



PROJETO ELETROELETRÔNICO DE UM BRAÇO ROBÓTICO DO TIPO SCARA UTILIZANDO COMANDO CNC

Edivan Dagostin Luciano¹

Anderson Daleffe²

Magali da Rosa³

Resumo: O ensino da robótica vem ganhando cada vez mais espaço nas escolas e faculdades visto que esta atividade exige do estudante conhecimento em diversas disciplinas como mecânica, eletroeletrônica, automação e informática. Desta forma possibilita ao aluno que o mesmo esteja mais preparado para as atuais exigências da indústria. O desenvolvimento deste artigo pretende projetar um sistema de controle eletroeletrônico para um manipulador robótico didático do tipo SCARA utilizando componentes industriais e padronizados. O projeto foi montado e testado no laboratório PRONTO 3D da Faculdade SATC e tem por base uma placa controladora CNC interfaceada com o *software Mach3*, instalado em um microcomputador, que interpreta as coordenadas inscritas em linguagem Código G e as transforma em comandos e ações realizadas pelos atuadores e efetuador do manipulador robótico. A programação do manipulador é realizada pelo método de aprendizagem ativa ponto a ponto, e utiliza recursos do *Mach3* para gravar os pontos desejados e transformá-los em Código G. O manipulador realizou sua programação corretamente e executou todos os movimentos e ações conforme o planejado mostrando ser uma excelente ferramenta didática para o aluno compreender o funcionamento de um sistema de controle eletroeletrônico e também aprender sobre o método de programação utilizado no braço robótico.

Palavras-chave: Manipulador robótico. SCARA. CNC. *Mach3*.

1 INTRODUÇÃO

Após a segunda guerra mundial a sociedade vivenciou um grande crescimento tecnológico. Muitas destas tecnologias surgiram ou foram aperfeiçoadas devido aos esforços de guerra dos países envolvidos no conflito. Podemos citar como uma dessas tecnologias que surgiram neste período o computador.

O computador é a base dos processos automatizados que são cada vez mais utilizados não só na indústria, mas também nas residências. Um exemplo de automação na indústria é o uso de manipuladores robóticos utilizados para agilizar e melhorar processos produtivos.

¹, Graduado Tecnologia em Manutenção Industrial Faculdade Satc. E-mail: eddie_xr@hotmail.com

²Professor Faculdade, SATC. E-mail: andersondaleffe@satc.edu.br

³ Professora Faculdade SATC. E-mail: magali.rosa@satc.edu.br



Pensando em familiarizar os alunos da Faculdade SATC com a robótica e aproxima-los desta tecnologia será desenvolvido no laboratório PRONTO 3D (Laboratório Prototipagem e Novas Tecnologias orientadas ao 3D), localizado na mesma entidade, o sistema de controle eletroeletrônico de um braço robótico SCARA (*Selective Compliant Articulated Robot for Assembly*) do tipo RRP (dois eixos rotacionais e um eixo prismático). Optou-se por esse tipo de manipulador por possuir uma mecânica simples ser de dimensões pequenas e ser um modelo bastante utilizado na indústria.

Especificamente o presente artigo tem como objetivo desenvolver o projeto e a montagem do sistema eletroeletrônico e configuração do *software* de controle do braço robótico, pois, toda a sua estrutura mecânica já se encontra finalizada.

O braço robótico é para fim didático e utiliza uma placa controladora CNC (Controle Numérico Computadorizado) para realizar seus movimentos, ações e programação. O *software* para a interface utilizado é o *Mach3* instalado em um microcomputador. O *Mach3* possui um recurso que pode salvar as coordenadas, posições espaciais, determinadas e as transforma em linguagem Código G, desta forma o manipulador robótico pode ser programado através do método de programação por aprendizagem ativa ponto a ponto, executando uma sequência de movimentos e ações determinadas, sempre a partir de um ponto de referência.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para realizar o desenvolvimento deste projeto foi necessário começar fazendo uma leitura de material técnico, livros e artigos relacionados ao tema da robótica, máquinas e acionamentos elétricos e tecnologia CNC. Como resultado da pesquisa obteve-se conhecimento a respeito dos seguintes elementos:

2.1 ROBÓTICA

“A robótica abrange tecnologia de mecânica, eletrônica e computação. Além disso, participam em menor grau teoria de controle, microeletrônica, inteligência artificial, fatores humanos e teoria de produção” [1].

Atualmente, grande parte dos robôs em uso está mais próximo de um dispositivo chamado “manipulador”, que consiste em um braço mecânico controlado

por uma pessoa ou automaticamente através de um programa de computador. Esses manipuladores são utilizados para a realização de serviços que exigem eficiência e precisão ou atividades nocivas para humanos realizarem. A robótica é a área que se preocupa com o desenvolvimento de tais dispositivos [2,3].

2.1.1 Robótica Educacional

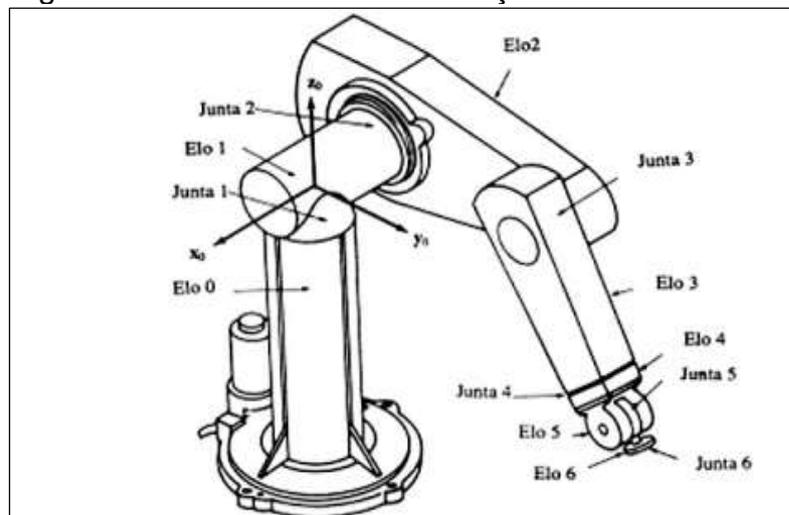
A robótica educacional vem ganhando cada vez mais espaço dentro da sala de aula, pois proporciona o aumento do interesse e a criatividade dos alunos e utiliza-se dos conceitos de diversas disciplinas para a construção de modelos.

Nesse tipo de atividade, o aluno estuda em sala de aula os conceitos da robótica na prática realizando a sua programação, estudando o sistema mecânico e eletromecânico que o compõe. A robótica didática envolve um processo de motivação, colaboração, construção e reconstrução [4].

2.1.2 Tipos de Manipuladores Robóticos

Existem diversos tipos de manipuladores robóticos e cada um desses tipos realiza tarefas específicas. Esses tipos de robôs surgem por meio de combinações de juntas e elos (Fig. 1) para se conseguir a configuração desejada. Partes mecânicas, atuadores, sensores e efetadores podem ser montadas de varias formas produzindo tipos diferentes de estruturas físicas de manipuladores [1,3].

Figura 1: Juntas e Elos de um braço robótico

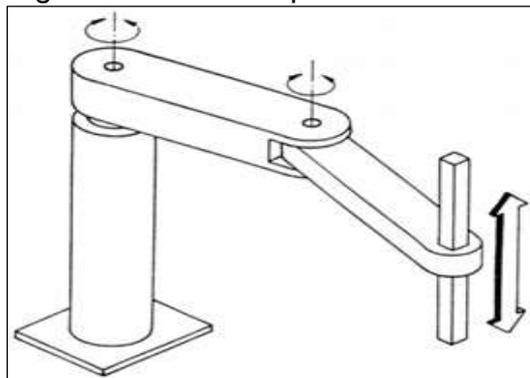


Fonte: [5].

