

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO
CURSO DE TECNOLOGIA EM ELETRÔNICA INDUSTRIAL

Deborah de Paula Fernandes de Mello
Eduardo Henrique Caetano de Oliveira Barbosa

PROJETO SISTEMA SUPERVISÓRIO ESTEIRA INDUSTRIAL

SÃO PAULO – SP
2018

Deborah de Paula Fernandes de Mello
Eduardo Henrique Caetano de Oliveira Barbosa

PROJETO SISTEMA SUPERVISÓRIO ESTEIRA INDUSTRIAL

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Tecnólogo em
Eletrônica Industrial pela Faculdade de
Tecnologia do Estado de São Paulo.

SÃO PAULO
2018

Mello, Deborah de Paula Fernandes de; Barbosa, Eduardo
Henrique Caetano de Oliveira;
Projeto Sistema Supervisório Esteira Industrial

Monografia – Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica
Industrial – Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2018
Orientador: Prof. Maurício Antônio Deffert

1.PIC. 2.Esteira. 3. Sistema supervisório. 4.Braços robóticos.
5.Célula de carga. 6.Arduino. 7.Controle Industrial. 8. IHM.

Deborah de Paula Fernandes de Mello
Eduardo Henrique Caetano de Oliveira Barbosa

PROJETO SISTEMA SUPERVISÓRIO ESTEIRA INDUSTRIAL

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Professor Mestre Maurício Antônio Deffert
Orientador

Professor Doutor Roberto Katsuhiko Yamamoto
Avaliador

Professor Mestre Ricardo Cardoso Rangel
Avaliador

Professor Dimas Ramalho
Avaliador

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Comportamento do <i>strain gauge</i> em funcionamento.....	15
Figura 2: <i>Strain gauge</i> em configuração Circuito com Um Quarto de Ponte.....	17
Figura 3: Circuito configurado em ponte de <i>Wheatstone</i>	18
Figura 4: Sinal analógico e sua saída digital.	19
Figura 5 - Amplificador básico	20
Figura 6 - Comunicação típica I ² C.....	21
Figura 7 - Barramento de dados e barramento de <i>clock</i> nível lógico alto.....	21
Figura 8 - Transmissão de dados.....	22
Figura 9 - Polarização e simbologia.	23
Figura 10 - Curva característica do fotodiodo.....	23
Figura 11 - Aplicação do fotodiodo para gerar contagens.	24
Figura 12 - Simbologia do fototransistor.....	25
Figura 13 - Curva característica de corrente do coletor do fototransistor.	25
Figura 14 - Modulação por largura de pulso.....	26
Figura 15 - Tensão média de uma onda.	27
Figura 16 - Princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua.....	28
Figura 17 - Partes básicas de um motor de corrente contínua.....	28
Figura 18 - Construção interna de um motor de corrente contínua.	29
Figura 19 - Modelo elétrico de motor de corrente contínua.	30
Figura 20 - Servomotor com um <i>resolver</i> para determinar sua posição.....	32
Figura 21 - Servomotor utilizado em robótica.....	32
Figura 22 - Servomotor e suas posições.....	33
Figura 23 - Diagrama de blocos.	35
Figura 24 - Fluxograma lógico do projeto.....	36

Figura 25 - PIC 18F4550.	37
Figura 26 - PIC 18F4550 distribuição dos pinos.	38
Figura 27 - Circuito de desenvolvimento <i>Arduino Uno</i> revisão 3.	39
Figura 28 - Módulo detector de objetos com TIL32 e TIL78.	40
Figura 29 - Célula de carga CZL635.	41
Figura 30 - Módulo conversor-amplificador HX711.	42
Figura 31 - Display LCD 16x2.	42
Figura 32 - Micro servomotor 9G SG90 e algumas dimensões.	43
Figura 33 - Micro servomotor MG995 e algumas dimensões.	44
Figura 34 - Motor de corrente contínua com caixa de redução acoplada.	45
Figura 35 - Conversor USB-TTL FT232.	46
Figura 36 - <i>Driver</i> de acionamento L298N.	46
Figura 37 - Esteira Industrial piloto (vista pelo lado direito).	48
Figura 38 - Esteira Industrial piloto (vista por cima).	49
Figura 39 - Esteira Industrial piloto (vista pela frente).	49
Figura 40 - Braço robótico totalmente levantado.	51
Figura 41 - Braço robótico posição de colocar embalagens na esteira.	52
Figura 42 - Braço robótico com a garra aberta.	53
Figura 43 - Dimensão garra coletora aberta.	54
Figura 44 - Conjunto garra coletora.	54
Figura 45 - Garra coletora posicionada totalmente para esquerda e fechada.	55
Figura 46 - Circuito elétrico PIC 18F4550.	56
Figura 47 - Circuito elétrico acionado pelo módulo <i>Arduino Uno</i>	57
Figura 48 - <i>Layout</i> da placa de circuito impresso.	59
Figura 49 - Fotelito da placa de circuito impresso.	60
Figura 50 - Placa de circuito aparência física simulada.	61
Figura 51 - Placa de circuito impresso confeccionada.	62

Figura 52 - Placa de circuito impresso com componentes soldados.....	63
Figura 53 - Embalagens processadas pela esteira industrial.	64
Figura 54 - Planta da esteira industrial.....	65
Figura 55 - Placa de matriz de contatos com componentes montados para testes. .	66
Figura 56 - Módulos acionados pelo microcontrolador PIC 18F4550.....	67
Figura 57 - Módulos acionados pelo <i>Arduino Uno</i>	68
Figura 58 - LEDS de indicação de funcionamento do sistema.....	69
Figura 59 - Posição sensores ópticos.	70
Figura 60 - Localização dos servomotores.....	72
Figura 61 - Localização do botão de emergência.....	72
Figura 62 - Balança configurada para pesar as embalagens.	73
Figura 63 - Fluxograma da comunicação serial.....	74
Figura 64 - Fluxograma dos botões da IHM.	75
Figura 65 - Painel principal da interface homem-máquina.	76
Figura 66 - Segunda aba da interface homem-máquina.	77
Figura 67 - Terceira aba da interface homem-máquina.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: <i>Softwares</i> utilizados.....	35
Tabela 2: Relação de custo dos componentes eletrônicos utilizados.	47
Tabela 3: Custos dos componentes mecânicos.	55

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo do fator de medida.	16
Equação 2: Relação entre V_{ex} e a saída V_o	16
Equação 3 - Cálculo da razão cíclica de um sinal PWM.	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
cm	Centímetros
D-A	Digital-Analógico
DVD	Digital Versatile Disc
g	Gramas
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IHM	Interface Homem-Máquina
IP	Internet Protocol
k	Quilo
kbits/s	Quilobits por Segundo
kg/cm	Quilogramas por Centímetro
LCD	Liquid Cristal Display
LED	Light Emitting Diode
MDF	Medium Density Fiberboard
MHz	Megahertz
ms	Milissegundo
MSB	Most Significant Bit
Ω	Ohms
P-N	Positive-Negative
pF	Picofarad
PWM	Pulse Width Modulation
TCP	Transmission Control Protocol
TTL	Transistor-Transistor Logic
uF	Microfarad
USB	Universal Serial Bus
VDC	Volts of Direct Current
V _T	Tensão Limiar

RESUMO

Este projeto foi realizado para demonstrar de forma prática as vantagens de um sistema supervisório automatizado, controlado por um microcontrolador, com o emprego de técnicas de programação de sistemas embarcados microcontrolados, a implementação de uma interface homem-máquina e seus benefícios para o projeto, conversões de sinais analógicos em sinais digitais, e métodos de acionamentos de componentes mecânicos através de dispositivos eletrônicos. Optou-se por uma simulação em um ambiente fabril, composto por um braço robótico, uma garra robótica e por uma esteira industrial piloto, que possui provisões para instalações de sensores ópticos, para contagem e separação de objetos que irão passar por ela, e provisões para instalação de motores de corrente contínua com caixa de redução acoplada. O trabalho é composto por dois sensores ópticos, que possuem a função de identificar objetos que estão passando pela esteira, uma célula de carga responsável pela mensuração do peso dos objetos, um terminal de monitoramento (implementado através de um computador pessoal), que irá exibir para o operador informações referentes a contagem de objetos, controles para o correto funcionamento do sistema desenvolvido e acionamento ou desligamento do sistema. Como resultado, foi verificado a eficiência do uso de microcontroladores para implementar todo um sistema supervisório, incluindo a parte de acionamento de dispositivos mecânicos, dispositivos elétricos e eletrônicos, o tratamento dos dados recebidos, as vantagens de uma interface homem-máquina monitorar em tempo real os parâmetros do sistema, redução do número das interrupções dos serviços e dos custos operacionais do sistema.

Palavras chave: Microcontrolador. PIC. Esteira. Sistema Supervisório. Braço Robótico. Garra Robótica. Célula de Carga. Sensor Óptico. Arduino. Controle Industrial. IHM.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	11
1.1.1 Objetivo Geral	11
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 REVISÃO TEÓRICA	13
2.1 Sistemas Supervisórios	13
2.2 Célula de Carga ou <i>Strain Gauge</i>	14
2.3 Conversão Analógico-Digital	18
2.4 Amplificadores Operacionais	19
2.5 Comunicação Serial I ² C	20
2.6 Sensor Óptico	22
2.6.1 Fotodiodo	22
2.6.2 Fototransistor	24
2.7 Modulação por Largura de Pulso - <i>PWM (PULSE WIDTH MODULATION)</i>	26
2.8 Motores de Corrente Contínua	27
2.8.1 Servomotor	31
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	34
3.1 Visão Geral	34
3.2 Escolha dos Componentes Eletrônicos	37
3.3 Escolha dos Componentes Mecânicos	47
3.3 Esquemas Elétricos	55
3.4 Planta da Esteira Industrial	63
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	66
4.1 Resultados de Funcionamento	66

4.2 IHM – Interface Homem Máquina.....	74
4.3 Dificuldades Encontradas.....	79
5 CONCLUSÕES	81
6 TRABALHOS FUTUROS	83
REFERÊNCIAS.....	84
APÊNDICE A – Código Fonte	86

1 INTRODUÇÃO

A utilização de um sistema supervisório em um ambiente industrial, implica na qualidade do processo utilizado, custo, e capacidade de produção. Quando um erro é identificado, a ação corretiva pode ser automática e instantânea, e o constante monitoramento auxilia em identificar áreas onde problemas estão ocorrendo, ou que poderão ocorrer, antes do evento tornar-se crítico. Os resultados finais esperados são as reduções de interrupções dos serviços e dos custos operacionais.

O propósito fundamental dos sistemas supervisórios é monitorar a distância por uma variedade de processos diferentes, assim como, realizar a coleta de dados em tempo real e promover a análise dos dados acumulados.

A implementação de um sistema supervisório de alto nível tem um custo elevado, requer diversos treinamentos específicos de usuários e operadores, e em muitas aplicações sua manipulação não é simples e pode induzir o usuário ao erro.

Os sistemas supervisórios, também chamados de SCADA, do inglês “*Supervisory Control and Data Acquisition*” (Controle Supervisório e Aquisição de Dados), permitem que sejam monitoradas e rastreadas todas as informações de um processo produtivo ou de uma instalação física. As informações são coletadas através de equipamentos de aquisição de dados, em seguida manipuladas, analisadas e transmitidas aos usuários. O início da pesquisa do sistema SCADA começou na década de 60, quando dispositivos simples de entrada e saída eram utilizados em operações de monitoramento e aplicações industriais. Os sistemas SCADA ainda têm maior produtividade e eficiência operacional aumentando a confiabilidade e a estabilidade do sistema.

O projeto traz a proposta de implementar um sistema supervisório eficiente, de fácil uso, de custo reduzido, confiável, com facilidade de implementação, com uma interface simples para o usuário, trazendo as informações necessárias para o controle do processo e identificar problemas com os objetos que estão sendo processados pela esteira industrial.

Algumas delimitações deste trabalho se deve ao fato de que o mesmo não irá abordar todas as redes industriais, assim como, seus protocolos, modelos de

interconexão, tamanho das estruturas maiores, como por exemplo, a esteira, braço robótico e garra coletora, não serão utilizados em ambiente industrial real.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este projeto tem como objetivo geral o desenvolvimento de um sistema supervisor para controle de uma esteira industrial piloto, possuindo uma interface homem-máquina que será implementada através do *Microsoft Visual Studio*, para verificar em tempo real o funcionamento, número de produtos que já passaram pela esteira, os que estão passando, e o número de objetos recusados.

