
10	0,8	1,4
20	1,4	2,2
30	1,9	3,0
50	2,5	4,0
100	4,0	7,0

Trilhas específicas podem ser estanhadas, aumentando sua capacidade de condução.

Assim, de maneira geral, as fresadoras CNC's podem colaborar muito com a agilidade, qualidade e praticidade para a prototipagem de placas de circuito impresso de forma automatizada, podendo proporcionar aos alunos e pesquisadores uma ferramenta acessível e viável para atividades e pesquisas, além de possuir menor custo em relação as existentes no mercado. Porém como este estudo faz uma abordagem teórica da ideia em desenvolvimento, faz-se necessário definir os aspectos construtivos desta máquina para um pré-projeto.

Portanto, a partir dos estudos realizados por meio das pesquisas e revisões bibliográficas, tomou-se como base uma modelagem 3D de sua estrutura, para que futuramente se desenvolva um protótipo, inspirado neste projeto. Primeiramente, a mesa de trabalho seria plana e retangular e conta com mancais laterais para sustentação e movimentação dos eixos X e Y, com rolamentos lineares, já o eixo Z, será composto por um fuso esférico auxiliado por rolamentos lineares, resultando em uma CNC com 3 eixos de operação, como pode ser visto na figura (2). Além disso, pode ser observado o sistema eletromecânico, ou seja, os motores de passo, responsáveis pela movimentação dos eixos, que irão realizar este movimento através das correias e polias sincronizadoras.

Todo este processo será executado pelo sistema de controle, através dos dados gerados em computador e recebidos pelo Arduíno (plataforma escolhida), importando-os a Shield CNC (controladora), que conta com 4 drivers para a ativação dos motores de passo, também, é importante ressaltar que o sistema de alimentação do sistema é mantido por uma fonte regulável linear de 0Vcc-12Vcc e 10A, pois apresenta poucos ruídos. Este conjunto é ilustrado na figura (3), exibida em formato explodido, para melhor compreensão dos elementos da fresa CNC.

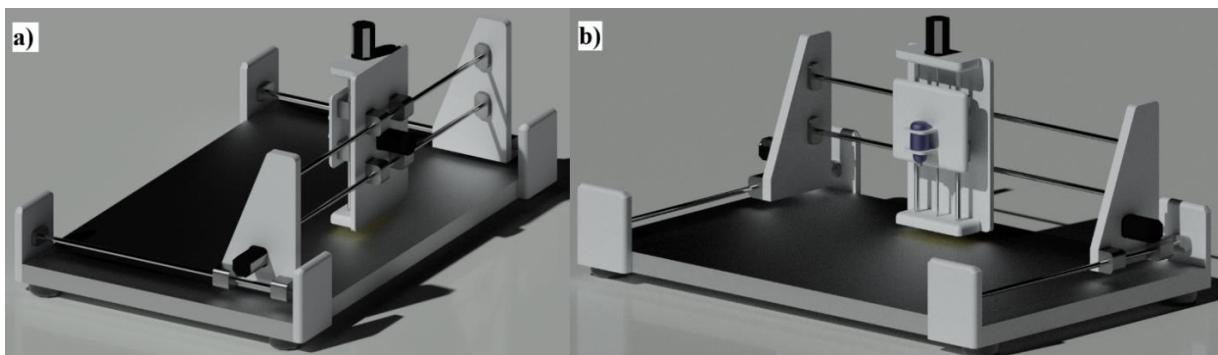


FIGURA 2 – (a) - Vista traseira; (b) – Vista frontal em perspectiva da CNC, com operação em 3 eixos (X, Y e Z).

A figura (2) ilustra a modelagem 3D realizada no software AutoCAD 2024, para melhor compreendimento da estrutura física do projeto, cujas vistas possuem duas perspectivas diferentes, tanto da parte traseira (a), quanto da frontal (b), da máquina CNC fresadora elaborada. Assim, esta modelagem contribuirá para a construção de um protótipo. Porém, também é válido separá-la em alguns conjuntos, para evidenciar e descrever elementos importantes que constituem sua estrutura.