2.1.3 Robô do Tipo SCARA

O manipulador robótico do tipo SCARA é do tipo RRP e realiza movimentos predominantemente horizontais. Os robôs SCARA são apropriados para operações de montagem devido ao movimento linear vertical do terceiro eixo [3,6]. Na Fig. 2 é mostrada a configuração de um robô do tipo SCARA.

Figura 2: Robô do tipo SCARA



Fonte: [3].

2.2 PROGRAMAÇÃO DE ROBÔS

Existem vários métodos de programação de robôs desses vários métodos podem ser classificados em duas categorias básicas: programação por aprendizagem e linguagem textual.

Na programação por aprendizagem existe uma técnica chamada de aprendizagem ativa ponto a ponto, este é um dos métodos mais comuns. Consiste de um ser humano fazendo com que o robô mova-se através do acionamento de botões ou chaves localizados num controle remoto em certa ordem afim de que o atuador seja posicionado no ponto desejado. Ao atingir o ponto desejado, o mesmo é gravado nesta posição através de um botão denominado de tecla de registro [3,6].

2.3 TECNOLOGIA CNC

Os primeiros trabalhos de desenvolvimento em controle numérico são creditados a John Parsons e Frank Stulen na Parsons Corporation em Michigan no final dos anos de 1940. Parsons prestava serviços de usinagem para a Força Aérea dos EUA e inventou um meio de usar dados de coordenadas numéricas para mover uma mesa de trabalho de uma fresadora para produzir peças complexas para aeronaves [7].



O microcomputador é o cérebro do sistema de controle de uma máquina CNC, e é comumente chamado de MCU (*Machine Control Unit*) este possui a função de armazenar e executar um programa, convertendo cada linha de comando em ações produzidas pelo equipamento a ser controlado.

A MCU consiste de *hardware* e *software*. O *hardware* inclui o microcomputador e a placa de interface que recebe e envia sinais para os atuadores e sensores. O *software* na MCU inclui o software de controle do sistema, algoritmos de cálculo e software de tradução para converter o programa em CN (Comando Numerico) escrito para a peça em um formato utilizável pela MCU [7,8].

2.4 SOFTWARE MACH3

O *Mach3* é um *software* CNC baseado em microcomputador que viabiliza o comando de máquinas com até seis eixos. O *Mach3* comunica-se através da porta paralela, LPT1, do microcomputador com o *hardware* do equipamento a ser controlado gerando pulsos de passo e sinais de direção para executar as etapas definidas por um programa de Código G [9,10].

2.5 CODIGO G E FUNÇÕES MISCELÂNEAS

“Código G é uma linguagem de programação para CNC que instrui as máquinas onde e como se mover. O código G significa "código geométrico" e segue algumas variações do padrão alfanumérico” [11].

O bloco de comando (linha) (G01 X1 Y1 F20 T01 M03 S500) significa: Movimento de avanço linear G01 para a posição X e Y, o avanço linear tem como unidade milímetros ou polegadas, dada na taxa de avanço F de 20 mm/min usando a ferramenta T igual a 01, e a velocidade do fuso S igual a 500 rpm. Já as funções M ou miscelâneas são principalmente funções de comutação e estas incluem ligar e desligar fuso, sentido de rotação do fuso (horário ou anti-horário), ligar e desligar líquido refrigerante, troca de ferramentas, etc. Por exemplo: M08 e M09 ligam e desligam o motor do líquido refrigerante respectivamente, já M30 encerra a execução de um programa [8].



2.5 MOTORES DE PASSO

O motor de passo é uma máquina elétrica que produz uma rotação em ângulos iguais, denominado passo, por cada pulso digital que chega a sua entrada. Por exemplo: Um motor que gira 1° grau a cada passo recebido exigirá 360 pulsos para mover 360° graus, sendo assim este motor terá uma resolução de 360 passos por revolução. Quantos graus o eixo se move por passo é a sua resolução. O movimento criado por cada pulso é preciso e repetível. [12,13].

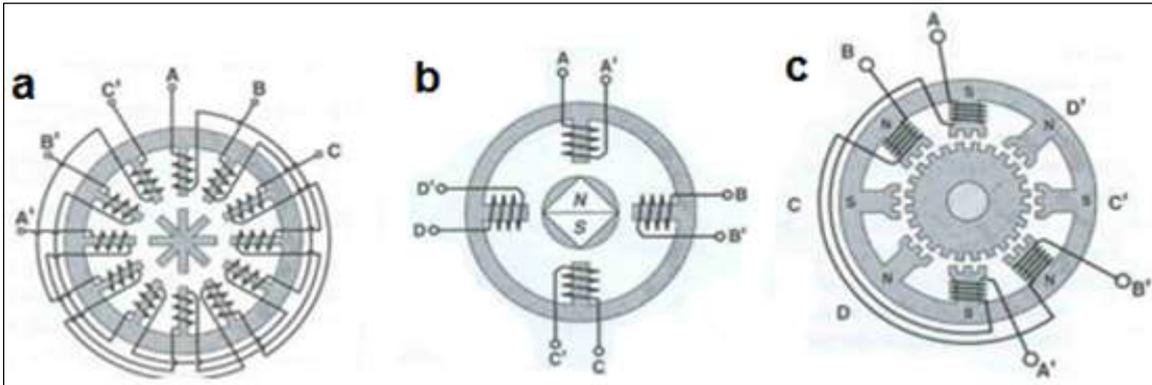
2.5.1 Principais Tipos de Motores de Passo

Motor De Relutância Variável: Este tipo de motor (Fig. 3a) não utiliza Ímãs permanentes por este motivo seu eixo gira livremente quando não está energizado. São pouco utilizados em aplicações industriais.

Motor de Imã Permanente: Motores de imã permanente (Fig. 3b) possuem baixo custo e baixa resolução entre 24 e 48 passos por revolução. O rotor é construído com imãs permanentes e não possui dentes por este motivo exibe uma melhor característica de torque, quando comparado ao de relutância variável.

Motor Passo Híbrido: O motor híbrido (Fig. 3c) é o motor de passo mais utilizado em aplicações industriais. Combina o modo de operação dos motores de relutância variável e dos de imã permanente. A maioria dos motores híbridos é de duas fases. O estator e o rotor magnético dos motores híbridos são dotados de vários dentes (polos magnéticos) para o rotor poder dar múltiplos passos geralmente $1,8^\circ$ graus cada no caso do motor de 200 passos. Desta forma combina grande torque estático e dinâmico e boa resolução [12, 13,14].

Figura 3: (a) Motor de Relutância Variável, (b) Motor de Imã Permanente, (c) Motor Híbrido



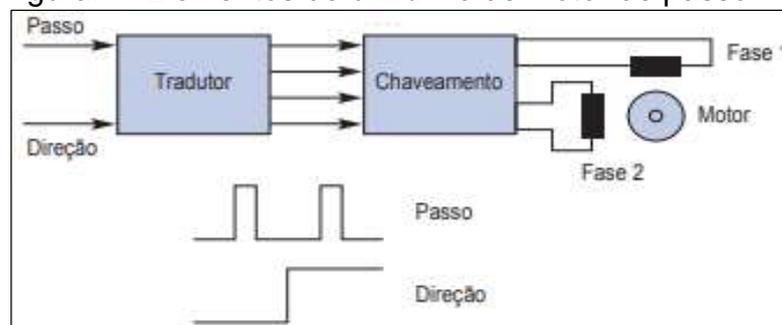
Fonte: [15].

