

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

GABRIEL MACHADO PICHEK

**MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA CORTE AJUSTÁVEL
DE CONDUTORES ELÉTRICOS**

TOLEDO

2021

GABRIEL MACHADO PICHEK

**MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA CORTE AJUSTÁVEL
DE CONDUTORES ELÉTRICOS**

Automatic machine for adjustable cutting of electrical conductors

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador(a): Fábio Rizental Coutinho.

TOLEDO

2021



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

GABRIEL MACHADO PICHEK

**MÁQUINA AUTOMÁTICA PARA CORTE AJUSTÁVEL
DE CONDUTORES ELÉTRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Eletrônica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 14 de dezembro de 2021

Fábio Rizental Coutinho
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Toledo

Gerson Filippini
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Toledo

Marcos Roberto Bombacini
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Toledo

**TOLEDO
2021**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me dar força e sabedoria.

Agradeço orientador Prof. Dr. Fabio Rizental Coutinho por toda colaboração no desenvolvimento do trabalho.

Agradeço a banca, Prof. Dr. Gerson Filippini e Prof. Dr. Marcos Roberto Bombacini pelas sugestões e avaliações realizadas.

Gostaria de agradecer os familiares e amigos que estiveram presentes em minha jornada ao longo deste trabalho e da formação como um todo, o suporte que meus pais Laudair Queiroz Pichek e Fátima Correa Machado Pichek foram fundamentais para a realização deste feito.

RESUMO

Este trabalho propõe o projeto e montagem de um equipamento automático para corte ajustável de cabos flexíveis com bitola de 0,5 mm² até 1,5 mm². O projeto envolve: mecânica estrutural do equipamento, circuito elétrico de controle e comunicação com usuário, programação de microcontrolador e validação do produto. A estrutura principal do equipamento é feita em aço, com peças torneadas, soldadas e parafusadas, existe um sistema com dois eixos, um rolamento, duas molas e um motor que traciona os cabos, uma lâmina acoplada na ponta de um pistão que efetua o corte do condutor elétrico, a estrutura principal é fixa em uma base de madeira. A máquina é controlada pelo microcontrolador PIC16F877A fixo em uma placa de circuito impresso para realizar a comunicação com sensores, botões, atuadores e display. A comunicação com o usuário é feita por meio de 4 botões e um display de cristal líquido 16x2 posições. O deslocamento do cabo é mensurado por sensor encoder. O curso do pistão é definido por sensores ópticos. O microcontrolador é programado em C e possui um algoritmo sequencial para comandar o equipamento. Aplicou-se uma metodologia de validação da máquina, a qual comprovou, que o equipamento possui um erro médio próximo de 7 % em relação ao comprimento solicitado.

Palavras-chave: quadros elétricos; cabo flexível; corte de cabos; automação industrial.

ABSTRACT

This work proposes the design and assembly of an automatic equipment for adjustable cutting of flexible cables with gauge from 0.5 mm² to 1.5 mm². The project involves: structural mechanics of the equipment, electrical control circuit and user communication, microcontroller programming and product validation. The main structure of the equipment is made of steel, with turned, welded and screwed parts. There is a system with two axes, a bearing, two springs and a motor that pulls the cables. A blade attached to the tip of a piston makes the cut of the electrical conductor. The main frame is fixed to a wooden base. The machine is controlled by the PIC16F877A microcontroller fixed on a printed circuit board to carry out communication with sensors, buttons, actuators and display. Communication with the user is via 4 buttons and a 16x2-position liquid crystal display. Cable displacement is measured by an encoder sensor. The piston stroke is defined by optical sensors. The microcontroller is programmed in C and has a sequential algorithm to command the equipment. A machine validation methodology was applied, which proved to have an average error close to 7 % in relation to the requested length.

Keywords: electrical panels; flexible cable; cutting cables; industrial automation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Medição de rotação. Em a – disco encoder e b – o sensor encoder.....	11
Figura 2 – Sensor óptico TCRT5000.....	11
Figura 3 – Microcontrolador PIC16F877A.....	12
Figura 4 – Diagrama de blocos do CI L298.....	13
Figura 5 – Visão geral do projeto.....	14
Figura 6 – Visão superior do sistema de tração do cabo.....	15
Figura 7 – Motor M.....	15
Figura 8 – Módulo relé de 4 canais.....	16
Figura 9 – Modelagem 3D eixo A e peça de acoplamento ao motor.....	16
Figura 10 – Motor elétrico de haste.....	18
Figura 11 – Sistema início e fim de curso.....	18
Figura 12 – Módulo de ponte H.....	19
Figura 13 – Sistema embarcado.....	19
Figura 14 – Diagrama elétrico completo do sistema.....	21
Figura 15 – Fluxograma do algoritmo de controle.....	21
Figura 16 – Confecção mecânica. Em a – vista 1 e em b – vista 2.....	23
Figura 17 – Projeto da placa de circuito impresso.....	24
Figura 18 – Montagem eletrônica da máquina.....	24
Figura 19 – Gráficos de resultados obtidos. Em a – comprimentos da etapa 1, em b – comprimentos da etapa 2, em c – comprimentos da etapa 3, em e d – comprimentos da etapa 4.....	25
Figura 20 – Gráfico de cabos entregues em cada operação.....	26
Figura 21 – Gráfico de tempo gasto em cada operação.....	27
Figura 22 – Semi corte do CABO 4.....	27
Figura 23 – Máquina funcionando.....	29

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos	9
1.2	Justificativa.....	10
2	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	11
2.1	Sensor encoder	11
2.2	Sensor óptico	11
2.3	Microcontrolador	12
2.4	Inversão do sentido de giro de motores corrente contínua	12
3	MATERIAIS E MÉTODOS	14
3.1	Entrada e saída do material.....	14
3.2	Deslocamento do cabo	15
3.3	Corte do cabo	17
3.4	Placa de controle e IHM	19
3.5	Programação do microcontrolador.....	21
3.6	Validação do equipamento	22
4	RESULTADOS.....	23
4.1	Mecânica e estrutura do equipamento	23
4.2	Circuito eletrônico.....	24
4.3	Validação do equipamento	25
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	29
	REFERÊNCIAS.....	30
	APÊNDICE A – Código do projeto.....	31
	APÊNDICE B – Formulário de testes	36
	APÊNDICE C – Resultado dos testes	38

1 INTRODUÇÃO

Uma instalação industrial possui equipamentos elétricos como luminárias, sensores e motores, porém as aplicações elétricas envolvem diversos componentes. Todo o sistema elétrico possui equipamentos de proteção e controle que estão montados em painéis elétricos. Perreti (2014) afirma que o investimento em automação e equipamentos é necessário para manter-se competitivo no mercado, portanto a fabricação de soluções elétricas voltadas a indústria é um segmento que recebe muito investimento.

Apesar dos grandes investimentos e alta tecnologia existente em painéis elétricos industriais o processo de fabricação destes é feito de forma manual. O condutor elétrico está presente em todos os painéis, pois os componentes do painel elétrico formam um sistema. Cada componente do sistema necessita trocar informações, precisa de alimentação elétrica, tudo isso é feito com interconexões por meio de cabos elétricos de diferentes tamanhos.

Este trabalho contempla o projeto para confecção de uma máquina automática capaz de realizar o corte ajustável dos cabos utilizados em montagens elétricas, especificando as características do equipamento, a forma como será feito e seu processo de validação.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo final o projeto e montagem de uma máquina capaz de cortar de cabos flexíveis de $0,50 \text{ mm}^2$ até $1,50 \text{ mm}^2$ de acordo com as necessidades do usuário que deverá informar ao sistema, por meio de uma Interface Homem-Máquina, IHM, a quantidade e comprimento dos cabos desejados. Pode-se também destacar os seguintes objetivos específicos:

- Projetar e montar a estrutura mecânica do equipamento
- Projetar e montar uma placa de controle e IHM para operação do equipamento, definir sensores e atuadores que serão utilizados e apresentar o circuito elétrico completo do sistema.
- Testar e validar o equipamento com cabos em diversas bitolas, comprimentos e quantidades.

1.2 Justificativa

Estima-se haver um desperdício de mão de obra e matéria prima na montagem de quadros elétricos, pois o manuseio do cabo elétrico é um processo repetitivo que consome bastante tempo e demanda chicotes de cabos de diferentes tamanhos de acordo com a necessidade. Este projeto visa automatizar o processo de corte dos condutores, permitindo uma eficiência maior na montagem de quadros elétricos reduzindo o desperdício.

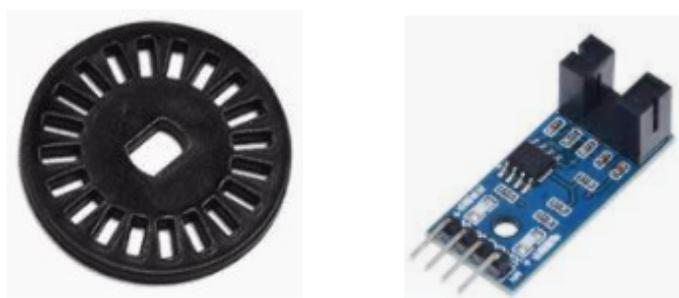
2 REFERÊNCIAL TEÓRICO

O projeto envolve algumas aplicações eletrônica, neste tópico destaca-se o princípio de funcionamento de sensores e componentes eletrônicos.