O sistema contará com um microcontrolador que receberá informações enviadas através de sensores ópticos, que irão monitorar os objetos que irão passar pela esteira, além de controlar um braço robótico que irá coletar objetos de uma balança. A função da balança será de identificar objetos que tem seu peso dentro de um mínimo especificado, e contará com um outro microcontrolador dedicado ao seu funcionamento. Caso este peso estiver correto, o braço robótico irá direcionar o objeto para a esteira para contagem, caso este peso estiver abaixo do mínimo especificado, o braço robótico irá retirar este objeto para que o mesmo não vá para esteira. Ainda sobre o controle de um dos microcontroladores, uma garra robótica, localizada após o final da esteira, tem a função de coletar os objetos da esteira. O acionamento da esteira será através de um motor de corrente contínua, com uma caixa de redução acoplada ao mesmo.

O sistema visa comprovar a eficiência alcançada pela automação e a melhoria na facilidade de manuseio do sistema em ambientes industriais.

1.1.2 Objetivos Específicos

Este trabalho tem como objetivos específicos:

1. Desenvolver uma interface-homem máquina através do *software* do ambiente de desenvolvimento *Microsoft Visual Studio*;
2. Fazer uso de sensores ópticos para contagem de objetos.
3. Utilizar um braço robótico controlado através de um microcontrolador, possuindo servomotores acoplados para gerar seus movimentos;
4. Usar uma balança para mensurar os pesos dos objetos que deverão ir para a esteira para serem processados, fazendo uso de conversão de sinal analógico para sinal digital;
5. Colocar em funcionamento prático uma esteira industrial piloto, acionando seu motor através de um microcontrolador;
6. Implementar uma rotina que gerencie as etapas do processo e que realize a quantificação de objetos aceitos e recusados pelo sistema desenvolvido.

2 REVISÃO TEÓRICA

2.1 Sistemas Supervisórios

Com o avanço da eletrônica nas décadas de 70 e 80, e com o surgimento dos microprocessadores, computadores tornaram-se essenciais em diversos setores industriais, contribuindo para o início da utilização dos primeiros sistemas supervisórios. Um sistema supervisório tem a função de receber e armazenar diversos tipos de informações, na forma de sinais elétricos, e armazenar em um banco de dados as informações sobre um processo, podendo ser um processo de produção, monitoramento e etc. Informações são provenientes de sensores que capturam dados específicos (conhecidos como variáveis de processo), da planta em questão. Empresas investem em sistemas de supervisão com o intuito de:

- **Qualidade:** Através do monitoramento das variáveis do processo produtivo (pressão, temperatura, vazão, nível, etc.), é possível determinar valores ótimos de trabalho. Caso estes valores saiam da faixa aceitável o sistema supervisório poderá gerar um alarme na tela, alertando o operador do processo para um eventual problema no processo produtivo. Desta forma, as intervenções no processo são feitas rapidamente, garantindo que o produto final sempre tenha as mesmas características;
- **Redução dos custos operacionais:** É possível centralizar toda a leitura dos instrumentos de campo, gerar gráficos de tendência e gráficos históricos das variáveis do processo. Desta forma, são necessários poucos funcionários especializados, e, com poucos “cliques” de *mouse* é possível realizar a operação do processo com o uso dos instrumentos virtuais implementados na interface do *software* supervisório.
- **Maior desempenho de produção:** Através da rapidez da leitura dos instrumentos de campo, as intervenções necessárias podem ser feitas mais rapidamente. Problemas de parada de máquina por defeitos podem ser diagnosticados mais pontualmente e a inicialização de máquinas também é agilizada. [1]

Um sistema supervisório também conta com telas sinóticas. Este recurso permite a criação de diversas imagens, muitas das vezes interativas, que são projetadas para atender diversos segmentos dentro do local de aplicação, permitindo diferentes tipos de interatividade com o usuário, em maior ou menor escala, dependendo do setor, de fácil interpretação para o operador, simplificando processos e sistemas complexos. Alarmes podem ser adicionados ao projeto, com a função de avisar ao usuário sobre a ocorrência de algum problema na planta, ou quando valores ou variáveis estiverem fora dos limites previstos. Esses alarmes ainda adicionam informações na tela, podendo ser animações, mudança de cor, luzes piscando e etc. Diversos tipos de relatórios podem ser gerados a partir de dados coletados por um sistema supervisório, tais como relatórios de erros, relatório de falhas, relatórios em forma de planilhas. Gráficos também são gerados, por exemplo, gráficos históricos.

A comunicação é alcançada através de meios físicos, fazendo uso de alguns protocolos de comunicação, devendo ser necessariamente o mesmo protocolo entre a planta e o terminal aonde se encontra o sistema supervisório. Tipicamente, são encontrados o padrão RS-232 (típica comunicação serial), padrão *Ethernet*, e barramento serial universal. Para ligar um ponto a outro, podem ser utilizados fios elétricos e conexão por fibra ótica.

Alguns sistemas contam com ferramentas de redundância, para casos onde a parada da aplicação pode causar prejuízos financeiros, ou em certos casos, causar mortes. Um dos métodos bem utilizados, é o uso de dois servidores, um em funcionamento e o outro em estado de monitoramento e espera, podendo os mesmos serem chaveados e um assumir a função do outro.

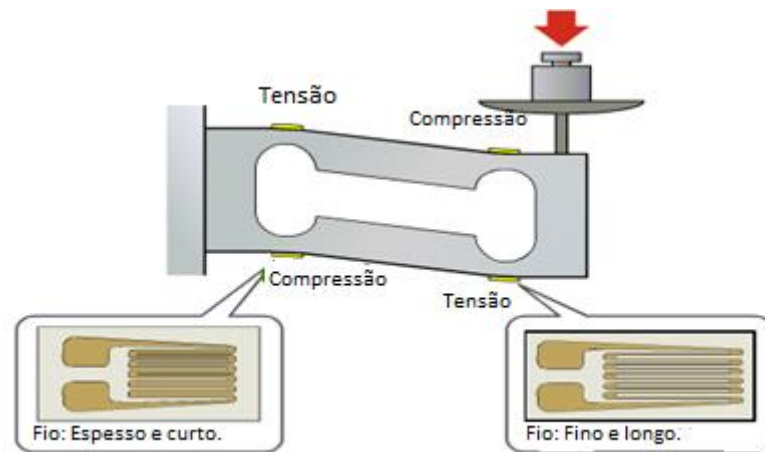
2.2 Célula de Carga ou *Strain Gauge*

A célula de carga é um elemento mecânico ou transdutor, o qual pode transformar a deformação (força) em um sinal elétrico. Foi inventada por *Edward E. Simmons* e *Arthur C. Ruge* em 1938. O tipo mais comum de célula de carga

consistia em um suporte flexível isolante, o qual suportava uma folha metálica padrão.

As aplicações das células de carga são amplamente utilizadas em diversas áreas, mais comumente para medir forças e torques. Na barra do *strain gauge*, a célula de carga é configurada em formato em Z, de modo que, o torque seja aplicado a barra. Os quatros medidores de tensão na célula medirão a distorção de flexão, sendo que dois irão medir a compressão, e os outros dois irão medir a tensão conforme a representação da Figura 1.

Figura 1: Comportamento do *strain gauge* em funcionamento.



Fonte: <https://www.quora.com>. Acesso 30/04/2018.

O *strain gauge* também pode ser chamado de extensômetro. Um extensômetro comum possui um formato de "grade", com apenas um fio percorrendo em "zigue-zague" o percurso entre os terminais. O elemento sensível é fabricado desta forma para maximizar o comprimento do fio, e com uma área transversal mínima, para que deformações em sentidos que não são de interesse não causem uma variação indesejada na resistência, levando ao erro da medição.

Quando um objeto é submetido a deformação mecânica, este irá contrair-se ou expandir-se. Este efeito é chamado efeito *Poisson*, em homenagem ao cientista francês *Simeon Poisson*. Um componente ideal possui efeito de *Poisson* nulo. Como esta deformação possui uma característica elástica, teremos uma proporção linear entre a tensão aplicada e a deformação sofrida. O principal parâmetro de um extensômetro é o fator de medida, representado por *GF*. Este parâmetro é um fator

quantitativo, definido pela divisão entre a mudança da resistência elétrica pela deformação, como definido pela Equação 1.

$$GF = \frac{\Delta R / R_G}{\epsilon}$$

Onde:

ΔR Variação na resistência (Sofrendo deformação);

R_G Resistência (Sem sofre variação);

ϵ Deformação elástica longitudinal (Adimensional).

Equação 1: Cálculo do fator de medida.

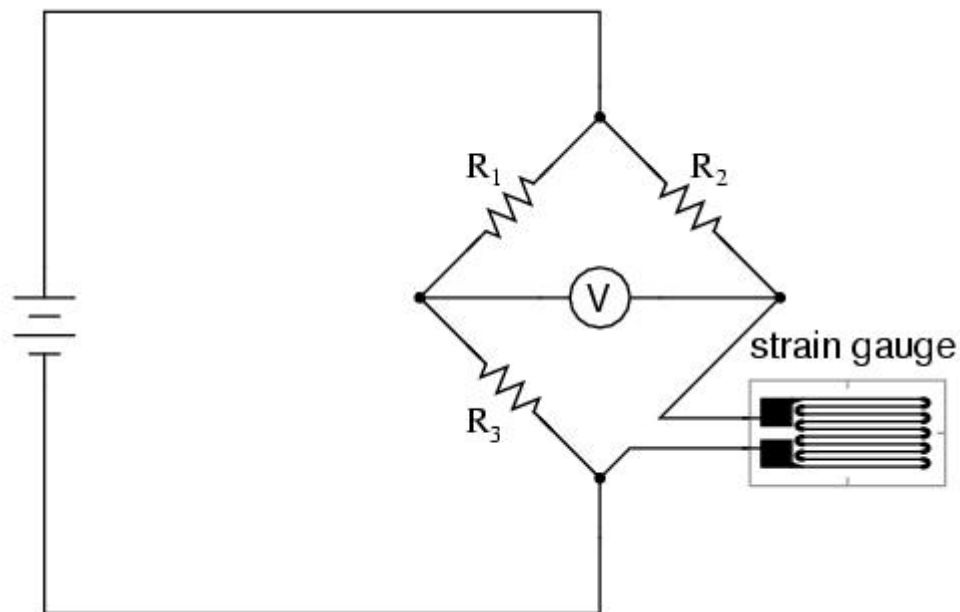
Como o valor da variação elástica longitudinal é pequena, utiliza-se a ponte de *Wheatstone*, e mede-se a tensão na saída do circuito. Troca-se um dos resistores do circuito por um extensômetro, que irá gerar uma variação na resistência do circuito devido a deformação mecânica, obtendo-se na saída uma tensão diferente de zero. Medindo-se essa tensão, com um multímetro por exemplo, consegue-se calcular a deformação utilizando-se a equação acima. Mantendo-se a ponte em equilíbrio, pela Equação 2 relaciona-se a tensão de excitação (V_{ex}) e a tensão de saída (V_0), em função da deformação:

$$\frac{V_0}{V_{ex}} = \frac{GF \times \epsilon}{4} \left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\epsilon}{2}} \right)$$

Equação 2: Relação entre V_{ex} e a saída V_0 .

Em circuitos práticos, é gerada uma tensão de saída com baixo valor, sendo incapaz de ser obtida por dispositivos que estarão lendo a informação para exibir em fins práticos. Desta forma, se faz necessário o uso de circuitos amplificadores para elevar o nível do sinal e tratar o mesmo. Na Figura 2, é mostrado um exemplo de *strain gauge* na configuração *Circuito com Um Quarto de Ponte*. [2]

Figura 2: Strain gauge em configuração Circuito com Um Quarto de Ponte.