2.5.2 Drive Para Motores de Passo

“O *drive* para motor de passo fornece energia elétrica ao motor em resposta a sinais de baixa tensão do sistema de controle. O motor é um dispositivo de criação de torque, e esse torque é gerado pela interação de campos magnéticos” [16]. O seu funcionamento é como uma fonte de corrente a tensão serve apenas como meio de controlar a corrente. O *drive* recebe sinais vindos em forma de trem de pulsos em sua entrada (Fig. 4) para controlar direção e quantidade de passos do motor. Cada pulso gera um passo.

O *drive* pode controlar um motor de passo de três modos que são eles: Passo completo, meio passo e micro passo e quando se necessita melhor desempenho e eficiência, o *drive* bipolar é a melhor escolha por possuir a capacidade de direcionar a corrente em ambas as direções em cada bobina do motor [15,16].

Figura: 4. Elementos de um *drive* de motor de passo



Fonte: [16].

2.6 EFETUADORES DO TIPO GARRA

Um robô industrial é um equipamento multifuncional e para cumprir com determinada função o robô deve ser equipado com ferramentas especiais projetadas para cada tipo de aplicação.

Os efetadores do tipo garra são projetados para agarrar e mover objetos durante o ciclo de trabalho. Geralmente um efetador é acionado eletricamente através de uma válvula solenóide. “Uma válvula solenóide é um dispositivo eletromecânico que funciona quando passa uma corrente elétrica através de uma bobina, mudando assim o estado da válvula” [13]. Na Fig. 5(a) e 5(b) é mostrado uma configuração típica de efetador do tipo garra e seu mecanismo de acionamento por válvula solenóide respectivamente [7, 13].

Figura 5: (a) Efetador do tipo garra e (b) Válvula solenóide



Fonte: [7,13].

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O projeto eletroeletrônico do manipulador foi montado em duas etapas. Na primeira etapa foi realizado o teste em bancada do sistema eletroeletrônico para configurar e testar os seus componentes. Na segunda etapa foi feita a montagem dos componentes testados no painel elétrico e instalado todos os atuadores, sensores e efetador no braço robótico.

3.1 TESTES EM BANCADA

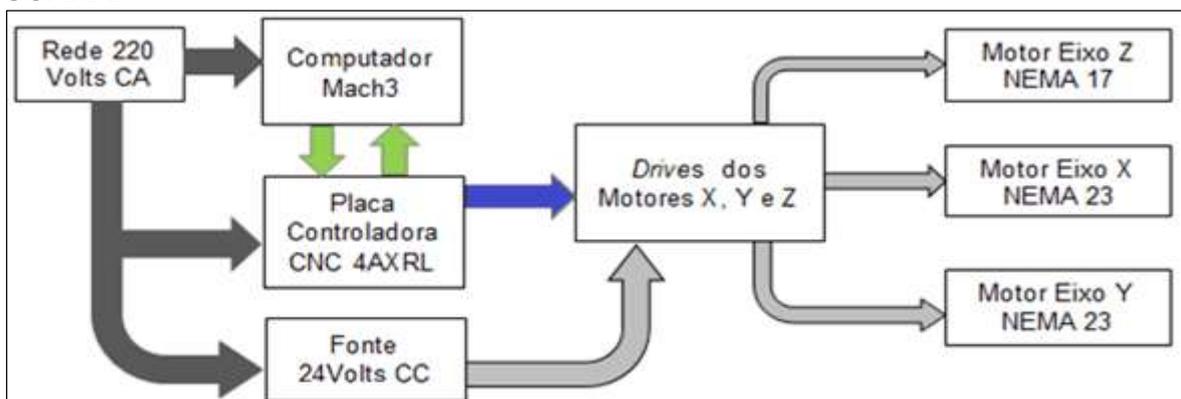
Primeiramente foram alimentados fonte de alimentação chaveada de 10 Amperes, 240 Watts com saída de 24 Volts CC (Corrente Contínua) e a placa controladora CNC 4AXRL do fabricante CNC Brasil na rede elétrica em 220 Volts CA

(Corrente Alternada). Através da saída de 24 Volts da fonte de alimentação foram alimentados em paralelo os três *drives* STR2 do fabricante *Applied Motion* que aceitam uma faixa de alimentação de 12 a 48 Volts CC. Na sequência foram ligados os três *drives* na placa controladora CNC e os motores de passo aos seus respectivos *drives*.

Os motores de passo utilizados foram dois NEMA 23 modelo AK23/15F6FN1.8, e um NEMA 17 modelo JK42HS38 com consumo de 2,1 e 0,4 Amperes/fase respectivamente. Todos os motores utilizados são do tipo híbrido possuem duas fases cada e ambos com resolução de 1,8° por passo.

O diagrama de bloco (Fig. 6) dá um melhor entendimento da montagem e mostra como a mesma foi realizada.

Figura: 6. Diagrama de bloco da montagem do sistema eletroeletrônico do robô SCARA.



Legenda: ■ 220 Volts ■ 24 Volts ■ Porta Paralela LPT 1, ■ Sinais de Controle Drive.
Fonte: Do Autor (2018).

3.1.1 Ligação dos Motores de Passo

Os motores de passo foram ligados cada um aos seus respectivos *drives* através da ligação em série. Foi utilizado um multímetro digital do fabricante Minipa, modelo ET-1002, para medir as resistências dos enrolamentos e separá-los. Após ser identificado os enrolamentos dos motores de passo, os mesmos foram separados em A e B e cada enrolamento possui dois terminais A+ e A- e B+ e B- totalizando quatro fios que foram conectados nos *bornes* dos *drives* conforme Fig. 7a.

Figura: 7. (a) Conector alimentação e (b) entrada de sinais

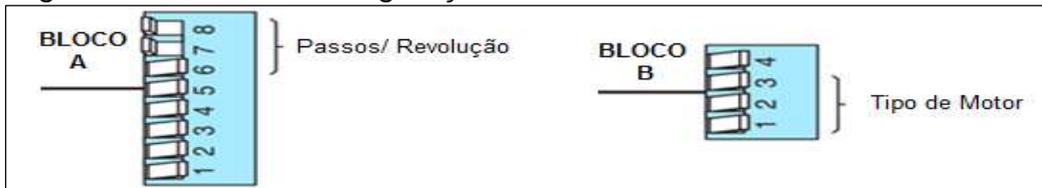


Fonte: [17].

3.1.2 Parametrização dos Drivers

O *drive* STR2 possui chaves que tem a função de ajustar os parâmetros de funcionamento dos motores de passo. Essas chaves são divididas em dois blocos A e B, conforme a Fig. 8.

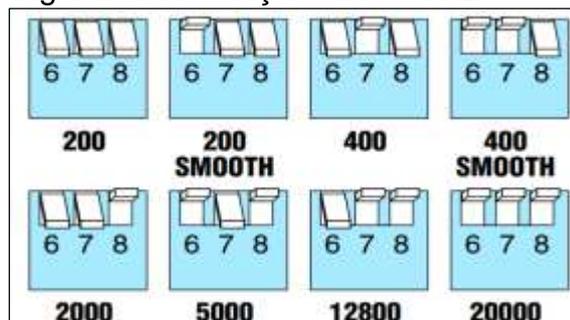
Figura 8: Chaves de configuração dos drives STR2



Fonte: [17].

No bloco B existem quatro chaves e foram configuradas somente as chaves B1, B2 e B3 que possuem a função de ajustar o tipo de motor de passo de acordo com seu tipo de ligação e corrente máxima consumida por fase. No manual do *drive* STR2 existe uma tabela que indica a corrente nominal de cada tipo de motor de passo. No bloco A, foi determinado primeiramente nas chaves A6, A7 e A8, o número de pulsos por revolução e o modo de operação dos motores de passo. Conforme indica a Fig. 9, foram configuradas as chaves para 200 pulsos por revolução.

Figura: 9. Resolução *drive* STR2



Fonte: [17].