2.1 Sensor encoder

Thomazini e Braga de Albuquerque (2009) explicam que o funcionamento do sensor encoder baseia-se no princípio de condução da luz quando o emissor e receptor se alinham com um furo do disco (Figura 1-a) ocorre uma mudança de estado no sinal elétrico de saída. Este tipo de sensor é muito utilizado para a medição de velocidade e deslocamento angular de motores elétricos, devido a seu baixo custo e facilidade de uso.

Figura 1 – Medição de rotação. Em a – disco encoder e b – o sensor encoder.



Fonte: (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021).

O sensor encoder a ser utilizado (Figura 1 – b) possui o comparador LM393 (ONSEMI, 2021) e o sensor óptico MOCH22A (JUN YE, 2006) integrados a placa e altera o estado lógico do pino de saída conforme a rotação do disco encoder, Figura 1 – a.

2.2 Sensor óptico

O sensor óptico TCRT5000 (Figura 2).

Figura 2 – Sensor óptico TCRT5000.



Fonte: (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021).

Este sensor possui emissor e receptor infravermelho e juntamente com o comparador LM393 (ON SEMICONDUCTOR, 2018) emite um estado lógico de acordo com a presença de objetos em frente sensor. A faixa de leitura do sensor é de 1 até 8 mm (BAÚ DA ELETRÔNICA, 2021).

2.3 Microcontrolador

José de Souza (2005) diz que microcontroladores podem ser definidos como pequenos componentes que possuem inteligência programável capaz de controlar processos por meio de periféricos como: botões, displays de cristal líquido e muitos outros.

Uma das famílias de microcontroladores existentes no mercado é a família PIC da MICROCHIP, este projeto utiliza o microcontrolador PIC16F877A (Figura 3).

Figura 3 – Microcontrolador PIC16F877A.



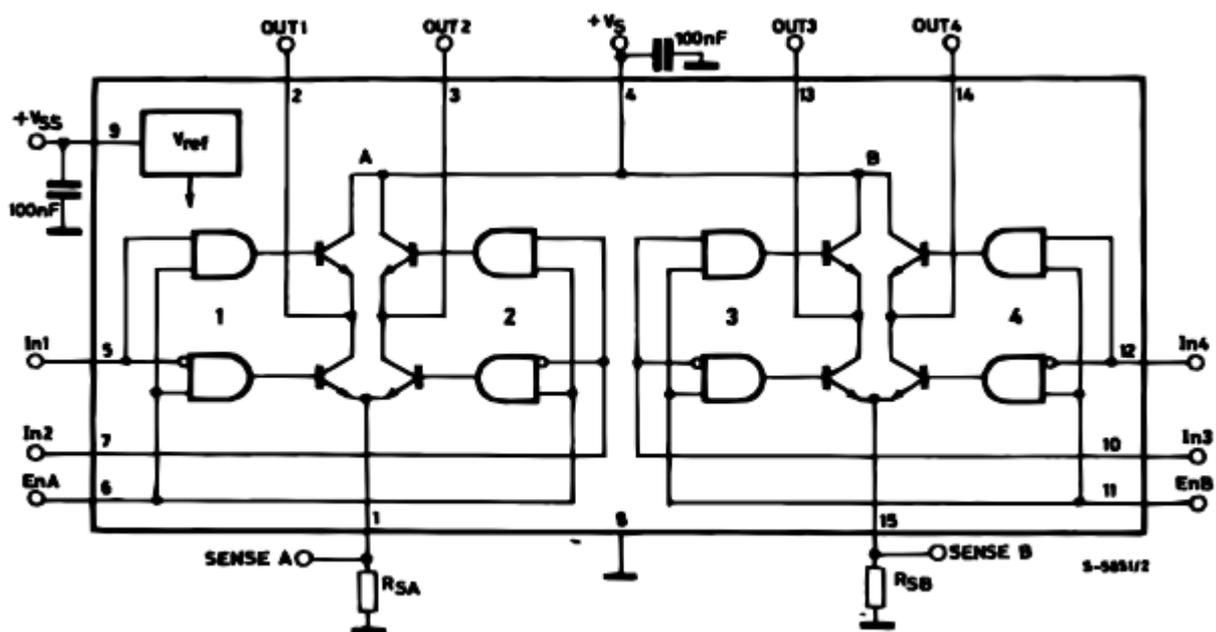
Fonte: autoria própria 2021.

Na Figura 3, tem-se uma foto do microcontrolador usado no projeto.

2.4 Inversão do sentido de giro de motores corrente contínua

Para realizar a inversão do sentido de giro de motores de corrente contínua é necessário inverter a tensão nos terminais do motor, o circuito integrado, CI, L298 possui um circuito capaz de realizar a inversão da tensão de saída em dois canais, pinos 2, 3, 13 e 14 da Figura 4. Este empregado em cargas de até 46 V e 4 A comandadas por níveis de tensão TTL (STL, 2000).

Figura 4 – Diagrama de blocos do CI L298.



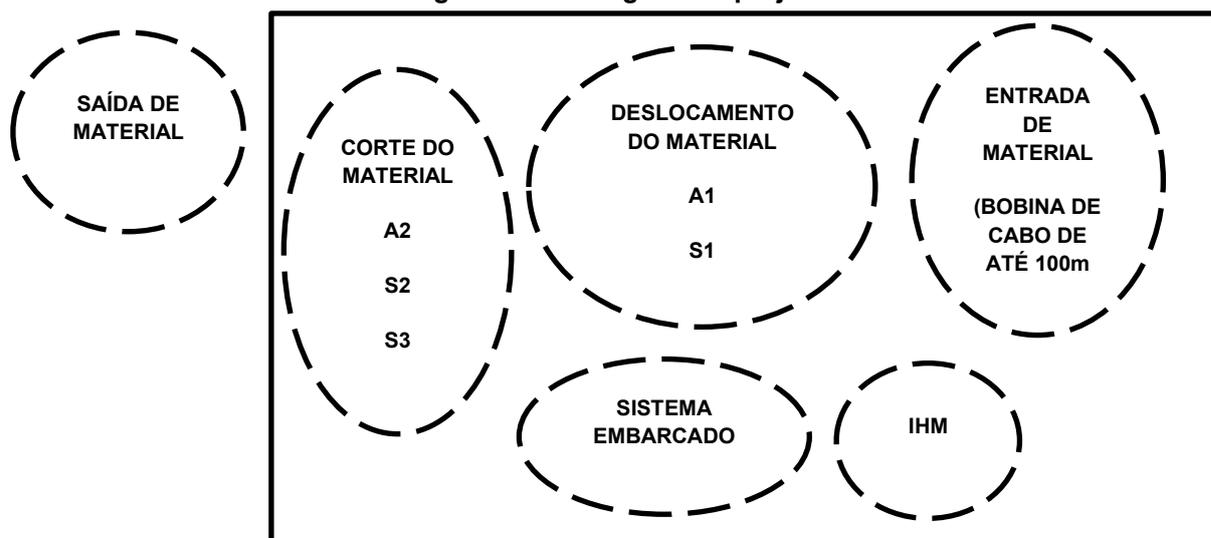
Fonte: ST (2000).

O circuito possui portas lógicas AND e NOT e realiza o chaveamento dos canais de saída por meio de transistores bipolares de junção.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento proposto (Figura 5) recebe uma bobina com até 100 m de cabo e entrega, ao final do processo, os cabos cortados na quantidade e comprimento desejado pelo usuário. O equipamento pode aceitar cabos flexíveis com bitolas variando desde 0,50 mm² até 1,50 mm².

Figura 5 – Visão geral do projeto.



Fonte: autoria própria (2021).

O projeto divide-se em seis núcleos, círculos tracejados (Figura 5). O sistema embarcado comanda o funcionamento do equipamento, por meio da leitura dos sensores: S1, S2 e S3, e do acionamento dos atuadores: A1 e A2 (Figura 1). Ela também é encarregada de controlar a IHM para que o usuário programe a quantidade e comprimento dos cabos a serem processados. O sensor S1 mede o comprimento que passa pelos atuadores A1 e A2, ao atingir o comprimento informado na IHM, a placa de controle aciona o atuador A2 que utiliza os sensores S1 e S2 como fins de curso, de modo que, o material é cortado.