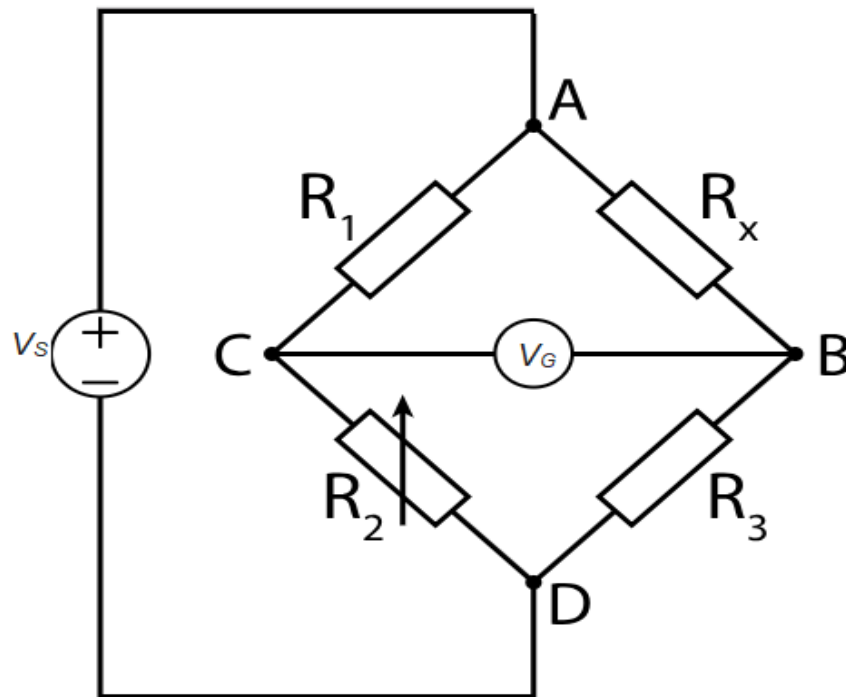
Fonte: http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Strain_Gauge. Acesso em 01/05/2018.

Um circuito elétrico configurado em ponte de *Wheatstone*, é um arranjo de montagem de dispositivos elétricos, que permitem a medição de uma resistência elétrica com seu valor desconhecido.

Foi elaborada por *Samuel Hunter Christie* em 1833, mas obteve maiores êxitos com *Charles Wheatstone*, que descreveu seu funcionamento alguns anos mais tarde. Em funcionamento, a ponte estará em equilíbrio quando os resistores estiverem ajustados de forma que o amperímetro, ou galvanômetro, exibe uma corrente igual a zero. É possível calcular o valor da resistência não conhecida pelo quociente dos valores das resistências conhecidas, desde que os valores dos outros três resistores sejam conhecidos.

O circuito da Figura 3 possui a configuração em ponte de *Wheatstone*. O resistor R_2 é um potenciômetro, R_x é a resistência a ser determinada, V_G a tensão entre os terminais do galvanômetro e V_S é a tensão da fonte.

Figura 3: Circuito configurado em ponte de *Wheatstone*.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_Wheatstone. Acesso em 01/05/2018.

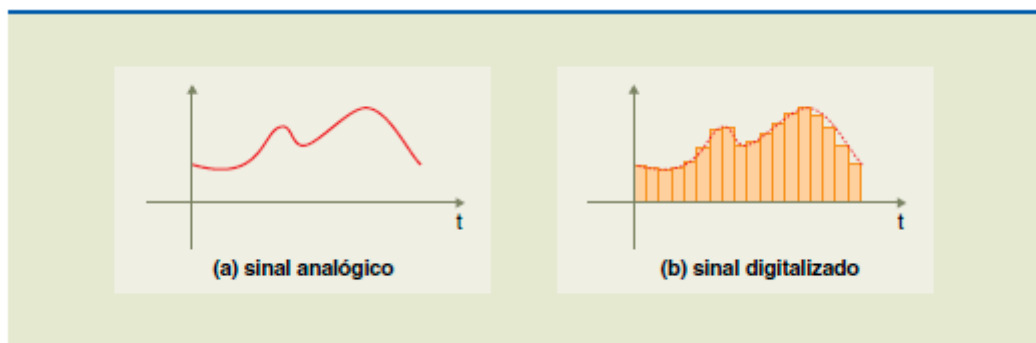
2.3 Conversão Analógico-Digital

Um conversor analógico-digital recebe uma tensão analógica na entrada, contínua no tempo, e após um determinado tempo, gera uma saída digital, em forma de código digital (discreto no tempo), que representa a forma analógica de entrada. A Figura 4 apresenta uma ilustração de um sinal analógico e sua representação no formato de sinal digital.[4]

Segundo Professor Marlio Bonfim (2002), a faixa dinâmica é amplitude de operação de um sinal analógico (em geral uma tensão), dentro da faixa de trabalho (linear) de um conversor. O sinal de entrada deve ser condicionado de forma a possibilitar sua máxima utilização dentro dessa faixa dinâmica. Os conversores analógicos digitais apresentam uma faixa dinâmica de 0,1 a 10V. A resolução de um conversor é a menor quantidade que um sinal analógico pode ser convertido dentro da faixa dinâmica. É determinada pela quantidade de bits do conversor. São encontrados na prática conversores com resoluções de 8 e 20 *bits*.

O tempo de conversão é o tempo necessário para se obter o sinal processado na saída, neste caso, um sinal digital. É diretamente relacionado com o tipo de conversor utilizado e sua resolução. Tipicamente, quanto maior a resolução, maior será o tempo de conversão. Este tempo varia de segundos até nano-segundos. [4]

Figura 4: Sinal analógico e sua saída digital.



Fonte: GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo e PAREDE, Tera Miho Shiozaki. **Eletrônica – Máquinas e instalações elétricas, v.3.** 1. Ed. Editora: Fundação Padre Anchieta, 2011.

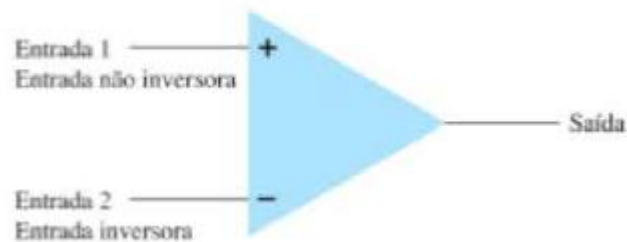
2.4 Amplificadores Operacionais

Neste trabalho será dada uma breve explicação a respeito de amplificadores operacionais, não abordando conhecimentos aprofundados. Amplificadores operacionais não fazem parte do estudo principal deste projeto, tendo um uso limitado apenas para amplificar um sinal de baixa intensidade gerado por um dos componentes utilizados.

Amplificador operacional é um dispositivo de ganho consideravelmente alto com impedância de entrada alta e baixa impedância de saída. Algumas aplicabilidades são: alterações em valores de tensão, com relação a amplitude e a polaridade, osciladores, filtros e diversos tipos de circuitos de instrumentação. Na Figura 5, é apresentado a ilustração de um amplificador operacional básico, contendo duas entradas e uma saída. A entrada representada por um sinal positivo (+), é chamada de entrada não inversora. A entrada representada por um sinal negativo (-), é chamada de entrada inversora. O que difere entre as duas é que na

entrada não inversora o sinal de saída possui a mesma fase que o sinal de entrada, já na entrada inversora, o sinal de saída está com a fase invertida com relação ao sinal de entrada. [5]

Figura 5 - Amplificador básico

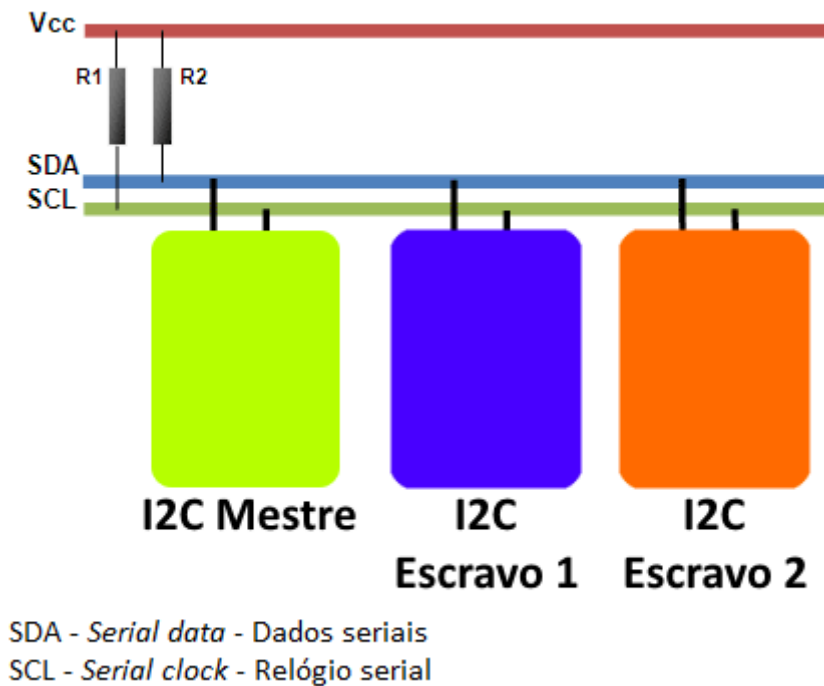


Fonte: BOYLESTAD, Robert L. e NACHELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 11.ed. Editora: PEARSON, 2013.

2.5 Comunicação Serial I²C

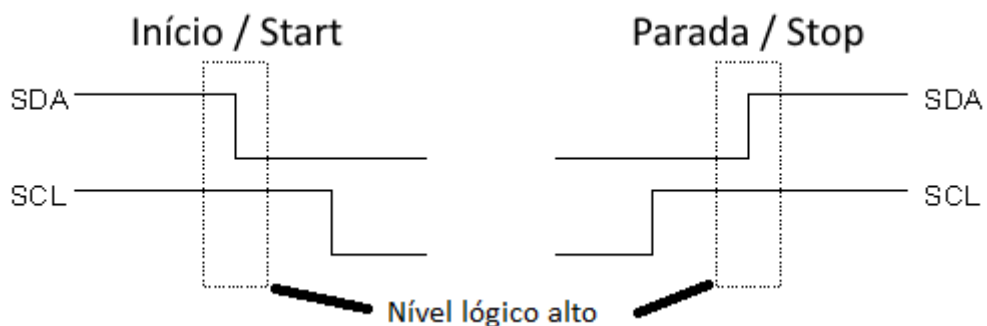
Comunicação serial consiste em enviar dados, ou *bits*, um de cada vez e em sequência por um canal de comunicação ou barramento. Por consequência, serão reduzidos os números de fios empregados no projeto.

O nome I²C pode ser traduzido do inglês para circuito inter-integrado e utiliza duas linhas bidirecionais de dreno aberto, chamadas de dados seriais, traduzido do inglês *serial data*, e relógio serial, traduzido do inglês *serial clock*. Este protocolo apresenta dois sinais de comunicação, um com o sinal de *clock*, e o outro de dados, como pode ser visto na Figura 6. Em coletor aberto, duas linhas bidirecionais são usadas, uma contendo dados, e a de *clock* possuindo resistores de *pull-up*. São utilizadas tensões de operações entre +3,3V e +5V, em algumas aplicações encontram-se valores diferentes destes. Como referência, temos espaçamento de endereço de 7-bit ou 10-bit. Em geral, a velocidade de operação é de 100kb/s no modo padrão e 10kb/s no modo de baixa velocidade. Algumas tecnologias irão permitir maiores velocidades de operação. [6]

Figura 6 - Comunicação típica I²C.

Fonte: <http://buildbot.com.br/blog/interfaces-de-comunicacao-onewire-spi-i2c/>.
Acesso em 03/05/2018.

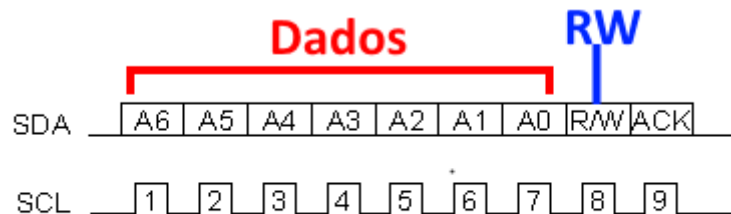
O dispositivo I²C tem seu endereço fixo para se comunicar com outro dispositivo, sendo configurado para receber ou transmitir dados. Desta forma as linhas de dados e de *clock* são consideradas direcionais, com o dispositivo chaveando seu estado entre mestre e escravo. Os resistores de *pull-up* são utilizados para manter em nível lógico alto os barramentos, sinalizando o momento de transmissão e recepção de dados. Esta condição pode ser vista na Figura 7.