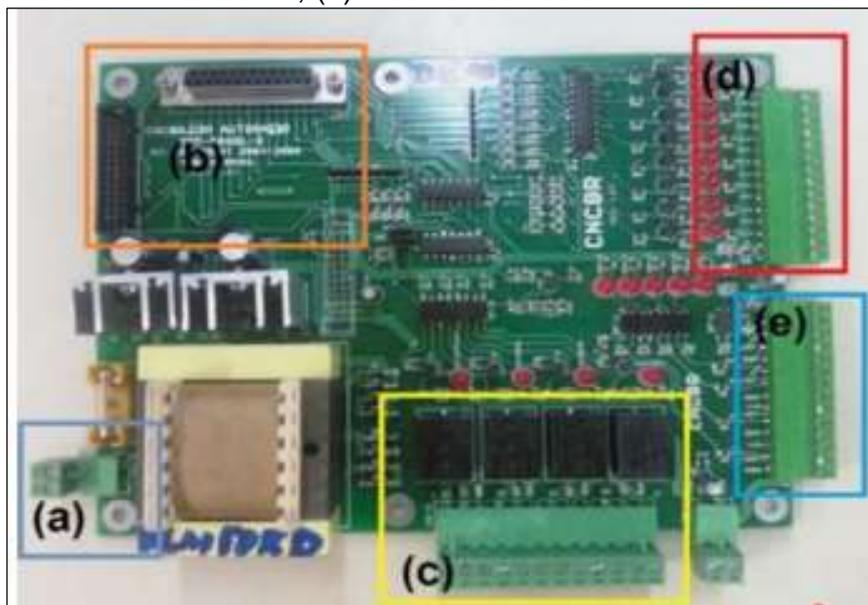
As demais chaves do bloco A não foram alteradas. Os *drives* STR2 de cada eixo possuem também um conector conforme Fig. 7b, onde o mesmo recebe pulsos do tipo NPN, de passo e direção (*STEP* e *DIR*) e tensão de +5 Volts (+*COM*) vindos da placa controladora CNC.

3.1.3 Placa Controladora CNC

A placa controladora CNC 4AXRL conforme mostra a Fig. 10 é um dispositivo que recebe e envia sinais para realizar os movimentos e ação do manipulador e pode controlar até quatro eixos. Se conecta ao microcomputador através da porta paralela LPT 1 utilizando o conector padrão DB25 de 25 pinos. Possui *bornes* para entrada e saída de sinais e também possui quatro saídas a relé para acionar dispositivos externos. Para conectar a placa controladora CNC com os *drives* dos eixos X, Y e Z foram utilizado os *bornes* de saída a comando da placa controladora CNC conforme o destaque (d) da Fig. 10.

A configuração dos eixos X, Y e Z, sensores de referencia e limite de fim de curso (*Home/Limit*), botão de emergência e ativar as saídas à relé utilizou-se a Tabela 1, de pinos da porta paralela da placa controladora CNC 4AXRL.

Figura: 10. Placa condicionadora de sinais 4AXRL, destacando (a) alimentação da rede, (b) comunicação com PC, (c) saídas à relé, (d) saídas a comando e, (e) entrada de sinais



Fonte: [10].

Tabela 1: Pinos porta paralela placa CNC 4AXRL.

Pino	Descrição	Tipo de Sinal
1	Saída a Relê 1	Saída NPN
2	Step/Passo de X	Saída NPN
3	Dir/Direção de X	Saída NPN
4	Step/Passo de Y	Saída NPN
5	Dir/Direção de Y	Saída NPN
6	Step/Passo de Z	Saída NPN
7	Dir/Direção de Z	Saída NPN
8	Step/Passo de A	Saída NPN
9	Dir/Direção de A	Saída NPN
10	Emergência	Entrada +5 V
11	Home/Limit de X	Entrada +12 V
12	Home/Limit de Y	Entrada +12 V
13	Home/Limit de Z	Entrada +12 V
14	Saída a Relê 2	Saída NPN
15	Home/Limit de A	Entrada +12 V
16	Saída a Relê 3	Saída NPN
17	ChargePump/Saída a Relê 4	Saída NPN
18	GND	0V

Fonte: Adaptado de [18].

3.1.4 Configuração do Software CNC Mach3

O software CNC utilizado foi o Mach3 pelo fato de ser uma opção de controle de fácil operação e possuir uma versão gratuita. O Mach3 foi utilizado para enviar e receber os sinais elétricos vindos da placa controladora CNC A4XRL que por sua vez controla os motores de passo e a válvula pneumática, sendo que o controle dos motores através dos drives e a válvula pneumática através da válvula solenoide. Na tela inicial do software Mach3 existem vários campos que podem ser configurados de forma que venha a ter um controle preciso e variado nos movimentos.

Na tela inicial do software Mach3 existe a opção de configuração na parte superior, conforme Fig. 11.

Figura: 11. Barra de configurações do software Mach3.



Fonte: [9]

Em *Config>Select Native Units* configurou-se primeiramente o tipo de unidade com que o *software Mach3* irá trabalhar, no caso unidades em milímetros. Feito isto em *Config>Ports and Pins>Motor Outputs* foi habilitado e configurado os pinos de sinais de saída para controlar os pulsos (*Step*) e a direção (*Dir*) dos motores dos eixos X, Y e Z conforme Fig. 12.

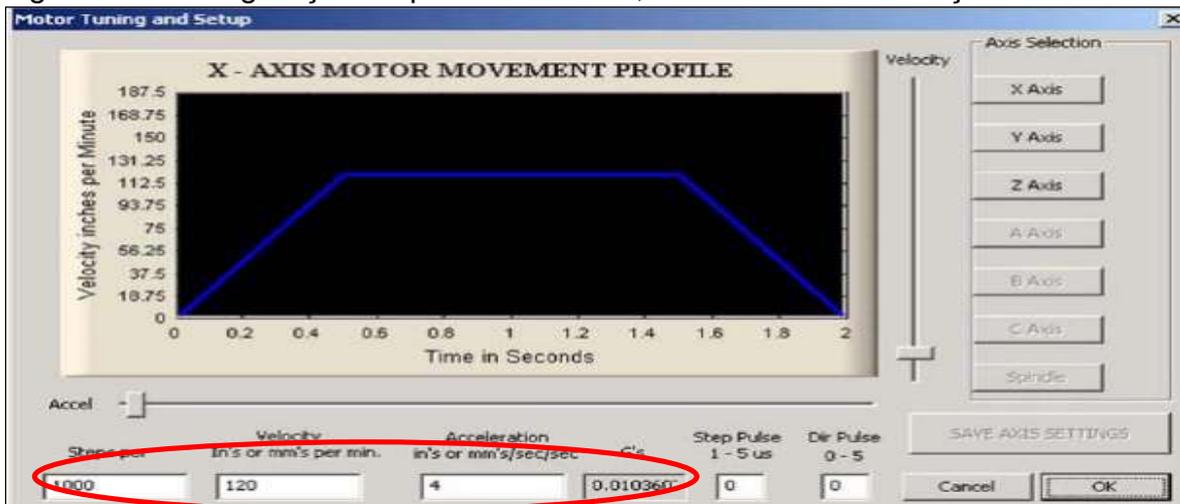
Figura: 12. Pinos de sinais de saída para controlar os motores dos eixos X, Y e Z

Signal	Enabled	Step Pin#	Dir Pin#	Dir LowActi...	Step Low A...	Step Port	Dir Port
X Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	2	3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Y Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	4	5	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0
Z Axis	<input checked="" type="checkbox"/>	6	7	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0	0

Fonte: [9].

Com os pinos dos motores já configurados foi necessário ajustar em *Config>MotorTuning* a velocidade, aceleração e a quantidade de passos por unidade em cada motor Fig. 13.

Figura: 13. Configuração de passos/unidade, velocidade e aceleração dos eixos



Fonte: [9].