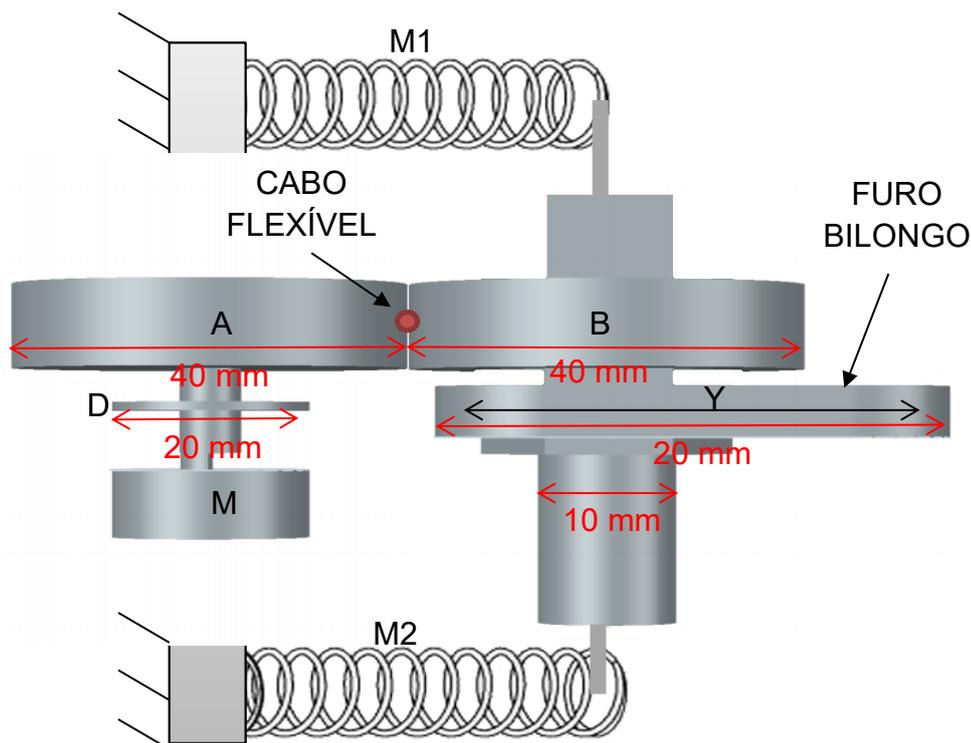
3.1 Entrada e saída do material

Comercialmente os cabos são vendidos em rolos de 100 m. O protótipo prevê um espaço para armazenar este tipo de rolo de cabo. Uma das pontas deste rolo deve passar por guias até o local onde será feita a entrega dos cabos no comprimento desejado.

3.2 Deslocamento do cabo

Para trabalhar com o cabo é preciso retirá-lo do rolo de forma a mensurar o comprimento e efetuar o corte no tamanho desejado. Dois eixos tracionados, A e B, um contra o outro, comprimem o cabo (Figura 6), fazendo com que o cabo seja expelido conforme a rotação desses eixos.

Figura 6 – Visão superior do sistema de tração do cabo.



Fonte: autoria própria (2021).

O eixo A é conectado ao motor M e possui um disco encoder D, duas molas M1 e M2 puxam o eixo B no sentido Y em direção ao eixo A. O motor a ser utilizado (Figura 3) será responsável por movimentar o sistema de tração do cabo.

Figura 7 – Motor M.



Fonte: autoria própria (2021).

O motor da Figura 7 foi encontrado em sucata eletrônica e possui alimentação de 5 V corrente contínua, determinou-se em testes de bancada que seu consumo médio é 100 mA, apresenta ainda, um sistema de engrenagens acoplados que faz a redução da rotação aumentando o torque do motor.

Este motor é chaveado por um módulo relé (Figura 8) o módulo possui 4 canais com optoacoplador que podem ser acionados com os baixos níveis de potência fornecidos pelo microcontrolador.

Figura 8 – Módulo relé de 4 canais com optoacoplador.

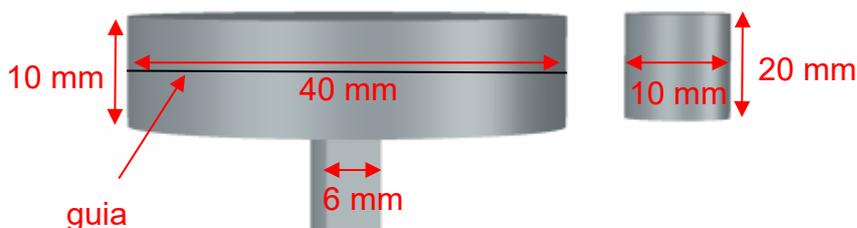


Fonte: autoria própria (2021).

Ao chavear o relé o motor recebe a corrente direto da fonte 5 V do projeto, evitando assim danificar o microcontrolador e demais componentes do sistema embarcado.

A modelagem 3D do eixo A e peça de acoplamento ao motor (Figura 9) é projetada para conectar-se ao eixo do motor e ao disco encoder D, prevendo o espaço para o sensor do disco encoder.

Figura 9 – Modelagem 3D eixo A e peça de acoplamento ao motor. Em a – modelagem 3d do eixo A e em b – peça de acoplamento ao motor.



Fonte: autoria própria (2021).

O eixo A, Figura 9 – a, possui um cilindro maior com 40 mm de diâmetro e 10 mm de altura que deverá comprimir o cabo contra o eixo B e uma haste com 10 mm de altura que possui as dimensões do furo central do disco encoder (Figura 1-a) que deve encaixar-se ao eixo. A peça de acoplamento, Figura 9 – b, consiste em pequeno cilindro com 20 mm de altura, 10 mm de diâmetro e pontas ocas para encaixe na haste do eixo A e motor M.

O comprimento do cabo está ligado a rotação do eixo A que é medida através do sistema de encoder. A resolução R , de medida do comprimento do cabo é dada pela equação (1)

$$R = \frac{\pi * d}{n}, \quad (1)$$

sendo R a resolução de medida do comprimento, d o diâmetro do eixo A e n o número de furos do disco.

Como o disco encoder a ser utilizado possui 20 furos e o diâmetro do eixo A é de 40 mm, a resolução do sistema é de aproximadamente 6,30 mm. A resolução definirá a margem de erro do comprimento do condutor cortado. Considera-se a resolução obtida adequada, pois tipicamente os cabos a serem cortados terão comprimentos na ordem de dezenas de centímetros.

O eixo B da Figura 6 é acoplado em um rolamento de diâmetro externo 40 mm. O eixo não possui deslocamento radial, apenas deslocamento no sentido Y (Figura 2). Um furo bilongo de 50x12 mm na base de suporte do sistema possibilita esse deslocamento. As molas M1 e M2 conectadas ao eixo B e ao suporte em torno do eixo A, Figura 6, impedem a rotação do eixo e puxam o eixo B na direção do eixo A.

A lógica desse sistema é acionar o motor fazendo com que o cabo seja expelido por entre os eixos até atingir o comprimento desejado, e, posteriormente o motor é desligado.

3.3 Corte do cabo

O corte do cabo realizado pelo atuador A2 da Figura 5 e será implementado por meio de um motor elétrico de haste modelo FY017-50-155-12-50-100 (Figura 10) e uma lâmina de aço presa na ponta da haste.

Figura 10 – Motor elétrico de haste.

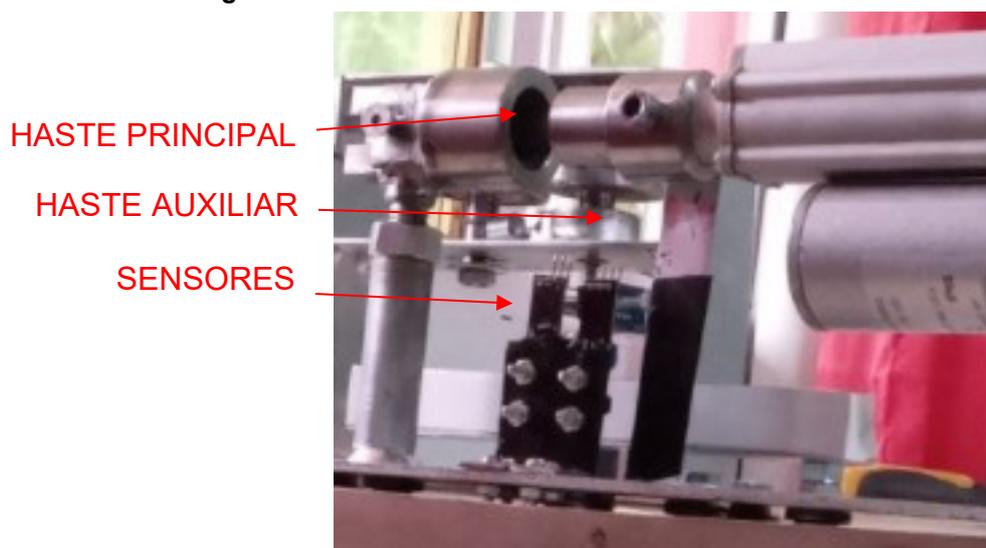


Fonte: (ELETROPEÇAS, 2021).

O motor opera com tensão de 12 V, corrente contínua. O pistão se desloca 50 mm a uma velocidade de 5 mm/s e é capaz de exercer uma força de 1200 N (ELETROPEÇAS, 2021).

Para definir o curso do atuador linear utiliza-se dois sensores ópticos TCRT5000 que detectam a presença de uma haste auxiliar presa perpendicularmente a haste principal, Figura 11.