Figura 7 - Barramento de dados e barramento de *clock* nível lógico alto.

Fonte: <http://buildbot.com.br/blog/interfaces-de-comunicacao-onewire-spi-i2c/>.
Acesso em 03/05/2018.

O modo mais comum de transmissão e recebimento de dados utiliza 7 *bits*. O oitavo *bit* sinaliza se o dispositivo utilizado na comunicação está fazendo uma leitura naquele momento, ou escrevendo. Um exemplo é exibido na Figura 8. [7]

Figura 8 - Transmissão de dados.



R/W: Read (Ler)/ Write (Escrever)

Fonte: <http://buildbot.com.br/blog/interfaces-de-comunicacao-onewire-spi-i2c/>.
Acesso em 03/05/2018.

2.6 Sensor Óptico

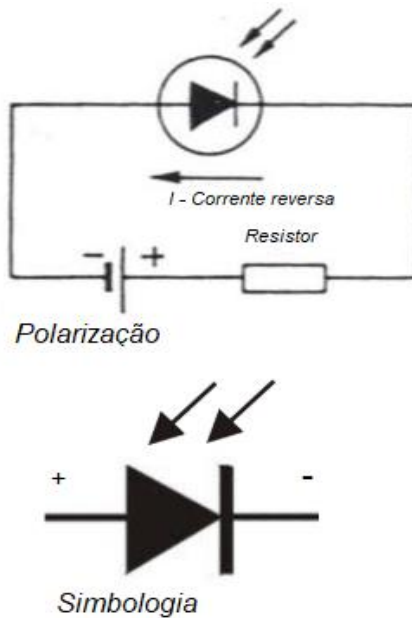
Os sensores ópticos ou fotoelétricos tem seu princípio de funcionamento baseado na propagação da luz, podendo ser na forma de um feixe de luz, que será recebido por algum tipo de elemento fotossensível. Pode ser utilizado para indexação de objetos, medições de distância, detector de passagem, e etc. Podem emitir luz do tipo vermelha, *laser* vermelho e infravermelha. Cada tipo de luz emitida, é indicada para aplicações específicas, como neste projeto que será utilizada a luz infravermelha para detectar objetos.

2.6.1 Fotodiodo

O fotodiodo é um dispositivo semicondutor que possui uma junção *P-N*, trabalhando na região reversa de sua curva característica. Na Figura 9 é mostrado uma forma de polarização e sua simbologia. A incidência de luz na junção *P-N* gera uma transferência de fótons para à estrutura atômica, aumentando assim o número

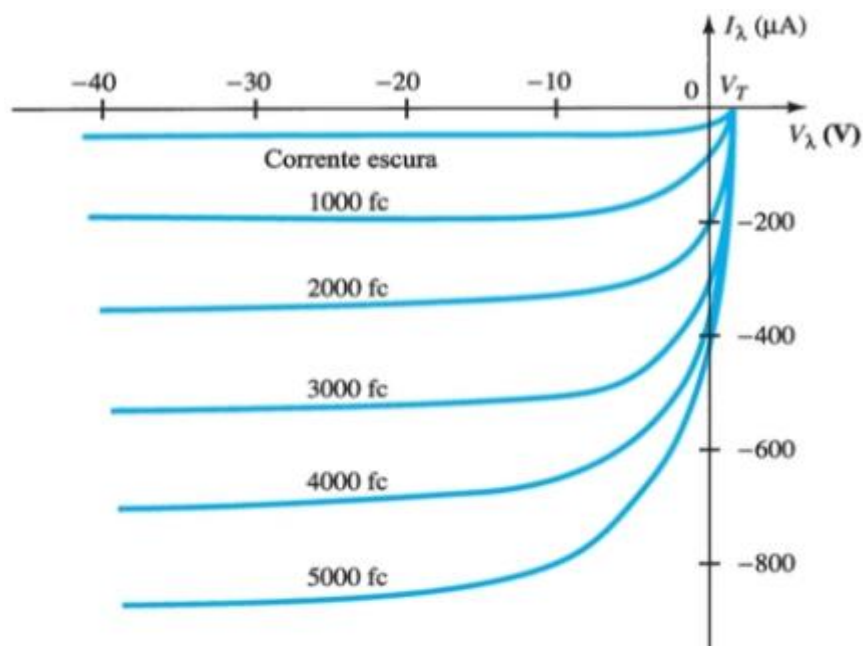
de portadores minoritários, e como resultado aumentando o valor da corrente reversa. Este efeito é exibido na Figura 10 para alguns níveis de intensidade.

Figura 9 - Polarização e simbologia.



Fonte: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAFUEAB/fotodiodo-apresentacao-apresentacao>. Acesso em 05/05/2018.

Figura 10 - Curva característica do fotodiodo.

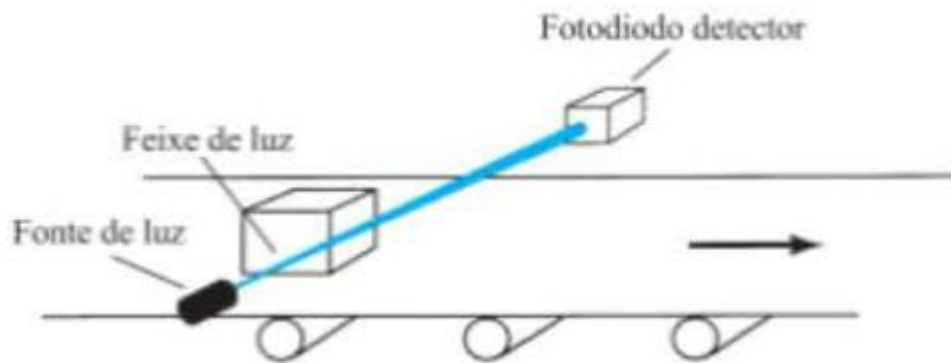


Fonte: BOYLESTAD, Robert L. e NACHELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 11.ed. Editora: PEARSON, 2013.

A *corrente escura* mostra valores de corrente gerados onde não existe incidência de luz. A corrente alcança o valor de zero quando a tensão de polarização alcança o valor de V_T positivo. A curva característica mostra que um aumento na intensidade luminosa provoca um aumento na intensidade da corrente

Uma importante aplicação do fotodiodo é a contagem de eventos, como pode ser visto no diagrama simplificado da Figura 11. Assim que o feixe de luz é interrompido, a corrente reversa cai ao nível de *corrente escura*, fazendo com que o circuito de controle adicione uma unidade à contagem. [5]

Figura 11 - Aplicação do fotodiodo para gerar contagens.



Fonte: BOYLESTAD, Robert L. e NACHELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 11.ed. Editora: PEARSON, 2013.

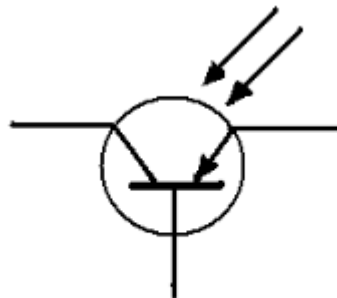
2.6.2 Fototransistor

São normalmente fabricados a partir de silício semicondutor. Possuem duas junções semicondutoras, que tem a característica de variar sua resistência na incidência de luz. São amplamente utilizados para acionamento eletro-eletrônico, como alarmes, controle-remoto de televisores, esteiras de supermercados, portas, circuitos eletrônicos de partida e etc. Na Figura 12 é ilustrada a simbologia típica de um fototransistor.

Sem a incidência de luz e inversamente polarizado, suas junções não conduzirão corrente elétrica, como se fossem resistências elétricas com valores infinitos. Com a incidência de luz e diretamente polarizado sua resistência elétrica

diminua enormemente, causando a condução da corrente elétrica. Este aumento de incidência de luz aumenta a corrente do coletor do dispositivo. A Figura 13 compreende a curva característica da corrente de coletor do fototransistor. Uma das aplicações de fototransistores é a de gerar contagens a partir da interrupção do feixe luminoso incidente em sua base, esta aplicação será utilizada neste projeto. [5]

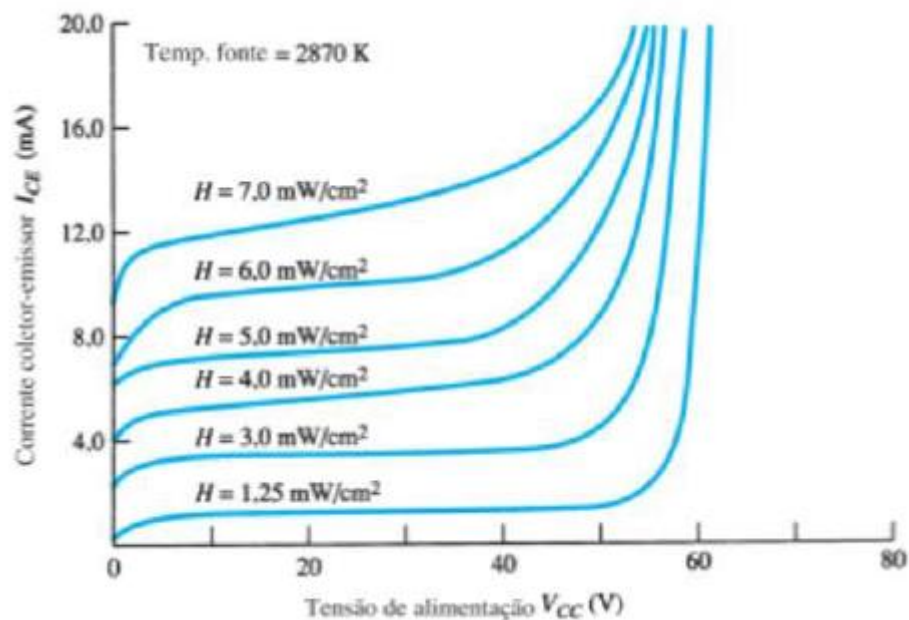
Figura 12 - Simbologia do fototransistor.



Símbolo Fototransistor

Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef004/20061/Cesar/SENSORES-Fototransistor.html>. Acesso 06/05/2018.

Figura 13 - Curva característica de corrente do coletor do fototransistor.



Fonte: BOYLESTAD, Robert L. e NACHELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 11.ed. Editora: PEARSON, 2013.

2.7 Modulação por Largura de Pulso - *PWM (PULSE WIDTH MODULATION)*

Em fontes de alimentação quando aplicada, modifica sua razão cíclica, mais conhecida pelo termo em inglês *duty cycle*, que é a relação em que a onda fica em nível alto e seu período total, para controlar o valor de alimentação disponibilizada à carga, que neste projeto será na forma de motor de corrente contínua e servomotor.

A partir do uso de uma onda quadrada, será variado a largura desta onda e seu período. Para calcular o valor desta razão cíclica, serão considerados estes dois parâmetros. Aplicando estes valores e multiplicando por 100, teremos a razão cíclica expressa em porcentagem, como determinada na Equação 3:

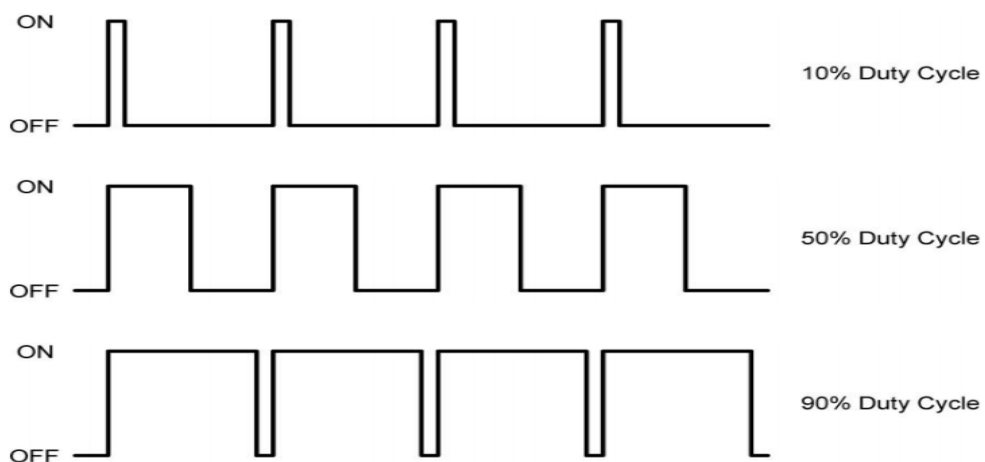
$$DutyCycle = 100X \frac{LarguraDoPulso}{Periodo}$$

$$DutyCycle = Razão\ Cíclica$$

Equação 3 - Cálculo da razão cíclica de um sinal PWM.