A velocidade e aceleração dos motores foram ajustadas de acordo com a necessidade do manipulador, já a quantidade de passos por unidade, foi ajustada da seguinte forma: a cada pulso recebido o motor dá um passo e gira um ângulo de 1,8



graus, ou seja, para o motor dar uma volta completa 360 graus, o mesmo terá que dar 200 passos, este cálculo foi realizado com base na Eq.1.

$$\alpha = \frac{360}{N_s} \quad (1)$$

Onde:

α = ângulo do passo (graus);

N_s = número de passos.

Para configurar a quantidade de passo por unidade do eixo Z que é do tipo prismático e possui um fuso com passo de 1,5 mm foi efetuado o seguinte cálculo, Eq.2:

$$Pu = \frac{N_s}{p} \quad (2)$$

Onde:

Pu = passos por unidade;

N_s = número de passos;

p = passo do fuso.

Nos eixos X e Y que realizarão movimentos rotacionais, acoplamento direto, a unidade calculada passou a ser o grau e não mais o milímetro como no eixo Z. Esta medida foi adotada para poder adaptar o *software* CNC *Mach3* que é projetado para mover somente eixos prismáticos e utilizou-se a Eq.3 para encontrar o valor de quantos pulsos são necessários para mover cada eixo a medida de 1º grau.

$$Am = \alpha \cdot N_p \quad (3)$$

Onde:

Am = ângulo do eixo de rotação do motor (graus);

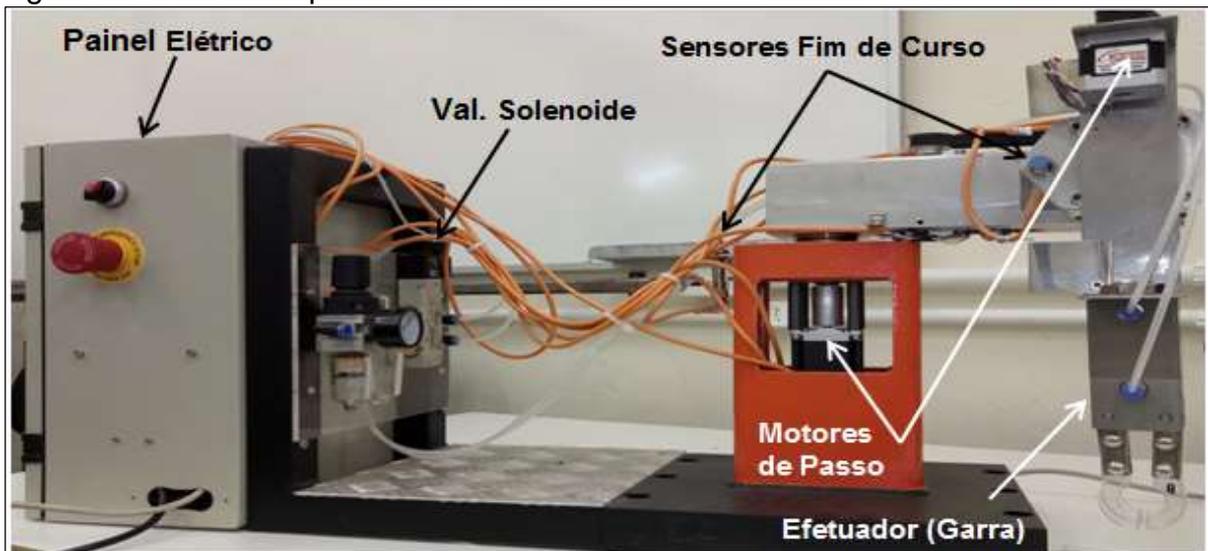
α = ângulo do passo (graus/passos);

N_p = número de pulsos recebidos pelo motor de passo.

2.7 INSTALAÇÃO DOS COMPONENTES NO BRAÇO ROBÓTICO

Os componentes eletroeletrônicos foram acondicionados em um painel elétrico e feito a ligação dos motores dos eixos X, Y e Z, seus respectivos sensores de fim de curso e válvula eletropneumática, que já estavam instalados em suas devidas posições na estrutura do manipulador (Fig. 14).

Figura: 14. Robô do tipo SCARA.



Fonte: Do Autor (2018).

2.7.1 Sensores de Fim de Curso

Os sensores indutivos do tipo NPN, modelo PR12-4DN-L usados no manipulador possuem dupla função “*Home/Limit*” que é referenciar e servir de fim de curso para cada eixo respectivamente, esta última função é essencial para o funcionamento seguro do braço robótico. Os sensores e o botão de emergência foram conectados nos *bornes* de entrada de sinais da placa controladora CNC 4AXRL como mostra a Fig. 15.

Figura: 15. Entrada de sinais placa CNC 4AXRL.



Fonte: [18]

2.7.2 Acionamento do Efetuator do Tipo Garra

Para acionar o efetuator “garra” do manipulador foi habilitado em *Config>Port and Pins>Output Signals* (Fig.16) a saída à relé *output #1*, *Pin Number 1*, *Port #1* que é configurada pelo *software Mach3* para ser ligada e desligada pela função M8 e M9 respectivamente. Foi preciso também habilitar o sinal *Charge Pump*, *Pin Number 17*, *Port #1* que serve para habilitar às saídas a relé da placa controladora 4AXRL. *Port # 1* significa comunicação com a porta paralela LPT 1.

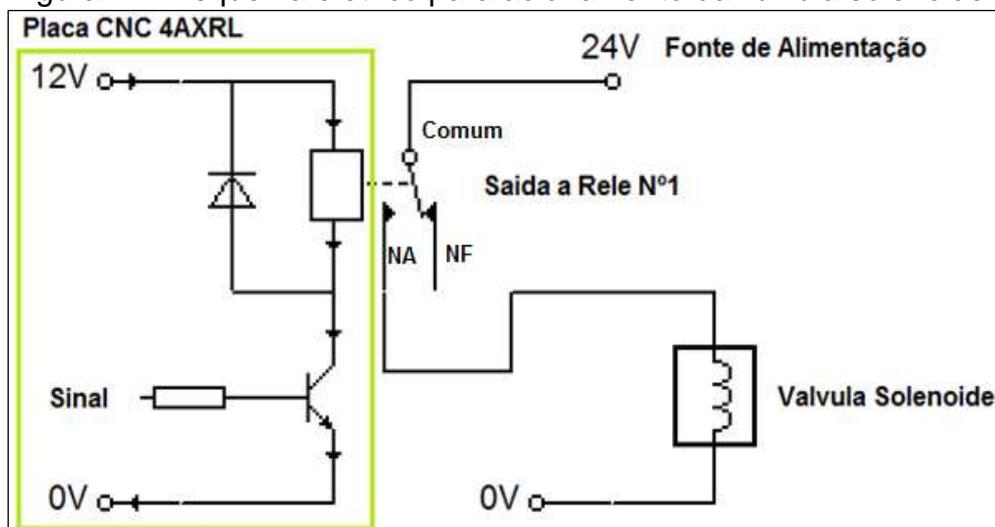
Figura: 16. Configuração de saídas de sinais *software Mach3*.

Signal	Enabled	Port #	Pin Number	Active Low
Enable6		1	0	
Output #1		1	1	
Output #2		1	0	
Output #3		1	0	
Output #4		1	0	
Output #5		1	0	
Output #6		1	0	
Charge Pump		1	17	

Fonte: Do Autor (2018).

Na Fig. 17 mostra como foi feita a ligação elétrica para realizar o acionamento do efetuator. O *software Mach3* interpreta o comando M8 escrito em Código G, e envia um sinal a placa controladora CNC 4AXRL que por sua vez aciona o relé N°1 acionando a válvula solenoide.

Figura: 17. Esquema elétrico para acionamento da válvula solenoide.