Figura 11 – Sistema início e fim de curso.



Fonte: autoria própria (2021).

O avanço ou recuo do pistão é definido de acordo com a polaridade do motor, portanto, é necessário inverter o nível de tensão neste motor, para isso empregou-se um módulo L298N de ponte H (Figura 12), que possui o CI L292.

Figura 12 – Módulo L298N de ponte H.



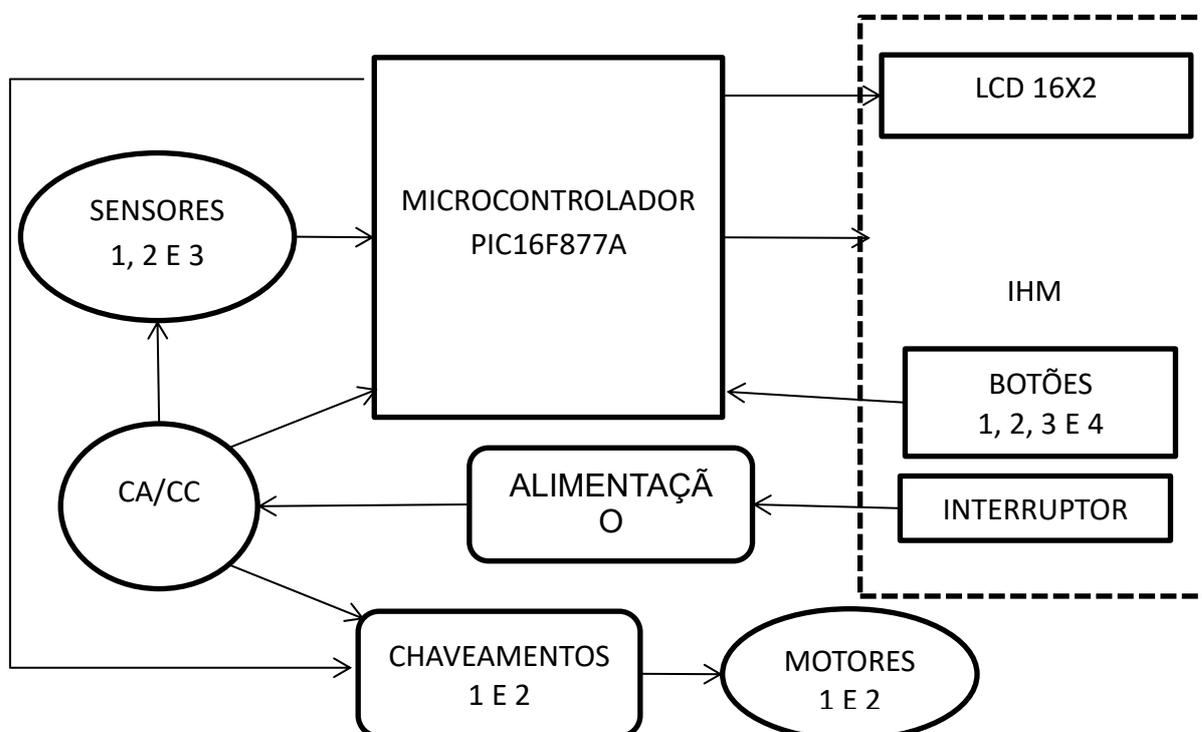
Fonte: autoria própria (2021).

Este módulo possui 2 canais, e assim como o módulo relé recebe energia direto da fonte para alimentar a carga, evitando danos ao microcontrolador além de fazer o chaveamento de uma carga de 12 V com comandos de 5 V.

3.4 Placa de controle e IHM

O equipamento terá um sistema embarcado (Figura 13) para controlar o processo juntamente com uma IHM para que o usuário possa comandar e monitorar o manuseio do cabo.

Figura 13 – Sistema embarcado.



Fonte: autoria própria (2021).

Utiliza-se um microcontrolador PIC16F877A da *Microchip* que possui 40 pinos de conexão, sendo 33 pinos de entradas ou saídas, 4 pinos de alimentação, 2 pinos de *clock* e 1 pino de reset (MICROCHIP, 2003). Será confeccionado uma placa de controle que realize a interface entre sensores e atuadores com o microcontrolador. A comunicação entre usuário e máquina realiza-se por meio de 1 LCD 16x2 que apresenta o menu de parametrização e informações de operação, 3 botões para navegação no menu de parametrização, 1 botão para reset de falha, 1 interruptor de liga e desliga.

Os botões, Tabela 1, permitem ao usuário parametrizar a máquina e resetar o sistema em caso de falha. O display LCD orienta o usuário quanto a parametrização do equipamento, mostrando o número de cabos a serem cortados e comprimento, além de informar em qual etapa está o processo.

Tabela 1 – Função dos botões da IHM.

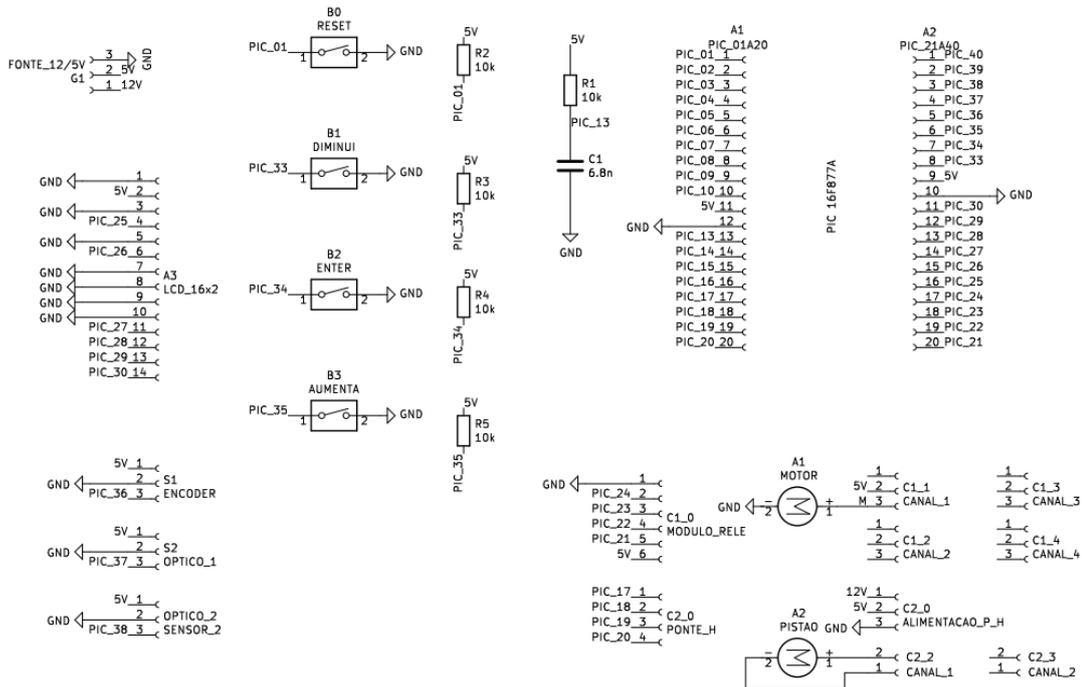
Botão	Função
B0	Reset
B1	Diminui parâmetro
B2	Seta parâmetro
B3	Aumenta parâmetro

Fonte: autoria própria (2021).

As sinalizações indicam se a máquina está pronta para operar ou operando. Os botões permitem ao usuário colocar o valor desejado nos parâmetros de número de cabos e comprimento, além do botão de reset que reinicia o microcontrolador.

Desenhou-se o diagrama elétrico completo do sistema (Figura 14), representando todas as ligações elétricas a serem realizadas. Observa-se o uso de uma fonte de 12/5 V, o microcontrolador PIC16F877A, circuitos auxiliares de reset e oscilador, módulos de chaveamento e ligação com os sensores e atuadores.

Figura 14 – Diagrama elétrico completo do sistema.

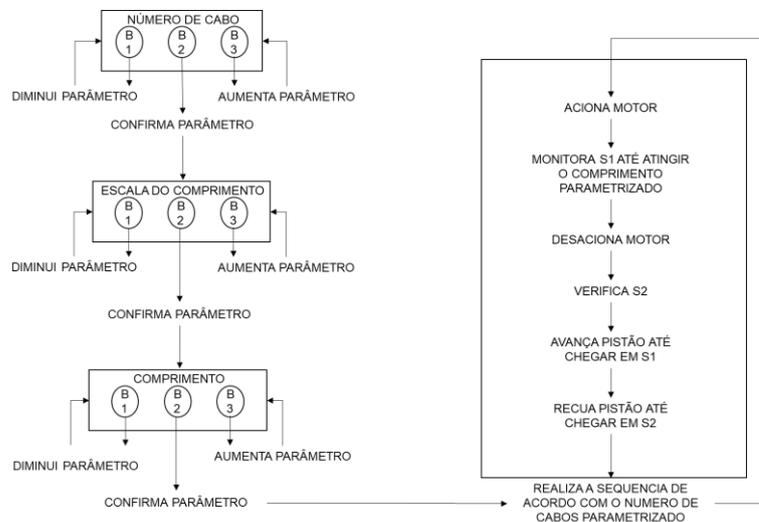


Fonte: autoria própria (2021).