A largura do pulso é o tempo em que o sinal está ligado, e o período é o tempo de ciclo de uma onda. A Figura 14 apresenta alguns exemplos de ondas sendo variadas pelo processo de *PWM*, sua razão cíclica especificada já em porcentagem, e a variação de sua largura.

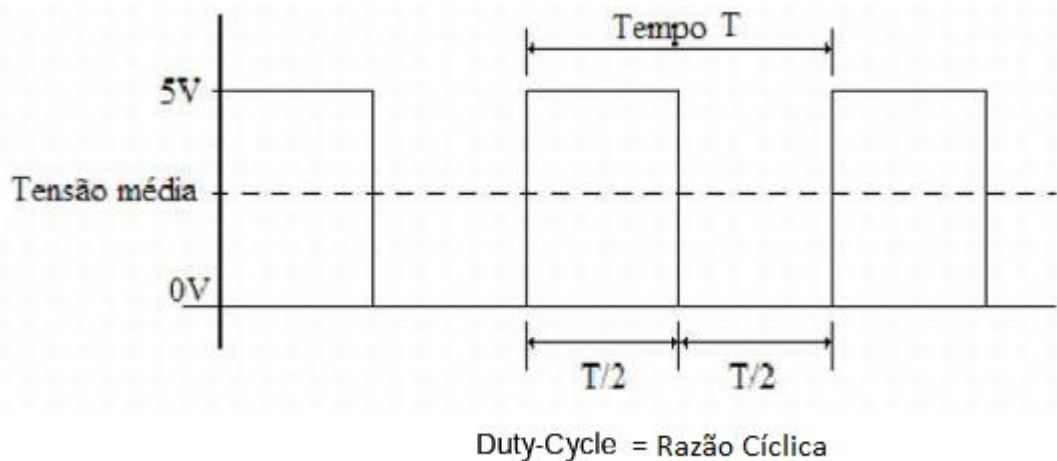
Figura 14 - Modulação por largura de pulso.



Fonte: http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_pwm. Acesso em 06/05/2018.

A tensão média entregue a carga, varia em função do tempo em que o sinal permanecerá em nível lógico alto, e o tempo em que a tensão ficará em nível lógico baixo. Além de variar o torque do motor acionado por este sinal, será variada a velocidade do mesmo, sendo por estes motivos a aplicação de *PWM* neste projeto. A Figura 15 apresenta uma exemplificação gráfica do valor médio de uma onda. [8]

Figura 15 - Tensão média de uma onda.

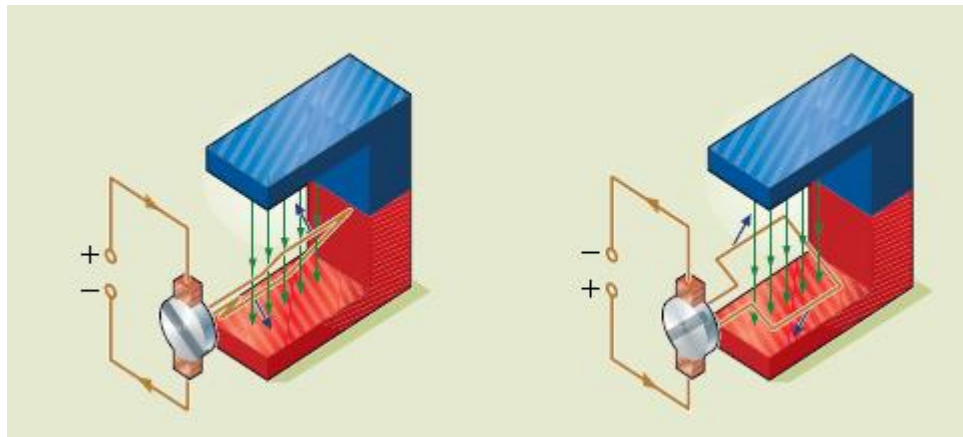


Fonte: <https://sites.google.com/site/mauriciodeffert/home/fatec-sp/micro-i>. Acesso em 06/05/2018.

2.8 Motores de Corrente Contínua

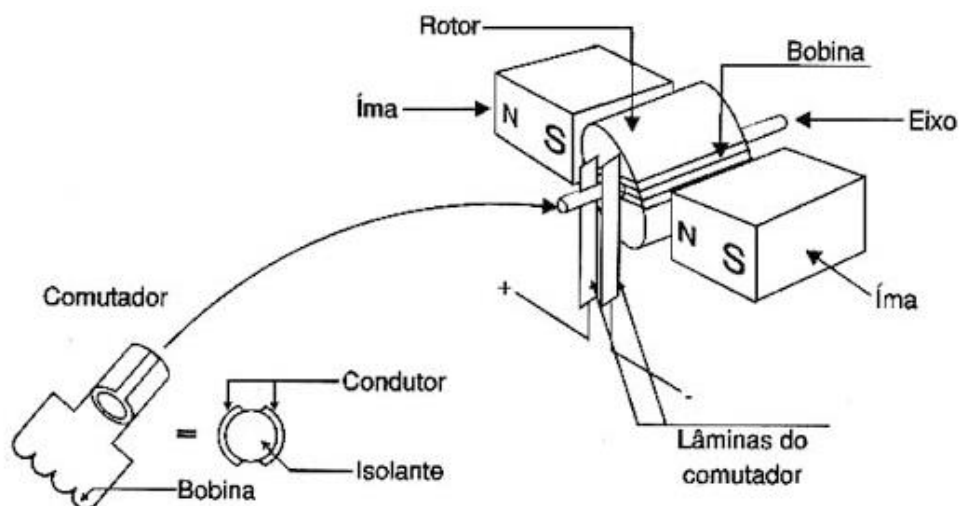
São máquinas que convertem energia elétrica em energia mecânica, funcionando pelo princípio da indução eletromagnética. As forças de atração e repulsão geradas por ímãs são aproveitadas por este dispositivo. Ao passar corrente elétrica através de fios elétricos enrolados em forma de espiras, campos magnéticos serão criados, gerando a força de atração e repulsão, e por consequência movimento, como ilustrado na Figura 16. As setas azuis indicam o movimento da espira, verdes os fluxos dos campos magnéticos, as vermelhas a corrente elétrica. As partes básicas de um motor de corrente contínua são exibidas na Figura 17.

Figura 16 - Princípio de funcionamento de um motor de corrente contínua.



Fonte: GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo e PAREDE, Tera Miho Shiozaki. **Eletrônica – Máquinas e instalações elétricas**, v.3. 1. Ed. Editora: Fundação Padre Anchieta, 2011.

Figura 17 - Partes básicas de um motor de corrente contínua.



Fonte: <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/3414-art476a>. Acesso em 07/05/2018.

Através do comutador, a corrente inverte de sentido na espira e a mesma continua a girar. A velocidade de giro é determinada pelo número de rotações do eixo, tomando como base o tempo, comumente representada em rotações por minuto, abreviada por rpm. Com relação ao torque produzido, o mesmo será proporcional à intensidade do campo magnético com a intensidade da corrente no rotor.

O estator de um motor de corrente contínua possui as seguintes partes:

- **Carcaça:** Tem a função de servir de suporte para outros componentes, e completa o circuito magnético, permitindo o retorno do fluxo magnético.

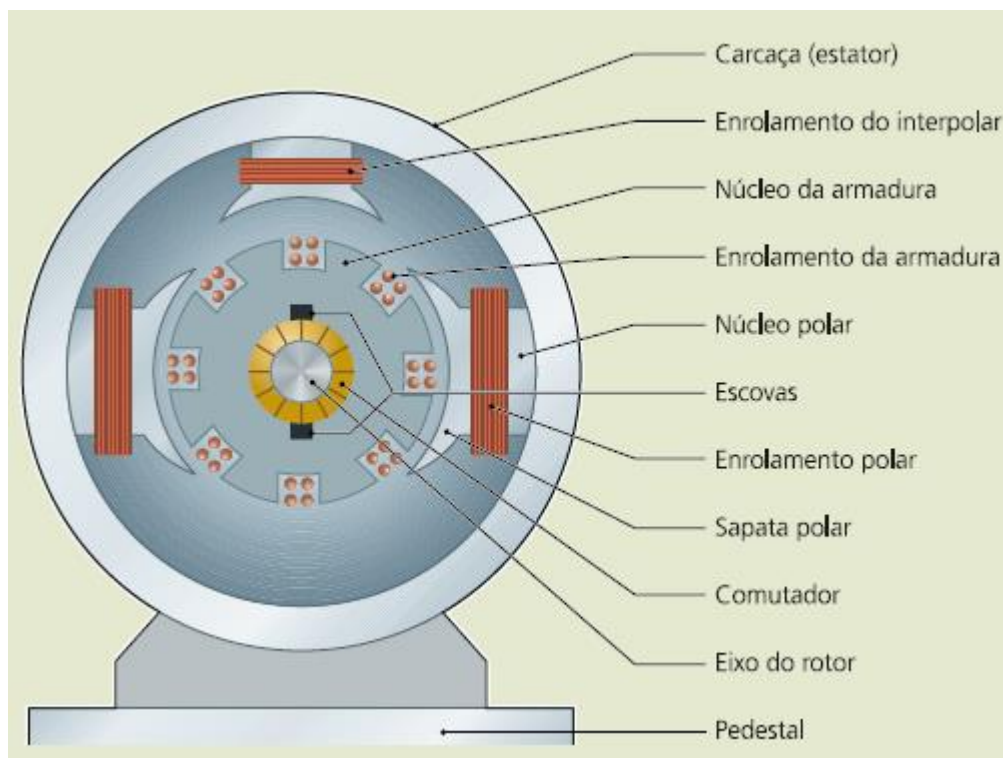
- **Enrolamento de campo:** Produz a força magnetomotriz, necessária à produção do fluxo magnético que irá produzir o movimento.
- **Polos:** Ranhuras fixas a carcaça, base para instalação dos enrolamentos do campo.
- **Escovas:** Feitas de grafite, ficam em contato com o comutador, por elas que a corrente elétrica chega à armadura.

O rotor de um motor de corrente contínua compreende as seguintes partes:

- **Eixo da armadura:** Produz rotação, reduz perdas magnéticas no enrolamento da armadura.
- **Enrolamento da armadura:** Fios enrolados, na forma de bobinas, caminho para a corrente elétrica.
- **Comutador:** Inverte a corrente elétrica no enrolamento da armadura. [9]

Na Figura 18, é apresentado a construção interna de um motor de corrente contínua.

Figura 18 - Construção interna de um motor de corrente contínua.

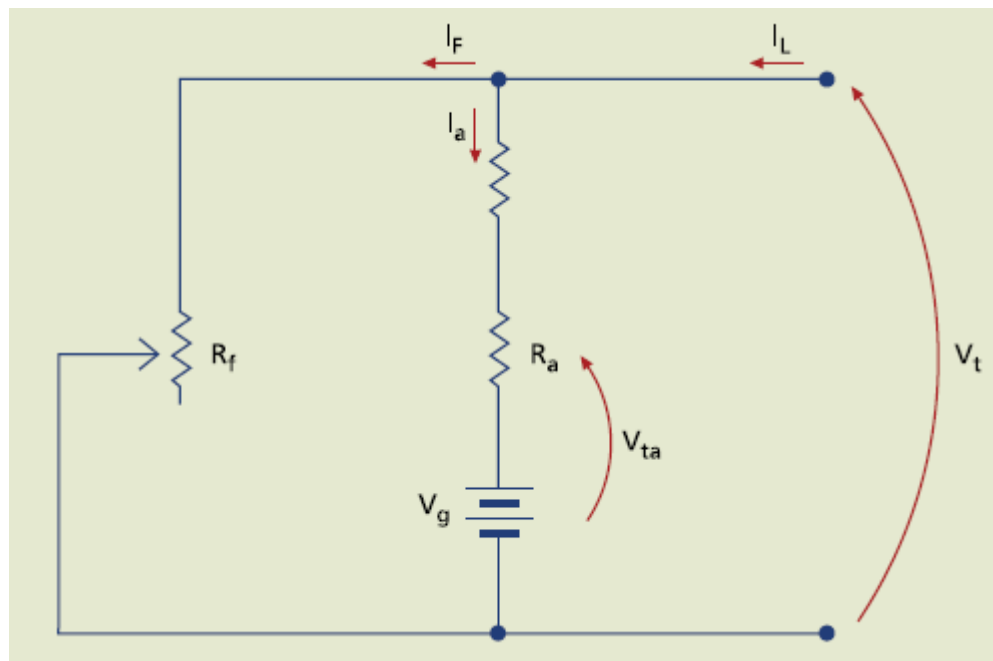


Fonte: GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo e PAREDE, Tera Miho Shiozaki. **Eletrônica – Máquinas e instalações elétricas, v.3.** 1. Ed. Editora: Fundação Padre Anchieta, 2011.