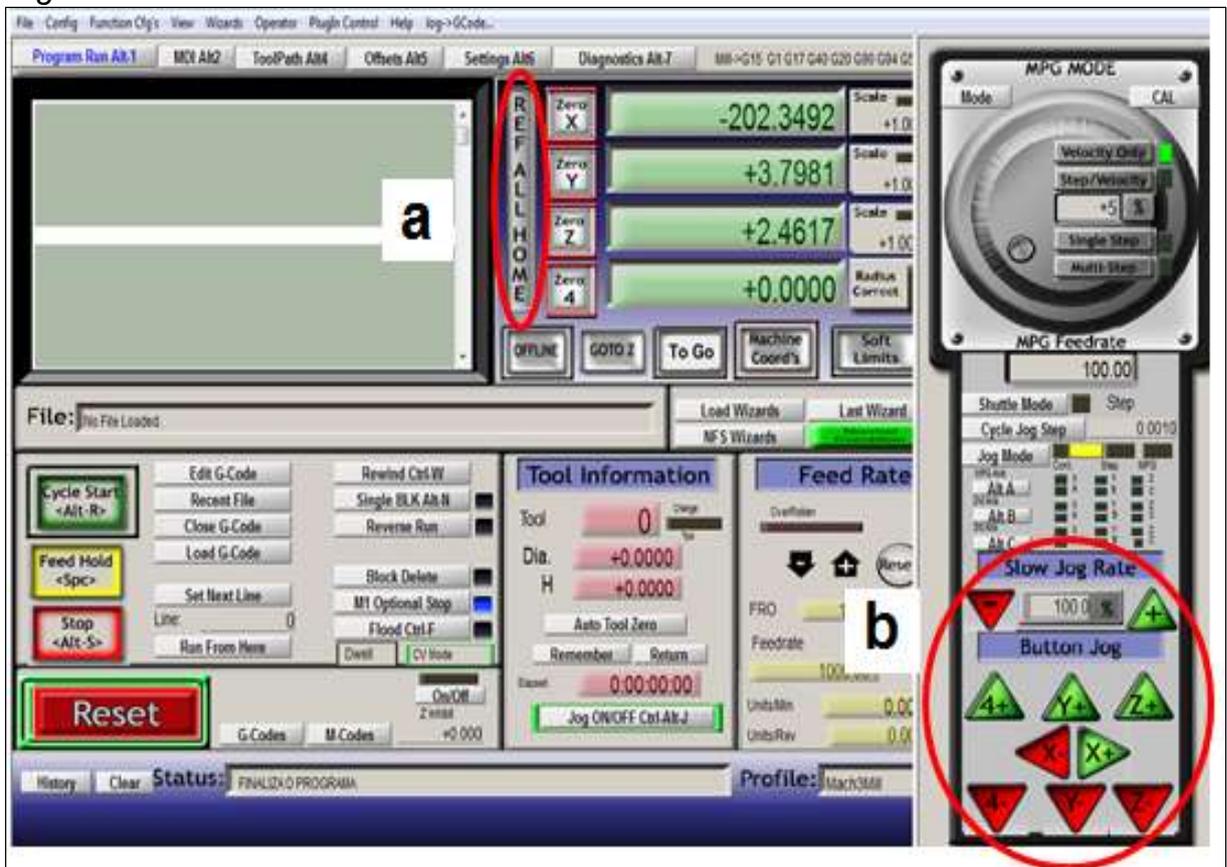
Fonte: Do Autor (2018).

3 ANÁLISE DOS DADOS

Após todo o sistema eletroeletrônico do manipulador do tipo SCARA já ter sido montado e configurado foram iniciados os testes com o propósito de verificar o correto funcionamento do mesmo. Foi ligado o computador e o painel de controle do robô, energizando dessa forma todo o sistema, e na sequência foi iniciado o *software Mach3*.

Ao iniciar o *software Mach3* na tela inicial foi apertado o botão *Ref All Home*, destaque (a) mostrado na Fig.18, para referenciar os eixos ao ponto zero máquina. Cada eixo é referenciado individualmente até que parte do elo do braço robótico se aproxime do seu respectivo sensor. Logo após os eixos serem referenciados foi pressionada a tecla *Tab* no teclado do microcomputador para acessar os comandos de *Jog*, que possibilitam através de controle manual movimentar os eixos nos pontos desejados, como mostra o destaque (b) da Fig. 18.

Figura: 18. Tela inicial *software Mach3*, destaque (a) *Reff All Home*, (b) controles de *Jog*.



Fonte: Do Autor (2018).



Logo no início da movimentação do braço robótico percebeu-se que o mesmo realizava os movimentos com muita trepidação não conseguindo alcançar os pontos desejados com precisão dos movimentos.

Ao analisar o problema foi concluído que o mesmo ocorria apenas nos motores dos eixos X e Y e a solução encontrada foi alterar o modo de operação dos motores dos eixos citados mudando a posição das chaves que selecionam a resolução dos *drives*. A resolução original era de 200 passos por revolução e foi alterada para 2000 passos por revolução. Nesta resolução o *drive* trabalha no modo de micro passo onde os passos são dados com maior suavidade e maior precisão.

Depois de feito o ajuste nas chaves de resolução dos *drives* o robô SCARA realizou os movimentos suavemente e com boa precisão. Como a resolução dos eixos X e Y foi alterada foi necessário também ajustar a velocidade, aceleração e recalcular passos por unidade utilizando as equações (1) e (3). A Tabela 2 mostra os valores iniciais e depois de ajustados.

Tabela 2: Parâmetros de velocidade, aceleração e passos/unidade antes e depois do ajuste.

Eixos		X	Y	Z
Valores iniciais	Velocidade mm/min	15000	15000	320
	Aceleração mm/s ²	3000	3000	100
	Passos/Unidade	0.556	0.556	133.333
Eixos		X	Y	Z
Valores depois do ajuste de resolução	Velocidade mm/min	1200	1800	320
	Aceleração mm/s ²	100	400	100
	Passos/Unidade	5.556	5.556	133.333

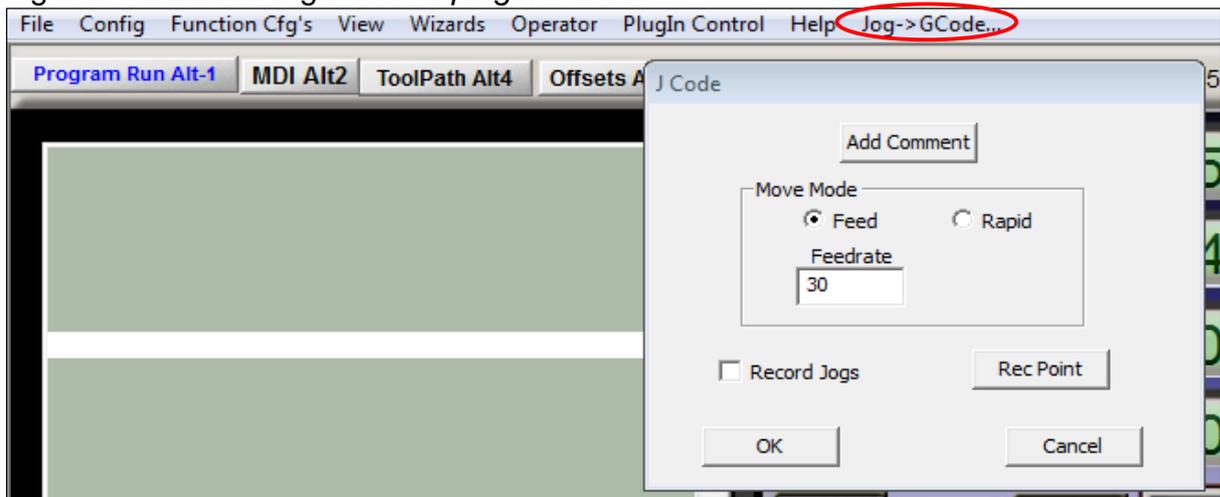
Fonte: Do Autor (2018).