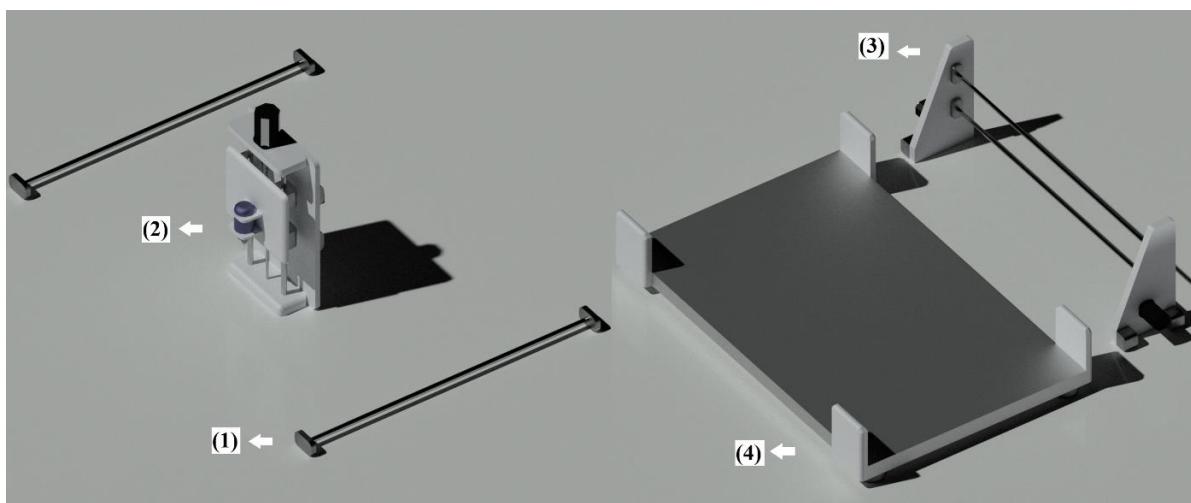


FIGURA 3 – (1) – Eixos para deslocamento na direção Y; (2) – Conjunto estrutural para deslocamento na direção Z; (3) Eixos para deslocamento na direção X; (4) – Mesa de trabalho.

Por fim, na figura (3) são destacados os elementos essenciais ao projeto, ou seja, no item (1) podem ser observados os eixos com seus respectivos mancais de apoio para que a máquina se desloque no eixo Y, quando vista de frente. Já no item (2), é destacado um conjunto estrutural para o eixo Z, que ajustará a altura da ferramenta fresadora, nele, estão contidos o fuso esférico, acompanhando de dois guias lineares e seus respectivos rolamentos lineares, assim como os mancais e dois motores de passo, um superior, e um traseiro. O motor superior terá o papel de ajustar a altura da ferramenta, ao passo que o traseiro irá executar o movimento ao longo do eixo X, que se encontra representado no item (3), que também possui dois motores de passo em ambas as laterais, responsáveis pelo deslocamento no eixo Y. No item (4), foi modelada a mesa de trabalho e seus respectivos pés de apoio, para que seja possível utilizar a máquina CNC fresadora em uma bancada.

CONCLUSÕES

Com base nos estudos realizados acerca da problematização e aplicação deste projeto, é possível realizar a construção de uma fresa CNC para prototipagem de placas de circuito impresso (PCI), com menor valor de custo, mais simplificada e em escala menor, em relação às encontradas comercialmente. Como se trata de um projeto que se encontra em desenvolvimento, é importante destacar o fato de que possíveis melhorias e adaptações podem ocorrer, para uma melhor otimização de um futuro protótipo, baseado neste projeto, e implementado a ele toda a parte de controle e eletrônica, assim que a estrutura

estiver construída e finalizada. Visto que este projeto visa realizar somente o estudo teórico, dimensionamento e definição de tais componentes e elementos necessários a ele, pode proporcionar ao aluno pesquisador uma ampla área de conhecimento, como a eletrônica aplicada, mecânica, experiência com softwares CAD/CAM e o controle numérico computadorizado voltado a fabricação de PCI's.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

C.M.S e D.B.V contribuíram na concepção do projeto e orientação. G.H.M atuou na redação, pesquisa e desenvolvimento do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo pela oportunidade, por meio do programa PIBIFSP; ao Grupo de Pesquisa em Automação e Inovação (GPAI) pelo suporte, ao Prof. Dr. Claudiner pela orientação e ao Prof. Dr. Danilo pela colaboração.

REFERÊNCIAS

Fiebig, R. **Protótipo de um CNC Router.** 2018. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, Rio Grande do Sul, 2018.

NEOMOTION. Datasheet de produto: Motores de passo. Disponível em: <https://www.neomotion.com.br/wp-content/uploads/2017/07/Cat%C3%A1logo-Datasheet-dos-motores-de-passo-R01.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2023.

P. A. S. Rocha Jr., V. S. Kataoka, R. D. S. E. Silva, and M. E. L. Tostes, "Planejamento de Trajetória Aplicado a uma Máquina de Controle Numérico Computadorizado," Anais do XIX Congresso Brasiliero de Automática, 2012, 2012.

M. P. Groover, Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing. Upper Saddle River: Pearson, 2008.

REIS, Aparecido Donizete da Silva et al. **PROJETO DE MÁQUINA CNC 3 EIXOS.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Fundação Educacional de Ituverava, 2018.

ROCHA JÚNIOR, Paulo Augusto Sherring et al. Projeto e implementação de um sistema de controle numérico computadorizado: trajetórias suaves através da limitação de snap. 2019.

LYRA, P. V. A. **Desenvolvimento de uma Máquina Fresadora CNC Didática.** 2010. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2010.

OLIVEIRA, F. B. **Projeto, construção e caracterização de uma fresadora CNC de bancada.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.

MOREIRA, Pedro Henrique Soares. **Projeto e implementação de fresa CNC de baixo custo para confecção de trilhas de circuito impresso.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Polastrini, F. H. **Desenvolvimento de uma máquina CNC de baixo custo.** 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Formiga, Formiga, Minas Gerais, 2016.