Um motor de corrente contínua pode ser representado por um circuito elétrico, como o circuito da Figura 19, onde:

- V_{ta} - tensão da armadura (V);
- I_a - corrente da armadura (A);
- r_a - resistência da armadura (Ω);
- V_g - força contraeletromotriz (V);
- r_s - resistência do campo em série (Ω);
- r_f - resistência do campo em derivação (Ω);
- I_f - corrente do campo em derivação (A);
- V_t - tensão nos terminais do motor (V);
- I_L - corrente na linha do motor (A). [9]

Figura 19 - Modelo elétrico de motor de corrente contínua.



Fonte: GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo e PAREDE, Tera Miho Shiozaki. **Eletrônica – Máquinas e instalações elétricas, v.3.** 1. Ed. Editora: Fundação Padre Anchieta, 2011.

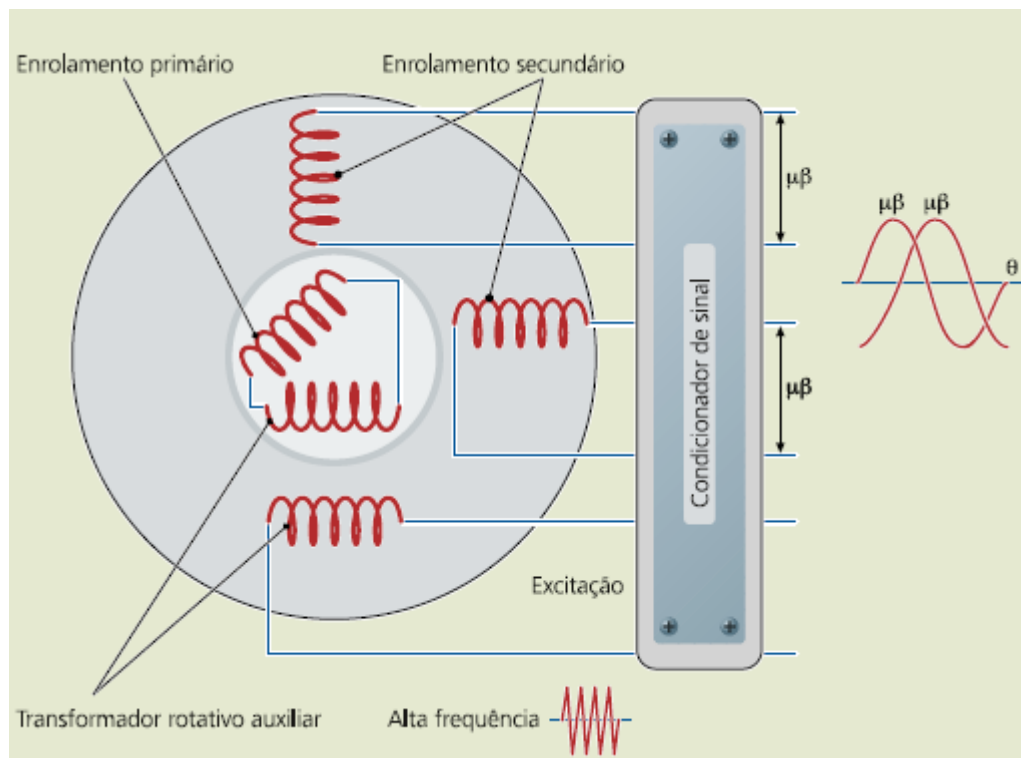
2.8.1 Servomotor

Em várias aplicações este tipo de motor funciona por corrente contínua, com alguns tipos possuindo um sensor óptico interno para garantir sua posição, outros tipos utilizam potenciômetros para esta finalidade.

Por possuir rotação uniforme, controle de velocidade, torque constante, baixos níveis de vibração e capacidade adequadas para este projeto, o mesmo está sendo empregado.

Para efetuarem suas tarefas adequadamente, os servos são controlados por meios de pulsos gerados pela técnica de *PWM*. O sensor de posicionamento, também pode ser chamado de *encoder*, o qual fornece sinais elétricos para serem interpretados como movimento, posição e direção. Este sensor é montado juntamente com o motor. A Figura 20 apresenta um tipo de motor onde um *resolver* foi utilizado como elemento sensível. Este *resolver* irá medir o ângulo do eixo, desta forma é possível determinar a posição do rotor do servomotor. Ondas defasadas em noventa graus são geradas para esta finalidade. Um *resolver* é um tipo de transformador de alta frequência, com o enrolamento primário fixo no rotor, e os outros dois enrolamentos secundários fixos no estator. A posição do rotor é verificada por uma tensão proporcional, um determinado circuito recebe essas informações de amplitudes e fases para gerar a posição correta. [9]

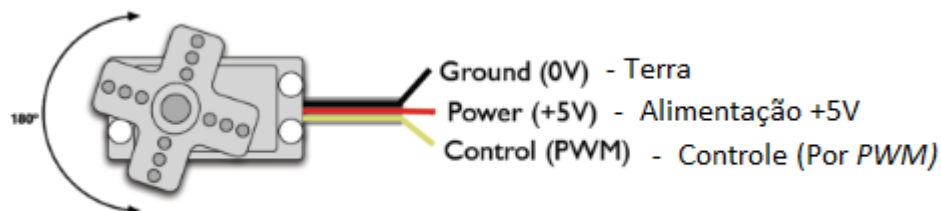
Figura 20 - Servomotor com um *resolver* para determinar sua posição.



Fonte: GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo e PAREDE, Tera Miho Shiozaki. **Eletrônica – Máquinas e instalações elétricas, v.3.** 1. Ed. Editora: Fundação Padre Anchieta, 2011.

Será empregado neste projeto um específico tipo de servomotor, mais utilizado em robótica, onde pode ser controlado através de um microcontrolador, apenas necessitando de uma fonte de alimentação separada, sendo acionado diretamente pelo microcontrolador. Na Figura 21 é mostrado um exemplo similar ao utilizado neste projeto.

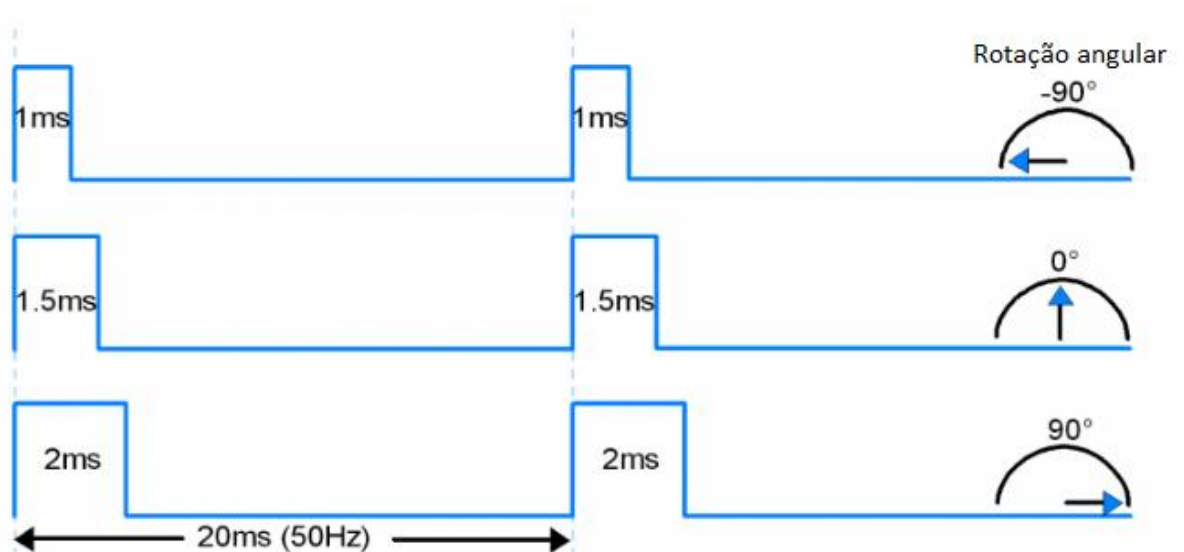
Figura 21 - Servomotor utilizado em robótica.



Fonte: <http://microcontrolandos.blogspot.com.br/2014/03/pic-servomotores.html>. Acesso em 08/05/2018.

O fio de controle informará o ângulo, que é determinado pela duração do pulso por ele recebido. Este servo possui a capacidade de processar um pulso a cada 20ms. Geralmente, um pulso de 1,5ms levará o servomotor para a posição de noventa graus, um pulso de 1ms para a posição de zero grau, e um pulso de 2ms para a posição de cento e oitenta graus, de acordo com a Figura 22. Estes valores podem variar dependendo do fabricante do servomotor.

Figura 22 - Servomotor e suas posições.



Fonte: <http://www.electronicwings.com/sensors-modules/servo-motor>. Acesso em 08/05/2018.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1 Visão Geral

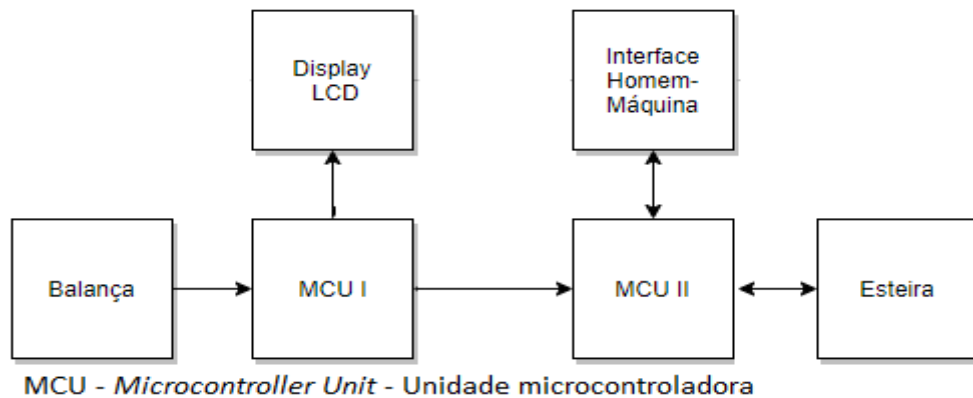
Para ser possível implementar um sistema supervisor com aplicação prática, em um ambiente não fabril, uma esteira industrial piloto será utilizada. Uma balança irá pesar embalagens para identificar qual embalagem tem seu peso dentro do peso mínimo exigido.

Após esta embalagem ser pesada, uma garra robótica irá coletar a mesma da balança e direcioná-la para a esteira ou para um setor de embalagens recusadas, caso o peso mínimo não for alcançado. Esta garra robótica contará com três servomotores para executar suas funções.

A esteira conta com dois sensores ópticos, que tem por função identificar de qual embalagem se trata. Dois tamanhos diferentes de embalagens estarão sendo processados. No percurso da esteira, um primeiro sensor é posicionado de uma forma que só detectará a embalagem maior, um segundo sensor é posicionado de tal forma que detectará as duas embalagens, porém através de lógica de programação e com base em dados do primeiro sensor é possível identificar a embalagem menor.

Ao alcançar o final da esteira e com os dados salvos no microcontrolador, a embalagem será coletada por uma garra coletora, que além de coletar os produtos da esteira, terá a função de direcioná-los para o correto setor, devido aos dois tamanhos diferentes de embalagens estarem sendo processados.