3.5 Programação do microcontrolador

O algoritmo da máquina recebe o status dos sensores e botões e então comanda os atuadores. Inicialmente é monitorado o status dos três botões quando B1 ou B3 é pressionado altera-se o parâmetro e volta a monitorar os botões, ao pressionar B2 confirma o parâmetro e passa para a próxima parametrização, Figura 15.

Figura 15 – Fluxograma do algoritmo de controle.



Fonte: autoria própria (2021).

O primeiro parâmetro é o número de cabos, o segundo é a escala do comprimento, como a resolução é de 6mm, é possível trabalhar em escalas múltiplas de 6 mm, o terceiro parâmetro é o comprimento do cabo em si. Os parâmetros e status da máquina, que se está parametrizando ou operando são informados no display.

Este algoritmo foi implementado em linguagem C (APENDICE A) no ambiente de desenvolvimento integrado *MPLAB v8.2*, então passado para o microcontrolador PIC16F877A com o kit de programação *PICKIT3*.

3.6 Validação do equipamento

Após realizar a montagem da máquina, ligações elétricas e código de controle o equipamento deve seguir uma bateria de testes para validar seu funcionamento. Conforme já especificado, o equipamento deve realizar corte de cabos flexíveis com bitola de 0,50 mm² até 1,50 mm² em quantidade e comprimento a ser definidos pelo usuário.

Os testes serão feitos em quatro etapas:

- Etapa 1: 30 cabos de 30 mm.
- Etapa 2: 15 cabos de 96 mm.
- Etapa 3: 10 cabos de 486 mm.
- Etapa 4: 5 cabos de 990 mm.

Em cada operação será anotado o tempo de duração, o número de cabos entregues e os comprimentos médio, máximo e mínimo. Cada etapa é realizada com 4 cabos distintos:

- CABO 1 – Cabo flexível 0,50 mm², cor preta da marca COBRECOM.
- CABO 2 – Cabo flexível 0,75 mm², cor cinza da marca DACOTA.
- CABO 3 – Cabo flexível 1,00 mm², cor marrom da marca SIL.
- CABO 4 – Cabo flexível 1,50 mm², cor azul da marca COBRECOM.

A variação de fabricantes e cores se deve as diferentes características de atrito da capa de isolamento. O teste realizado prevê vários cortes e diferentes tamanhos. Deverá ser cronometrado cada etapa para avaliar a eficiência da máquina quanto ao tempo de operação.

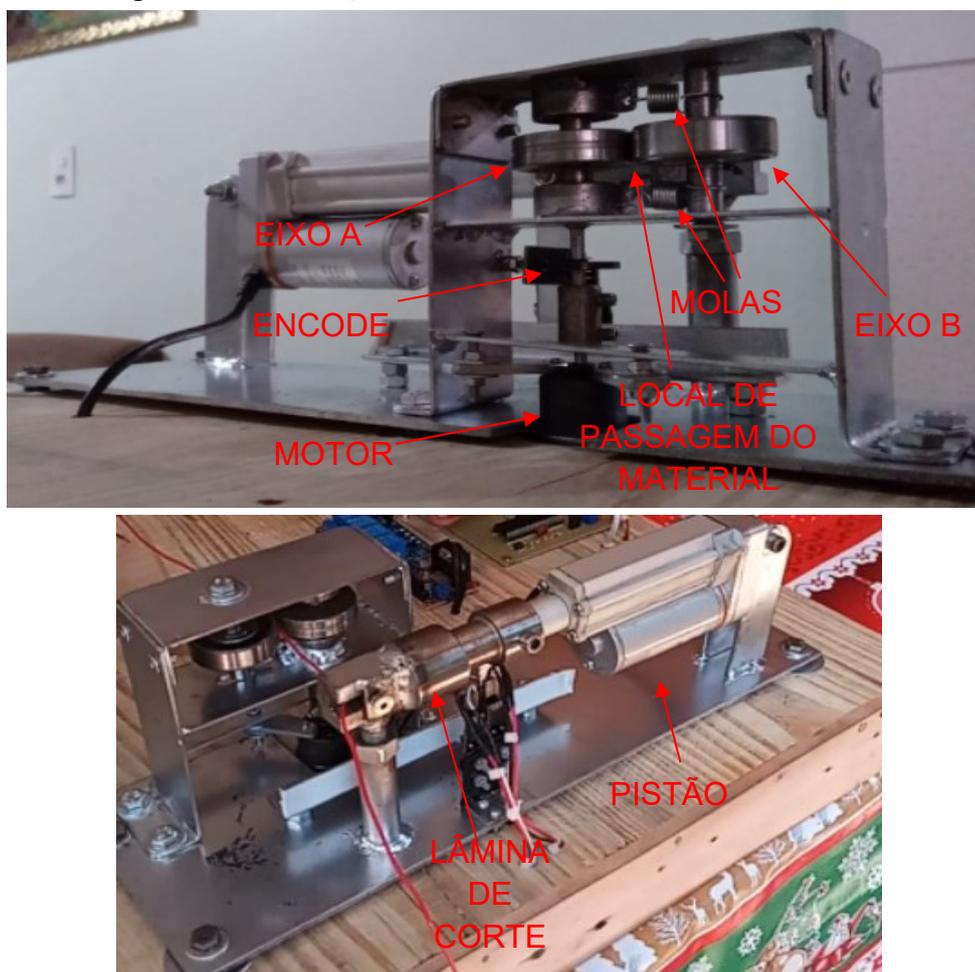
4 RESULTADOS

O equipamento foi construído conforme o projetado e foi possível realizar a metodologia de testes desejada.

4.1 Mecânica e estrutura do equipamento

A confecção mecânica do equipamento (Figura 16) realizou-se conforme o projetado.

Figura 16 – Confecção mecânica. Em a – vista 1 e em b – vista 2.



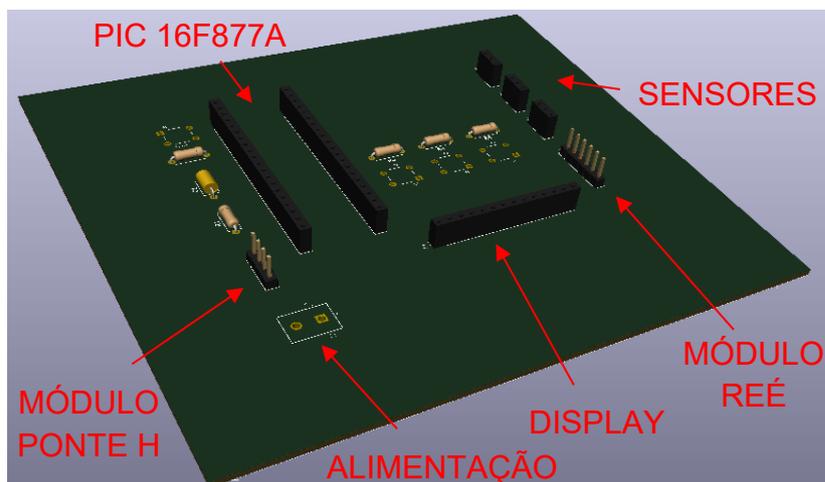
Fonte: autoria própria (2021).

Os eixos, peça de acoplamento ao motor e encaixe da lâmina de corte foram realizadas em torno. A lâmina de corte de cabos é de material *bits*, aço com alta durabilidade que não perde fio com facilidade. Realizou-se soldas e montagens de peças com parafusos, arruelas e porcas. A estrutura de aço é presa a uma base de madeira onde se encontra os componentes eletrônicos e espaço para depósito de material.

4.2 Circuito eletrônico

Com o software *KiCad* foi projetado uma placa de circuito impresso (Figura 17), PCI, onde são conectados o microcontrolador, circuitos auxiliares, botões, display, sensores e módulos de chaveamento.

Figura 17 – Projeto da placa de circuito impresso.



Fonte: autoria própria (2021).

A placa prevê pinos para conexão dos componentes, o microcontrolador e o display são fixos direto na placa, os sensores e módulos de chaveamento, são conectados com cabos a placa.

Realizou-se a conexão elétrica entre atuadores, sensores e sistema embarcado, Figura 18.

Figura 18 – Montagem eletrônica da máquina.