Com o problema da resolução dos *drives* já solucionado iniciou-se a programação do robô SCARA através do método por aprendizagem ativa ponto a ponto e foi necessário para isto instalar um recurso no *software Mach3*, trata-se de um *plugin* chamado *JCode* disponibilizado gratuitamente no site da *ArtSoft* fabricante do *Mach3*, para que o mesmo consiga salvar as posições desejadas e as transformar em linhas de comando Código G.

Na Fig. 19 é mostrada a interface gráfica do *plugin JCode* onde se pode ver o botão *Rec Point* que tem a função de salvar os pontos desejados, aproximadamente quinhentos pontos com a versão livre do *software Mach3*, o botão *Add Comment* que tem a importante função de adicionar comentários às linhas de comando para saber

exatamente em qual linha de comando corresponde ao ponto exato que se deve por o comando M8 e M9 para poder fechar e abrir respectivamente a garra do robô SCARA no momento exato e o campo *Feedrate* onde se ajusta a velocidade com que se movem os eixos.

Figura: 19. Interface gráfica do *plugin JCode*.



Fonte: Do Autor (2018).

Para acessar a função *JCode*, após o mesmo ter sido instalado, foi clicado em *Jog->GCode* na barra de tarefas do *Software Mach3*, como mostra o destaque na Fig.19.

A programação para o primeiro teste consiste em fazer o robô SCARA manipular um pequeno cubo de madeira de um lugar ao outro e iniciou-se a programação referenciando o robô, novamente, clicando no botão *Reff All Home* logo após foi criado um ponto de origem qualquer onde as coordenadas foram zeradas e adicionou-se um comentário com o nome de PONTO 0 e o mesmo foi gravado clicando em *Rec Point*.

Todos os outros pontos foram gravados da mesma forma com a única diferença de que quando se deseja abrir ou fechar a garra foi feito um comentário na respectiva linha de comando. Terminada a programação foi clicado no botão OK da interface do *JCode* e automaticamente foi gerado um programa escrito em linguagem Código G com todos os pontos salvos em um bloco de notas do Windows. Após o bloco de notas ser gerado o mesmo deve ser editado, pois as funções miscelâneas M8 e M9 não são geradas automaticamente. Na Fig. 20 é mostrado o programa CNC inscrito em Código G gerado após finalizar a programação do robô SCARA.

Figura 20: Código G gerado após programação.

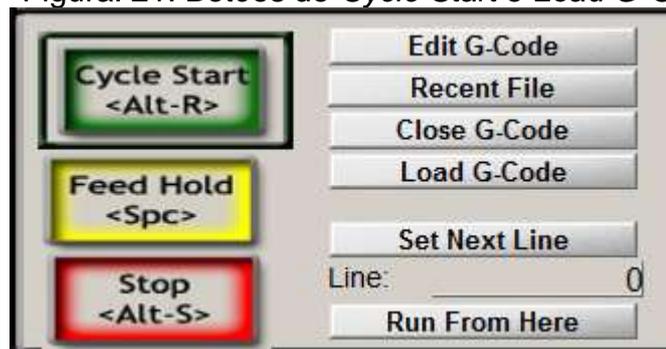
```
Teste_01.tap - Bloco de notas
Arquivo  Editar  Formatar  Exibir  Ajuda
(Jog to Gcode File)

(PONTO 0)
G1 F1000
X0 Y0 Z0
(PONTO 1)
X-260 Y0 Z0
M9 (ABRE GARRA)
(PONTO 2)
G1 F300
X-260 Y0 Z-24
M8 (FECHA GARRA)
(PONTO 1)
X-260 Y-0 Z0
(PONTO 3)
G1 F1000
X-254 Y152 Z-10
M9 (ABRE GARRA)
(PONTO 4)
Z-5
(RETORNA_PONTO 0)
X0 Y0 Z0
M30 (FINALIZA O PROGRAMA)

(End of Rec File)
```

Fonte: Do Autor (2018).

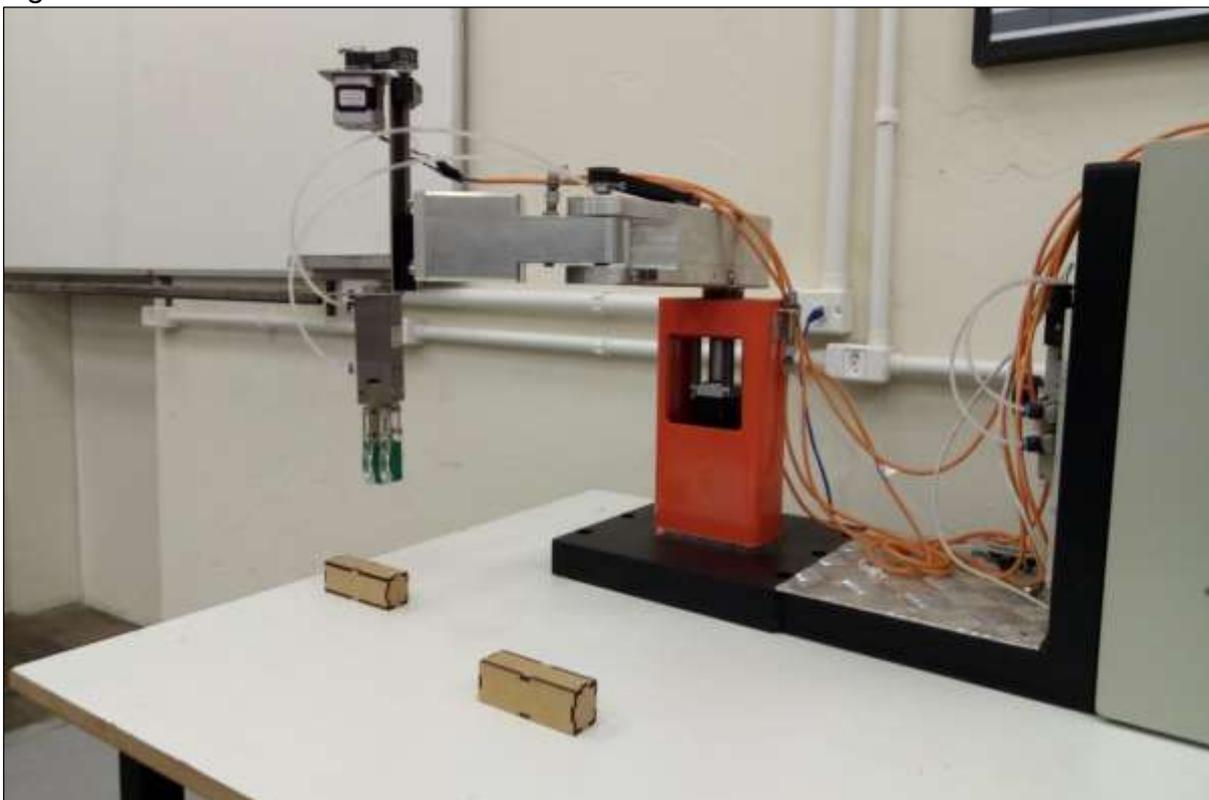
O programa gerado em bloco de notas foi carregado clicando no botão *Load G Code* e após em *Cycle Start* (Fig. 21) para que o mesmo iniciasse a movimentação do braço nos pontos programados.

Figura: 21. Botões de *Cycle Start* e *Load G-Code*.

Fonte: Do Autor (2018).