Para monitorar este processo, uma interface homem-máquina será utilizada, com a finalidade de informar a quantidade de produtos que já passaram, sendo um valor para embalagens de menor tamanho, um valor para embalagens de maior tamanho, e a quantidade de embalagens recusadas por não terem alcançado o peso mínimo requerido. Na Figura 23, é mostrado um diagrama de blocos do sistema.

Figura 23 - Diagrama de blocos.

Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Como pode ser visto no diagrama de blocos da Figura 23, dois microcontroladores serão utilizados, sendo que um terá a função de tratar os sinais recebidos da célula de carga e exibi-los em um *display* de *LCD* e transmitir sinais para um segundo microcontrolador. Este segundo será responsável por executar as tarefas de acionamento da esteira, receber dados dos sensores ópticos, acionar o braço robótico e a garra coletora, e fazer a comunicação com o terminal de controle via interface serial.

Alguns programas de computadores foram utilizados para alcançar os objetivos deste projeto, sendo os mesmos descritos na Tabela 1.

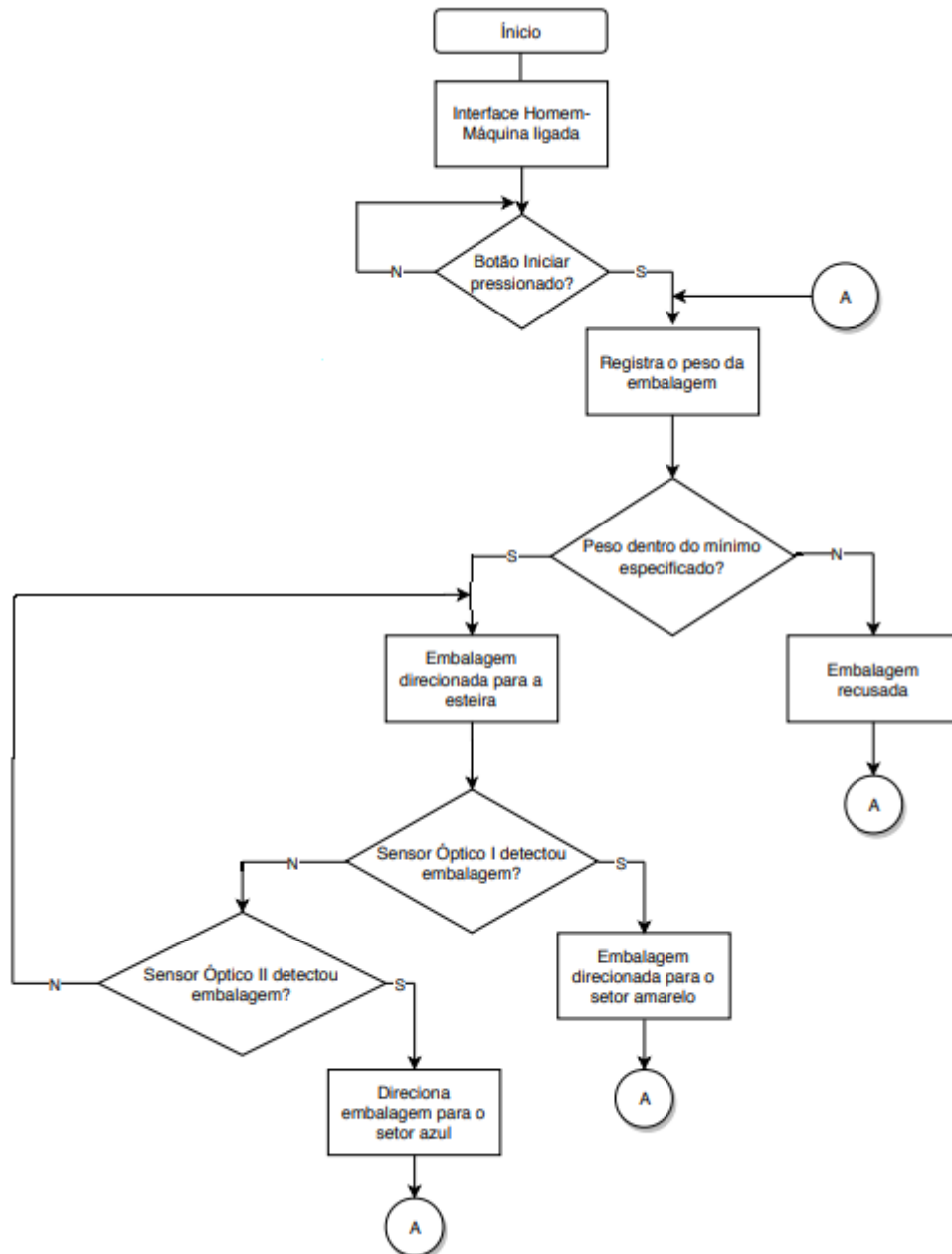
Tabela 1: *Softwares* utilizados

Software	Função
<i>MikroC PRO for PIC v6.6.2</i>	Programação do microcontrolador PIC
<i>Proteus Professional v8.0</i>	Esquemas elétricos e a placa de circuito impresso
<i>Microsoft Visual Studio</i>	Interface homem-máquina
<i>PuTTY</i>	Conexão portas seriais
<i>Arduino IDE v1.8.5</i>	Programação do microcontrolador Arduino
<i>MPLAB IPE v3.26</i>	Gravação no microcontrolador PIC
<i>Draw.io</i>	Elaboração de fluxograma e diagramas (<i>Online</i>)

Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Para melhor entendimento do projeto e compreensão de seu funcionamento lógico, foi necessário a elaboração de um fluxograma, o mesmo compreende as etapas do processo. O fluxograma lógico é mostrado na Figura 24.

Figura 24 - Fluxograma lógico do projeto.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

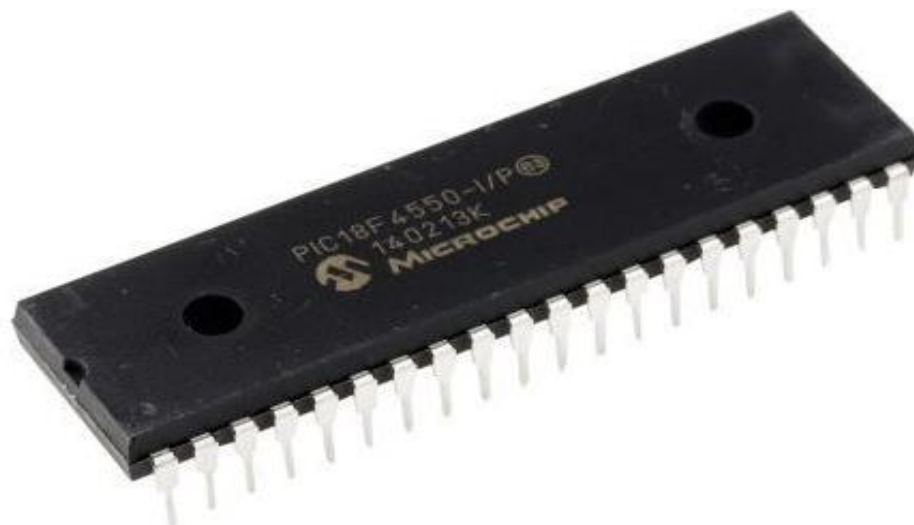
3.2 Escolha dos Componentes Eletrônicos

Para projetar um sistema eletrônico embarcado é preciso escolher os componentes ideais, que executem suas funções dentro dos circuitos corretamente, suas dimensões físicas, suas características elétricas e eletrônicas, condições de operação, custo e facilidade de aplicação.

Neste projeto está sendo utilizado o microcontrolador PIC 18F4550, fabricado pela *Microchip* e o microcontrolador ATmega328/P, na configuração de vinte e oito pinos em linha, do fabricante *Atmel*.

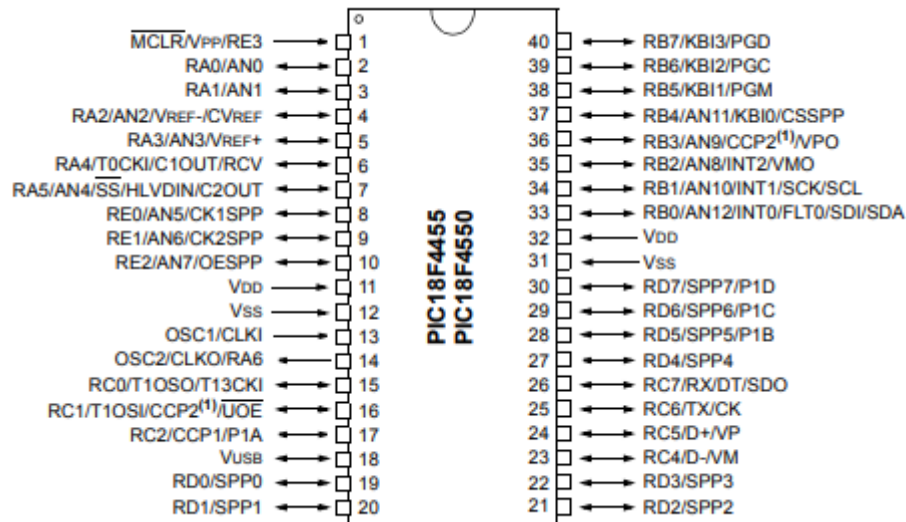
O microcontrolador PIC 18F4550 possui quarenta pinos, foi escolhido por possuir frequência de operação de até 48MHz, possui memória *flash*, ou seja, pode ser regravado várias vezes, funcionou corretamente durante etapas de montagens e testes, canal de comunicação serial, módulo de *PWM*, alimentação de 5V, trinta e três portas de entrada e saída de dados, interrupção externa e *timers* para contagem de tempo. Todas as características acima citadas serão utilizadas neste projeto. Na Figura 25 é mostrada uma imagem de um PIC 18F4550, e na Figura 26 é exibido a distribuição de seus pinos.

Figura 25 - PIC 18F4550.



Fonte: <https://www.indiamart.com/proddetail/pic18f4550-17626464588.html>. Acesso em 09/05/2018.

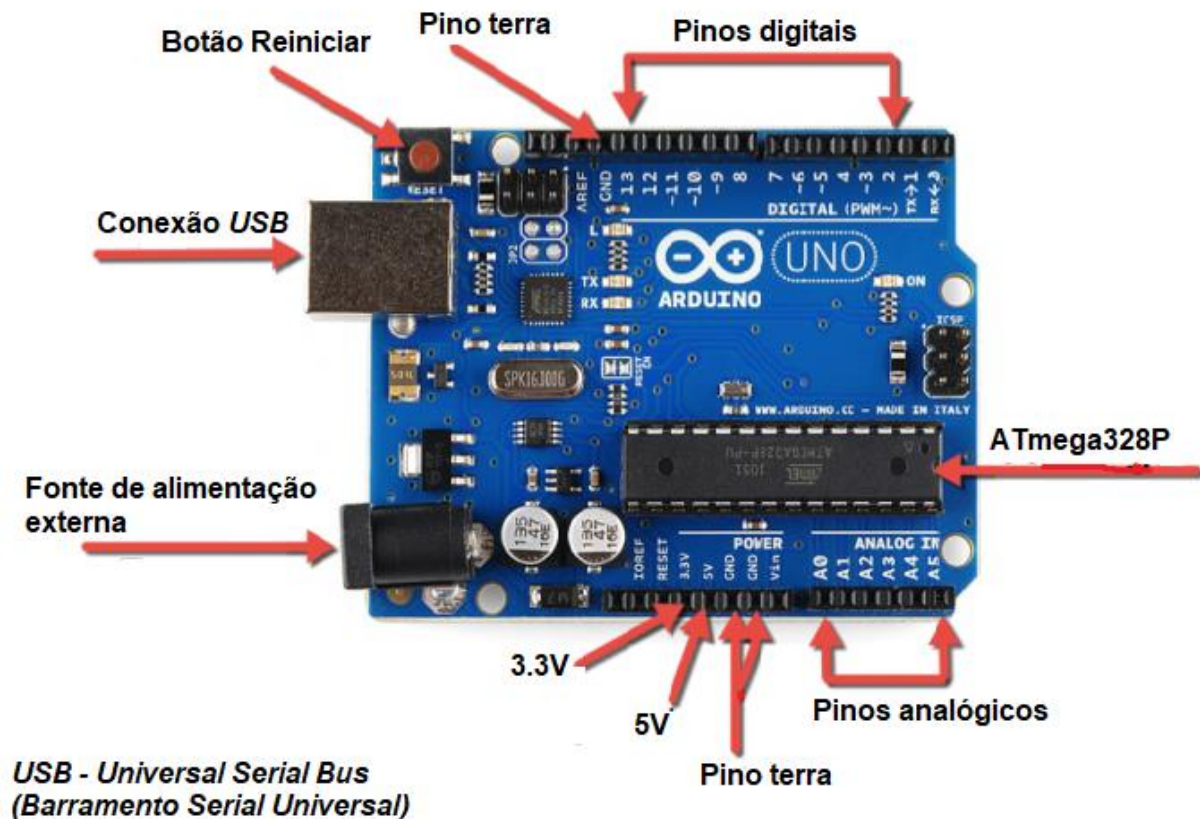
Figura 26 - PIC 18F4550 distribuição dos pinos.