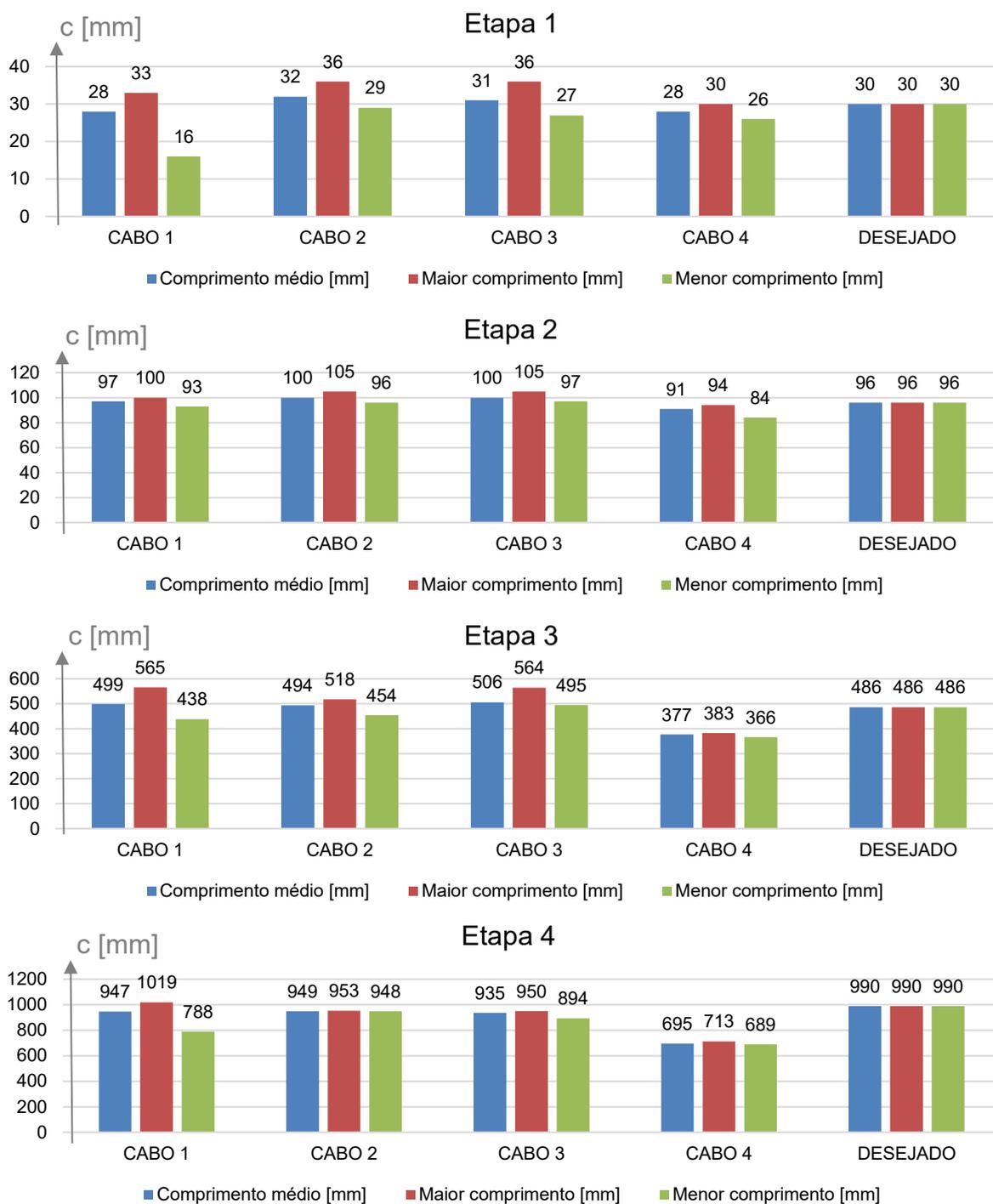
Fonte: autoria própria (2021).

Todos os componentes eletrônicos foram alimentados e conectados uns aos outros conforme o projetado, deste modo, o equipamento está operando conforme esperado.

4.3 Validação do equipamento

Realizou-se os testes conforme a metodologia, com os resultados obtidos (APÊNDICE C) gerou-se os gráficos da Figura 19.

Figura 19 – Gráficos de resultados obtidos. Em a – comprimentos da etapa 1, em b – comprimentos da etapa 2, em c – comprimentos da etapa 3, em e d – comprimentos da etapa 4.



Fonte: autoria própria (2021).

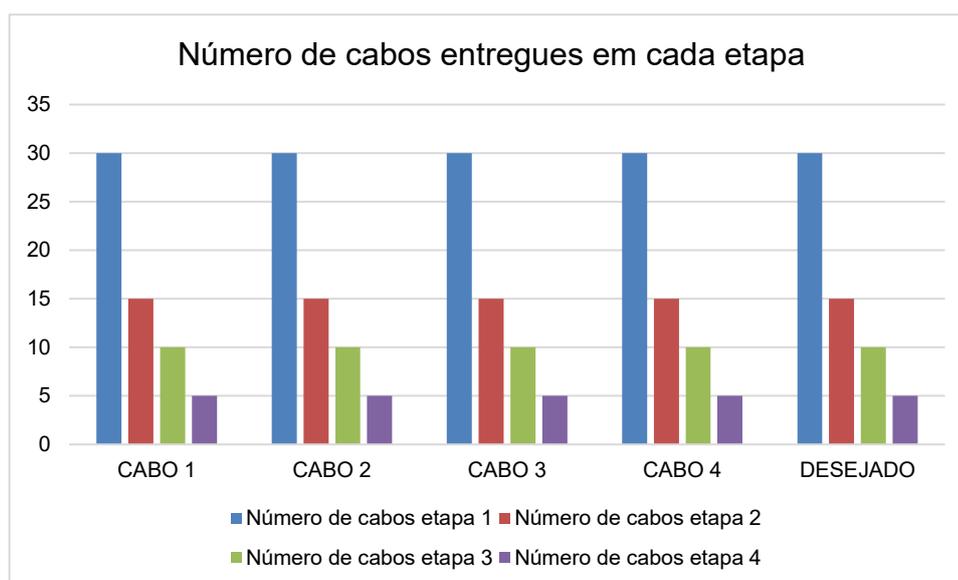
Os testes foram realizados em 4 etapas com 4 cabos diferentes sendo o CABO 1 com bitola de 0,50 mm² da marca COBRECOM, o CABO 2 com bitola de 0,75 mm² da marca DACOTA, o CABO 3 com bitola de 1,00 mm² da marca SIL e o CABO 4 com bitola de 1,50 mm² da marca COBRECOM, cada etapa possuía um número de cabos e um comprimento distinto, na etapa 1 foram solicitados 30 cabos com 30 mm, na etapa 2 foram solicitados 15 cabos com 96 mm, na etapa 3 foram solicitados 10 cabos com 486 mm e na etapa 4 foram solicitados 5 cabos com 990mm.

Os CABOS 1, 2 e 3 possuem comprimentos médios com erro máximo de 6,7 % do valor desejado em todas as 4 etapas. Porém, o CABO 4 apresenta o comprimento menor que o desejado o erro chega a 30 % na etapa 4, o motor teve dificuldade em tracioná-lo, gerando essa discrepância.

Na primeira etapa o CABO 1 apresenta um valor de menor comprimento bem destoante, 16 mm, é uma falha pontual do equipamento que se deve ao enrosco do material em alguma parte do processo. Porém, a maioria dos casos não apresenta grandes variações no comprimento médio, maior e menor comprimento obtido, excluindo o CABO 4 e o CABO 1 na etapa 1, os maiores erros percentuais do comprimento em relação ao valor desejado estão em torno de 20 %.

Em todas as etapas e com todos os tipos de cabo o número de cabos entregue foi o número de cabos desejados, Figura 20.

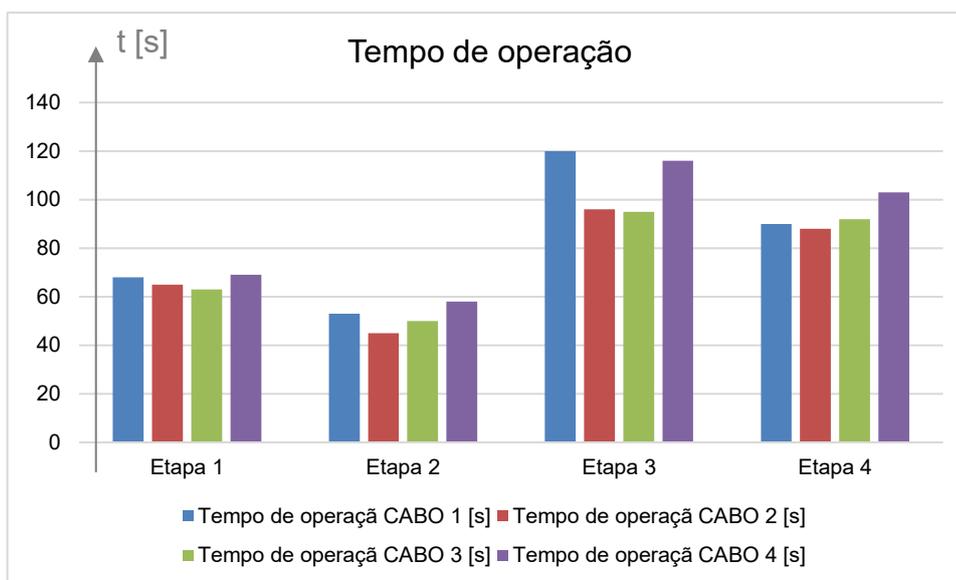
Figura 20 – Gráfico de cabos entregues em cada operação.