Na Fig. 22 e mostrado o robô SCARA em seu ambiente de trabalho durante a realização dos testes de programação de movimentos. As pequenas caixas de madeira demarcam os pontos onde o manipulador robótico deve mover o bloco de teste, em verde na garra do manipulador, de uma posição para outra.

Figura: 22. Robô SCARA em seu ambiente durante testes.



Fonte: Do Autor (2018).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do presente artigo demonstrou como foi possível projetar o sistema eletroeletrônico de controle de um robô do tipo SCARA. O projeto que é para fim didático possibilita o aluno compreender o funcionamento de todo o sistema eletroeletrônico do robô SCARA e também como a sua programação é realizada.

Ao final do projeto obteve-se resultado satisfatório, o sistema de controle eletroeletrônico desenvolvido cumpriu perfeitamente a função de controlar os movimentos e ações do manipulador robótico.

O uso do *software* CNC *Mach3* utilizado no projeto pode ser facilmente adaptado para cumprir a função de controlador do manipulador do tipo SCARA, pois o mesmo possui recursos essenciais, como por exemplo: o recurso de salvar as posições nos pontos desejados possibilitando desta forma a programação por aprendizagem ativa ponto a ponto que é de fácil compreensão e bastante utilizada em outros tipos de robôs industriais.



A linguagem de programação utilizada, o Código G, possui todas as funções necessárias para uso no manipulador às funções miscelâneas M são de extrema importância, pois serviram para comandar as ações do manipulador como abrir e fechar o efetuador do tipo garra, já as funções preparatórias G, serviram para comandar os movimentos dos eixos de forma controlada.

A placa controladora CNC utilizada possui recursos fundamentais como as saídas a relé acopladas, que foram essenciais para controle das ações do robô e também realizou o controle dos *drives* de modo perfeito. Os *drives* por sua vez graças a seus recursos, como o modo de funcionamento em micro passos conseguem controlar os motores de passo com suavidade e precisão. O uso de motores de passo cumpriu com perfeição a função de movimentar os eixos visto que os movimentos foram realizados de maneira suave e precisa.

De modo geral o desenvolvimento do robô SCARA foi bem sucedido como uma ferramenta didática para o ensino da robótica, pois os conceitos aplicados durante a sua construção são de grande valia para o enriquecimento do conhecimento do aluno.

REFERENCIAS

[1] CARRARA, Valdemir. **Apostila de Robótica**. Universidade Braz Cubas, São Paulo, 2004. Disponível em: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/silas/materiais/Apostila_de_Robotica.pdf>. Acesso em: 8 maio 2018.

[2] MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Mecatrônica Qualificação Profissional-Apostila**. Catalisa - Rede de Cooperação para Sustentabilidade. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://mecatronicadegaragem.blogspot.com.br/2011/02/livro-mecatronica.html>>. Acesso em: 12/05/2018.

[3] MORAES, Airton Almeida de. **Robótica**. Departamento de Meios Educacionais e Gerência de Educação, SENAI. São Paulo, 2003. Disponível em: <<http://www.adororobotica.com/RBSENAI.pdf>>. Acesso em: 24 abril 2018.

[4] SANTOS, Isaias. **Robotica na escola**. São Paulo, 2012. Disponível em: <<http://www.roboticanaescola.com.br/>>. Acesso em: 12 maio 2018.



- [5] SIMPLÍCIO, Paulo Victor Galvão. Manipuladores Robóticos Industriais. **Ciências exatas e tecnológicas**. Aracaju, v.3, n. 3, p. 85-94, 2016. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernoexatas/article/viewFile/3572/1950>>. Acesso em 29 abril 2018.
- [6] DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECATRÔNICA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP. **Elementos de Robótica**. 2003. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4112469/mod_resource/content/0/Aula%20-%20Lab2.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018.
- [7] GROOVER, Mikell P. **Fundamentals of modern manufacturing: materials, processes and systems**. 4th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc, 2010. Traduzido pelo autor.
- [8] P. RADHAKRISHNAN, S. SUBRAMANIAN, V. RAJ. **CAD/CAM/CIN**. 3rd ed. New Delhi: New Age International (P) Ltd. 2008. Traduzido pelo autor.
- [9] ARTSOFT. **Mach3 CNC Controller: Software Installation and Configuration**. 2008. Disponível em: <https://www.machsupport.com/wp-content/uploads/2013/02/Mach3Mill_Install_Config.pdf>. Acesso em: 12 março 2018. Traduzido pelo autor.
- [10] PEREIRA, Thiago Antônio. Readequação Tecnológica De Baixo Custo De Robôs Cartesianos - *Retrofitting* Robô Sankyo. **Revista Ilha Digital**, Florianópolis, v. 3, p. 65-70, 2012. Disponível em: <<http://ilhadigital.florianopolis.ifsc.edu.br/index.php/ilhadigital/article/view/36/35>>. Acesso em: 21 abril 2018.
- [11] AUTODESK. **Getting Started with a G-Code**. Disponível em: <<https://www.autodesk.com/industry/manufacturing/resources/manufacturing-engineer/g-code>>. Acesso em: 1 maio 2018. Traduzido pelo autor.
- [12] BOLTON, W. **Mecatrônica: uma abordagem multidisciplinar**. 4. Ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.
- [13] PETRUZELLA, Frank D. **Electric motors and control systems**. New York: McGraw-Hill, 2010. Traduzido pelo autor.
- [14] BRITES, Felipe Gonçalves, SANTOS, Vinícius de Puga Almeida. **Motor de Passo**. 2008. Disponível em: <<http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/stepmotor/stepmotor2k81119.pdf>>. acesso em: 28 março 2018.



[15] CONSTANDINOU, Timothy G. **Tudo sobre motores de passo: 1º parte, Os fundamentos**. 2003. Disponível em:
<http://w3.ufsm.br/fuentes/index_arquivos/step.pdf>. Acesso em: 12 maio 2018.

[16] PARKER AUTOMATION. **Tecnologia Eletromecânica**. Apostila 1600.231.01 BR. Outubro 2003. Disponível em:
<<https://www.parker.com/literature/Brazil/eletromecanica.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2018.

[17] APPLIED Motion Products. **Hardware Manual STR2 Step Motor Drives**. 2014. Disponível em:
<http://www.kalatec.com.br/driver_para_motor_de_passo/manuais/STR2-Manual.pdf>. Acesso em 21 abril 2018.

[18] ANTUNES, Everton E. **Desenvolvimento do Sistema Eletroeletrônico para Controle de uma Máquina de Estampagem Incremental**. Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade SATC, Criciúma, 2015.

ABSTRACT

The teaching of robotics has been gaining more and more space in schools and faculties since this activity requires student knowledge in several disciplines such as mechanics, electronics, automation and information technology. This way, it allows the student to be more prepared for the current requirements of the industry. The development of this article intends to design an electronic control system for a didactic robotic manipulator of the SCARA type using industrial and standard components. The project was assembled and tested in the PRONTO 3D laboratory of the SATC Faculty and is based on a CNC controller board interfaced with the Mach3 software, installed in a microcomputer, which interprets the coordinates written in G Code language and transform them into commands and actions performed by the actuators and robotic manipulator effector. The manipulator programming is performed by the active point-to-point learning method, and uses Mach3 resources to record the desired points and transforms them into Code G. In the test phase the manipulator performed its programming correctly and performed perfectly all movements and planned actions showing to be an excellent didactic tool for the student to understand the operation of



an electronic control system and also to learn about the programming method used in the robotic arm.

Keywords: Robotic manipulator; SCARA; CNC; Mach3

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por ter me dado força e sabedoria em todos os momentos de dificuldade, ao professor Dr. Anderson Daleffe pela orientação e por ter me dado a oportunidade de participar deste projeto. A minha mãe e minha irmã pelo incentivo e em especial a minha noiva Aline por seu companheirismo, incentivo e paciência.