Fonte: autoria própria (2021).

O tempo de operação é maior para ambos os cabos, CABO 1 e CABO 4, da marca COBRECUM, Figura 21, a marca possui uma isolamento mais grossa, conseqüentemente, o cabo se torna mais pesado, levando o motor a uma sobrecarga que diminui velocidade de rotação, deste, na etapa de tracionamento do cabo.

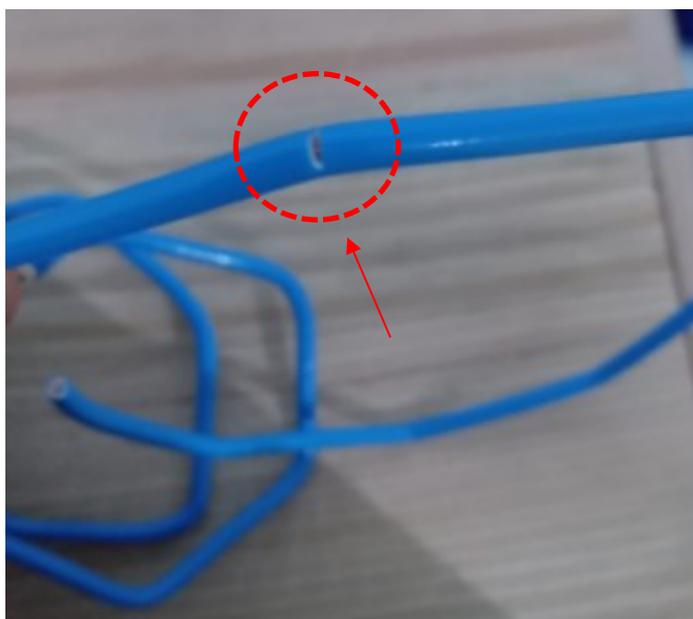
Figura 21 – Gráfico de tempo gasto em cada operação.



Fonte: autoria própria (2021).

Com o CABO 4 o corte não foi realizado completamente, os cabos ficaram apenas semicortados, Figura 22.

Figura 22 – Semi corte do CABO 4.



Fonte: autoria própria (2021).

Este problema ocorreu em todos os cortes do cabo 4. O pistão e a lâmina não foram capazes de realizar o corte completo do cabo, para as análises realizadas nesta seção, considerou-se as medidas semicortadas, onde a lâmina rompeu apenas a isolação do condutor elétrico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O equipamento encontra-se funcionando (Figura 23), atendendo parcialmente ao escopo do projeto, corte ajustável e automático de cabos flexíveis com bitola de até 1,00 mm². É esperado otimizar a mão de obra, acelerando o processo de montagem dos quadros elétricos industriais, pois o operador pode parametrizar a máquina, deixá-la operando, enquanto realiza outras atividades.

Figura 23 – Máquina funcionando.



Fonte: autoria própria (2021).

É possível realizar melhorias no equipamento, adicionando um motor mais potente para tracionar cabos mais pesados sem implicações ou falhas, a substituição deste motor não deve implicar em problemas no circuito elétrico da máquina, pois o motor é chaveado por relé, deste modo, a carga não afeta o funcionamento do restante do circuito.

Outra alteração interessante a se fazer é o ajuste no corte do cabo, dar mais fio a lâmina, adicionando uma contra lâmina e ou substituição do atuador por um de maior força, deste modo, o equipamento deverá cortar os cabos com bitola de 1,50 mm².

Para condutores com bitola de até 1,00 mm² o equipamento apresentou um erro médio máximo de 6,7 % nos testes realizados.

Os dois atuadores empregados no projeto foram submetidos a esforços máximos dentro de suas características nominais, ou seja, para melhorar a eficiência da máquina e reduzir o tempo de operação será necessário a substituição dos atuadores.

REFERÊNCIAS

BAÚ DA ELETRÔNICA, **Módulo Sensor Óptico TCRT5000**. 2021. Disponível em: https://www.baudaeletronica.com.br/modulo-sensor-optico-tcrt5000.html?qclid=CjwKCAjw3_KiBhA2EiwAaAAIirh0w37FHL47hr7vF62dSwagMyoLwBWA8LbBr202zBUJNPzhO-EiZRoCcL4QAvD_BwE. Acesso em: 19 ago. 2021.

BAÚ DA ELETRÔNICA, **Resultado para busca: encoder**. 2021. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/catalogsearch/result/?q=encoder>. Acesso em: 19 ago. 2021.

JUN YE, **Opto Interrupter: Model No MOCH22A**. 2006. Disponível em: <https://datasheetspdf.com/pdf-file/685501/Junye/MOCH22A/1>. Acesso em: 19 ago. 2021.

MICROCHIP, **PIC16F87XA Data Sheet: 28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers**. 2003. Disponível em: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39582b.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2021.

ONSEMI, **LM393, LM393E, LM293, LM2903, LM2903E, LM2903V, NCV2903: Low Offset Voltage Dual Comparators**. 2021. Disponível em: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/LM393-D.PDF>. Acesso em: 19 ago. 2021.

PERRETI, O. D. **O planejamento dos recursos e das instalações industriais**. – São Paulo: SENAI-SP Editora, 2014.

THOMAZINI, D.; BRAGA DE ALBUQUERQUE, P. U. **Sensores Industriais Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Érica, 2007.

JOSÉ DE SOUZA, D. **Desbravando o PIC: ampliado e atualizado para o PIC16F628A** – São Paulo: Érica, 2003.

STL, L298: **Dual full-bridge driver**. 2000. Disponível em: https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/L298_H_Bridge.pdf. Acesso em: 03 dez. 2021.

ELETROPEÇAS, **Atuador linear eletromecânico 12VCC Fluxus FL017-50-12-5**. 2021. Disponível em: <https://www.eletronpeças.com/Produto/atuador-linear-eletromecanico-12vcc-fluxus-fl017-50-12-5>. Acesso em: 03 dez. 2021.

APÊNDICE A – Código do projeto

```

//TCC - Gabriel Pichek, 12/2021
//Máquina automática para corte ajustável de condutores elétricos
//-----
//Configurações gerais
#include<16F877a.h>
#fuses RC, NOLVP, NOWDT
#use delay(clock = 11500)
//Definições de hardware
#define b1 pin_b0
#define b2 pin_b1
#define b3 pin_b2
#define s1 pin_b3
#define s2 pin_b4
#define s3 pin_b5
#define m pin_c4
#define ap pin_c2
#define rp pin_c3
#define rs pin_c6
#define e pin_c7
#define d0 pin_d4
#define d1 pin_d5
#define d2 pin_d6
#define d3 pin_d7
//Variáveis de uso geral
int nc = 0;
int cc = 0;
int sel = 0;
int esc = 0;
int aux_esc = 0;
int aux_cc = 0;
//Funções do LCD
void LCDnibble(int dado);
void LCDcomando(int comando);
void LCDtexto(int texto);
void LCDinicia();
//Função principal
void main() {
    //Inicia o LCD com a parametrização do numero de cabos
    LCDinicia();
    LCDcomando(0x80);
    LCDtexto("Parametrizando");
    LCDcomando(0xCC);
    LCDtexto("N cabos: ");
    LCDcomando(0xCC);
    LCDtexto(nc);
//Loop principal
    while(TRUE){
        //Verifica se pressionou B1
        if(input(b1)){
            delay_ms(10); //Debouncing
            while(!input(b1)){//Espera soltar B1
            }
            //Decrementa o parâmetro que estiver selecionado
            if(sel == 0){
                nc--;
                LCDcomando(0xCC);
                LCDtexto(nc);
            }
            if(sel == 1){
                esc--;
                LCDcomando(0xCC);
                LCDtexto(esc);
            }
        }
    }
}

```

```

    }
    if(sel == 2){
        cc--;
        LCDcomando(0xCC);
        LCDtexto(cc);
    }
}
//Verifica se pressionou B2
if(!input(b2)){
    delay_ms(10); //Debouncing
    while(!input(b2)){ //Espera soltar B2
    }
    //Passa para o parâmetro seguinte
    if(sel == 0){
        sel = 1;
        LCDcomando(0xCC);
        LCDcomando(0xC0);
        LCDtexto("Esc. [mm]: ");
    }
    else if(sel == 1){
        sel = 2;
        LCDcomando(0xC0);
        LCDtexto("Com. [mm]: ");
    }
    //Se for o ultimo parametro inicia o processo
    else if(sel == 2){
        LCDcomando(0x01);
        LCDcomando(0x80);
        LCDtexto("Operando");
        aux_esc = esc; //armazena o parametro de escala
        aux_cc = cc; //armazena o parametro de comprimento
        //Repete o corte de acordo com o número de cabos
        while(nc){
            //Mantém o motor ligado de acordo com a escala
            while(esc){
                //Mantém o motor ligado de acordo com o comprimento
                while(cc){
                    output_low(m); //Liga motor
                    //Sempre que passar um furo do encoder decrementa
                    //o comprimento do cabo.
                    while(input(s1)){
                    }
                    cc--;
                    while(!input(s1)){
                    }
                }
                esc--;
                if(esc){
                    cc = aux_cc;
                }
            }
            output_high(m); //Desliga motor
            if(!input(s2)){ //Se o pistão estiver posicionado, avança
                output_low(rp);
                output_high(ap);
            }
            while(s3){ //Espera chegar ao final do curso
            }
            //Recua pistão
            output_low(ap);
            output_high(rp);
            while(s2){ //Espera chegar ao inicio do curso

```

```

    }
    output_low(rp); //Desliga motor
    nc--;
    if(nc){
        cc = aux_cc;
        esc = aux_esc;
    }
}
sel = 0; //Retorna ao primeiro parametro
LCDcomando(0x01);
LCDcomando(0x80);
LCDtexto("Parametrizando");
LCDcomando(0xCC);
LCDtexto("N cabos: ");
LCDcomando(0xCC);
LCDtexto(nc);
}
}
//Verifica se pressionou B3
if(!input(b3)){
    delay_ms(10); //Debouncing
    while(!input(b3)){ //Espera soltar B3
    }
    //Incrementa o parâmetro selecionado
    if(sel == 0){
        nc++;
        LCDcomando(0xCC);
        LCDtexto(nc);
    }
    if(sel == 1){
        esc++;
        LCDcomando(0xCC);
        LCDtexto(esc);
    }
    if(sel == 2){
        cc++;
        LCDcomando(0xCC);
        LCDtexto(esc);
    }
}
}
}
//Função para trabalhar com 4 bits no lcd
void LCDnibble(int dado){
    output_bit(d0, bit_test(dado, 0));
    output_bit(d1, bit_test(dado, 1));
    output_bit(d2, bit_test(dado, 2));
    output_bit(d3, bit_test(dado, 3));
    output_high(e);
    delay_ms(1);
    output_low(e);
}
//Função de dar comando para o lcd
void LCDcomando(int comando){
    output_low(rs);
    delay_ms(2);
    LCDnibble(comando >> 4);
    LCDnibble(comando & 0x0f);
    delay_ms(2);
}
//Função de escrever texto no LCD

```

```
void LCDtexto(int texto){
    output_high(rs);
    delay_ms(2);
    LCDnibble(texto >> 4);
    LCDnibble(texto & 0x0f);
    delay_ms(2);
}
//Função de iniciar o LCD
void LCDinicia(){
    output_low(rs);
    delay_ms(15);
    LCDcomando(0x03);
    LCDcomando(0x02);
    delay_ms(1);
    LCDcomando(0x28);
    LCDcomando(0x0c);
    LCDcomando(0x06);
    LCDcomando(0x01);
    delay_ms(20);
}
```

APÊNDICE B – Formulário de testes

Validação do equipamento

Data: ___ / ___ / ___

Bitola: _____ Marca: _____ Isolação: _____ Cor: _____

ETAPA 1: *configure a máquina para realizar o corte de 30 cabos com 30 mm.*

Tempo de operação: _____

Número de cabos entregues: _____

Comprimento médio dos cabos: _____

Maior comprimento obtido: _____

Menor comprimento obtido: _____

ETAPA 2: *configure a máquina para realizar o corte de 15 cabos com 96 mm.*

Tempo de operação: _____

Número de cabos entregues: _____

Comprimento médio dos cabos: _____

Maior comprimento obtido: _____

Menor comprimento obtido: _____

ETAPA 3: *configure a máquina para realizar o corte de 10 cabos com 486 mm.*

Tempo de operação: _____

Número de cabos entregues: _____

Comprimento médio dos cabos: _____

Maior comprimento obtido: _____

Menor comprimento obtido: _____

ETAPA 4: *configure a máquina para realizar o corte de 5 cabos com 990 mm.*

Tempo de operação: _____

Número de cabos entregues: _____

Comprimento médio dos cabos: _____

Maior comprimento obtido: _____

Menor comprimento obtido: _____

APÊNDICE C – Resultado dos testes

Validação do equipamento

Data: ___/___/___

Bitola: 0,5 mm² Marca: COBRECOM Isolação: 450/750 V Cor: PRETO**ETAPA 1:** *configure a máquina para realizar o corte de 30 cabos com 30 mm.*Tempo de operação: 68 sNúmero de cabos entregues: 30Comprimento médio dos cabos: 28 mmMaior comprimento obtido: 33 mmMenor comprimento obtido: 16 mm**ETAPA 2:** *configure a máquina para realizar o corte de 15 cabos com 96 mm.*Tempo de operação: 53 sNúmero de cabos entregues: 15Comprimento médio dos cabos: 97 mmMaior comprimento obtido: 100 mmMenor comprimento obtido: 93 mm**ETAPA 3:** *configure a máquina para realizar o corte de 10 cabos com 486 mm.*Tempo de operação: 120sNúmero de cabos entregues: 10Comprimento médio dos cabos: 499 mmMaior comprimento obtido: 565 mmMenor comprimento obtido: 438 mm**ETAPA 4:** *configure a máquina para realizar o corte de 5 cabos com 990 mm.*Tempo de operação: 90 sNúmero de cabos entregues: 5Comprimento médio dos cabos: 947 mmMaior comprimento obtido: 1019 mmMenor comprimento obtido: 788 mm

Validação do equipamento

Data: ___/___/___

Bitola: 0,75 mm² Marca: DACOTA Isolação: 450/750 V Cor: CINZA**ETAPA 1:** *configure a máquina para realizar o corte de 30 cabos com 30 mm.*Tempo de operação: 65 sNúmero de cabos entregues: 30Comprimento médio dos cabos: 32 mmMaior comprimento obtido: 36 mmMenor comprimento obtido: 29 mm**ETAPA 2:** *configure a máquina para realizar o corte de 15 cabos com 96 mm.*Tempo de operação: 53 sNúmero de cabos entregues: 15Comprimento médio dos cabos: 100 mmMaior comprimento obtido: 105 mmMenor comprimento obtido: 96 mm**ETAPA 3:** *configure a máquina para realizar o corte de 10 cabos com 486 mm.*Tempo de operação: 96sNúmero de cabos entregues: 10Comprimento médio dos cabos: 494 mmMaior comprimento obtido: 518 mmMenor comprimento obtido: 454 mm**ETAPA 4:** *configure a máquina para realizar o corte de 5 cabos com 990 mm.*Tempo de operação: 88 sNúmero de cabos entregues: 5Comprimento médio dos cabos: 949 mmMaior comprimento obtido: 953 mmMenor comprimento obtido: 948 mm

Validação do equipamento

Data: ___/___/___

Bitola: 1,0 mm² Marca: SIL Isolação: 450/750 V Cor: MARROM**ETAPA 1:** *configure a máquina para realizar o corte de 30 cabos com 30 mm.*Tempo de operação: 63 sNúmero de cabos entregues: 30Comprimento médio dos cabos: 31 mmMaior comprimento obtido: 36 mmMenor comprimento obtido: 27 mm**ETAPA 2:** *configure a máquina para realizar o corte de 15 cabos com 96 mm.*Tempo de operação: 50 sNúmero de cabos entregues: 15Comprimento médio dos cabos: 100 mmMaior comprimento obtido: 105 mmMenor comprimento obtido: 97 mm**ETAPA 3:** *configure a máquina para realizar o corte de 10 cabos com 486 mm.*Tempo de operação: 95sNúmero de cabos entregues: 10Comprimento médio dos cabos: 506 mmMaior comprimento obtido: 564 mmMenor comprimento obtido: 495 mm**ETAPA 4:** *configure a máquina para realizar o corte de 5 cabos com 990 mm.*Tempo de operação: 92 sNúmero de cabos entregues: 5Comprimento médio dos cabos: 935 mmMaior comprimento obtido: 950 mmMenor comprimento obtido: 894 mm

Validação do equipamento

Data: ___/___/___

Bitola: 1,5 mm² Marca: COBRECOM Isolação: 450/750 V Cor: AZUL**ETAPA 1:** *configure a máquina para realizar o corte de 30 cabos com 30 mm.*Tempo de operação: 69 sNúmero de cabos entregues: 30Comprimento médio dos cabos: 28 mmMaior comprimento obtido: 33 mmMenor comprimento obtido: 26 mm**ETAPA 2:** *configure a máquina para realizar o corte de 15 cabos com 96 mm.*Tempo de operação: 58 sNúmero de cabos entregues: 15Comprimento médio dos cabos: 91 mmMaior comprimento obtido: 94 mmMenor comprimento obtido: 84 mm**ETAPA 3:** *configure a máquina para realizar o corte de 10 cabos com 486 mm.*Tempo de operação: 116sNúmero de cabos entregues: 10Comprimento médio dos cabos: 377 mmMaior comprimento obtido: 383 mmMenor comprimento obtido: 366 mm**ETAPA 4:** *configure a máquina para realizar o corte de 5 cabos com 990 mm.*Tempo de operação: 90 sNúmero de cabos entregues: 5Comprimento médio dos cabos: 695 mmMaior comprimento obtido: 713 mmMenor comprimento obtido: 689 mm