Fonte: <https://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/PIC18F4550.pdf>. Acesso em 09/05/2018

O microcontrolador ATmega328P foi escolhido por equipar o circuito de desenvolvimento *Arduino Uno revisão 3*, do fabricante *Arduino*. Possui frequência de oscilação de 16MHz, memória *flash* (pode ser regravada), quatorze pinos de entrada e saída, canal de *PWM*, interrupção externa, diversas bibliotecas para várias aplicações diferentes, canal serial, *timers* para contagem de tempo e eventos, e a possibilidade de interligá-lo com o PIC 18F4550, enviando e recebendo sinais em nível lógico baixo ou alto. Na Figura 27 é mostrado a placa de desenvolvimento *Arduino Uno*, possuindo aproximadamente 5,0cm de largura e 7,0cm de comprimento.

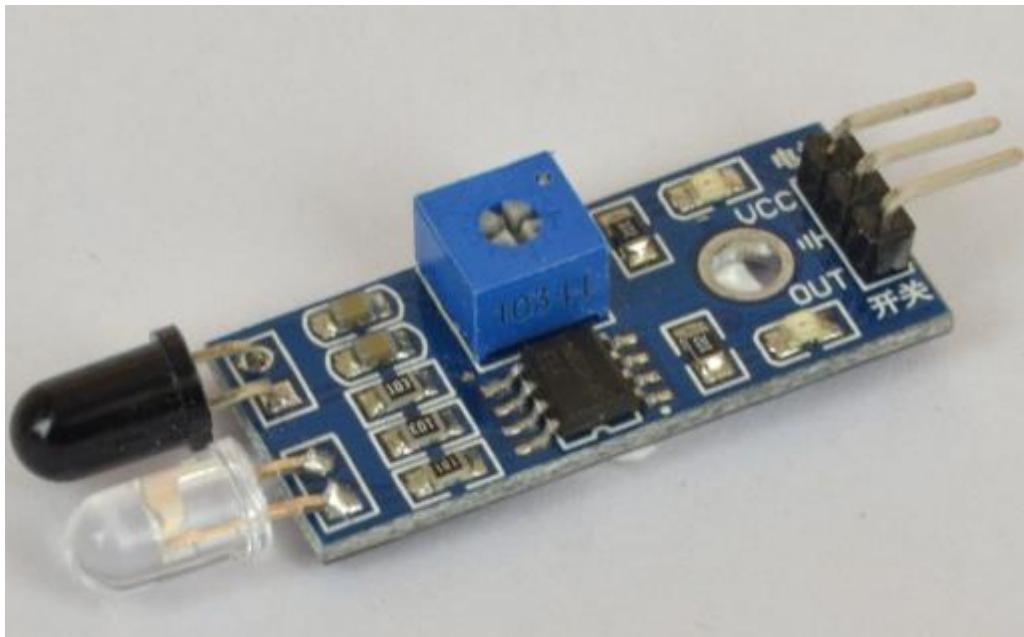
Figura 27 - Circuito de desenvolvimento *Arduino Uno* revisão 3.



Fonte: https://wiki.eprolabs.com/index.php?title=Arduino_UNO. Acesso em 10/05/2018.

O sensor óptico utilizado foi o fototransistor *TIL78* (receptor) e o fotodiodo *TIL32* (transmissor). Estes dois componentes estão soldados juntos em uma placa de circuito impresso, equipada também com resistores, um *LED* indicativo de funcionamento, um *LED* indicativo de objeto detectado e um potenciômetro *trimpot* para ajustar sua distância de alcance. A placa de circuito impresso que esses componentes estão soldados, possui 1,5cm de largura e 3,0cm de comprimento. Este circuito possui estabilidade de sinal durante seu funcionamento, não tendo oscilações, que atrapalharia grandemente, e uma resposta rápida quando seu feixe infravermelho é interrompido. A Figura 28 apresenta a configuração utilizada neste projeto.

Figura 28 - Módulo detector de objetos com TIL32 e TIL78.



Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-696711099-modulo-sensor-obstaculo-infravermelho-reflexo-lm393-arduino-_JM. Acesso em 10/05/2018.

Para ser possível implementar uma balança, foi escolhido uma célula de carga, modelo CZL635 do fabricante *RobotShop*. A mesma possui capacidade máxima de 5kg, quatro extensômetros compondo a ponte de *Wheatstone*, alimentação de 5VDC, construída com liga de alumínio, possuindo quatro fios, dois para alimentação e dois para saída de sinal. Ainda possui quatro furos, facilitando sua utilização para poder fixar bases de sustentação de vários tipos de materiais diferentes. Por ser um componente que exige precisão, tem um valor de compra compatível com o orçamento deste projeto. A mesma possui 1,3cm de base, 1,3cm de altura e 8,0cm de comprimento. Na Figura 29 é exibida o modelo utilizado neste projeto.

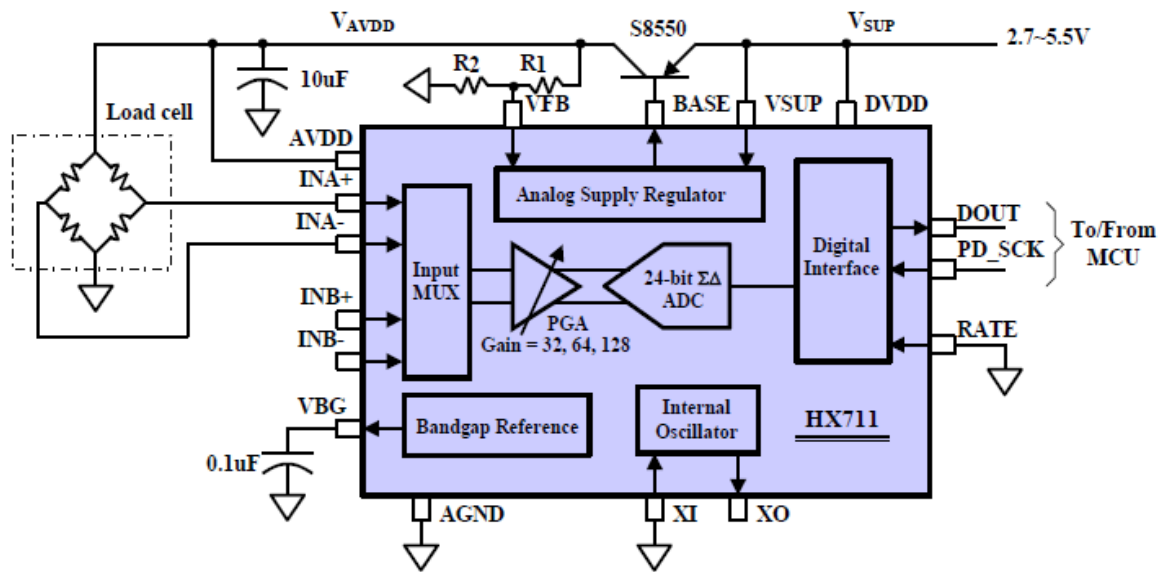
Figura 29 - Célula de carga CZL635.



Fonte: https://pt.aliexpress.com/br_home.htm. Acesso em 10/05/2018.

Para amplificação de sinal, foi utilizado o módulo conversor-amplificador HX711, do fabricante *Mouser Electronics*. Este módulo conta com um conversor analógico para digital de 24 *bits* de resolução e 2 canais de operação. Não é necessário programá-lo para este componente executar suas funções, necessitando apenas de uma fonte de alimentação elétrica de até 5,5V. Assim que o sinal de entrada é recebido, o mesmo é processado e disponibilizado na saída do circuito já em formato digital. Possui elevada sensibilidade, recomendado por vários fabricantes de células de carga, e se mostrou eficiente para este projeto, pois possui uma saída de sinal estável, com pouca oscilação e custo baixo. O circuito impresso em que o mesmo é montado, possui 2,0cm de largura e 4,0cm de comprimento. A Figura 30 exibi o módulo conversor HX711 recebendo sinais de uma célula de carga. Este circuito também ilustra os módulos de funcionamento interno do componente.

Figura 30 - Módulo conversor-amplificador HX711.



Fonte: https://www.mouser.com/ds/2/813/hx711_english-1022875.pdf. Acesso em 12/05/2018.

Para exibir algumas informações da balança, como o valor da embalagem que está sendo pesada, será utilizado um *Display LCD* modelo GDM1602B, do fabricante *XIAMEN OCULAR*, possuindo 16 colunas e duas linhas, alimentação de 5VDC, comercialmente conhecido por *Display LCD 16x2*. Possui várias bibliotecas prontas para vários tipos de microcontroladores, não necessitando de rotinas com códigos específicos para cada caractere, economizando memória do microcontrolador e otimizando a programação. Na Figura 31 é exibido um *Display LCD* similar ao utilizado neste projeto.

Figura 31 - Display LCD 16x2.

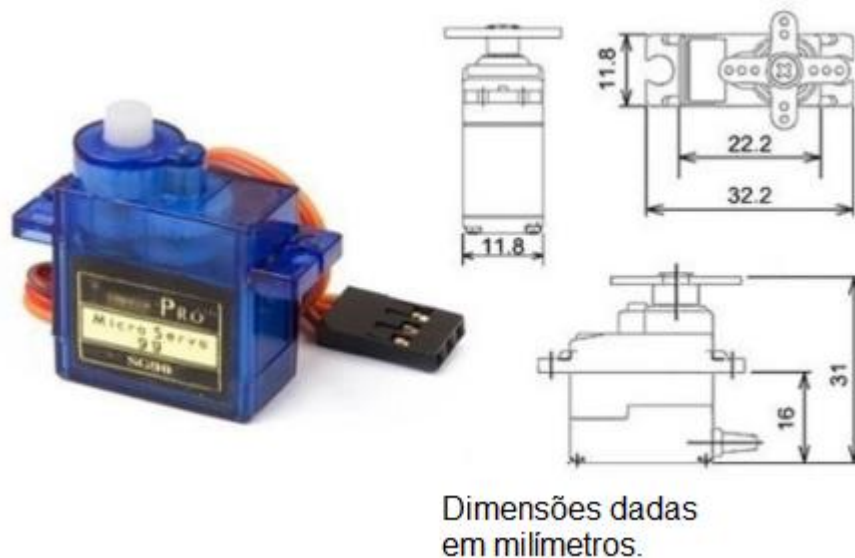


Fonte: <https://qxf2.com/blog/arduino-tutorials-testers-lcd-display/>. Acesso em 10/05/2018.

Dois diferentes tipos de micro servomotor estão sendo aplicados neste projeto, que compreende o modelo 9G SG90 do fabricante *Tower Pro*, e o modelo MG995 também do fabricante *Tower Pro*.

O modelo 9G SG90 foi escolhido para ser utilizado na garra coletora, pois a mesma possui provisões para instalação deste tipo específico de micro servomotor e similares com as mesmas dimensões. A rotação do servo motor alcança 180° , torque de 1,2Kg/cm quando alimentado por 4,8VDC e 1,6Kg/cm quando alimentado por 5VDC, peso de 11g, acessórios para utilização com várias interfaces mecânicas, movimento suave, controlável por microcontroladores através de sinais no formato *PWM*. Seu custo e facilidade de operação viabilizaram seu uso neste projeto. Na Figura 32 é mostrado o modelo utilizado e algumas de suas dimensões.

Figura 32 - Micro servomotor 9G SG90 e algumas dimensões.

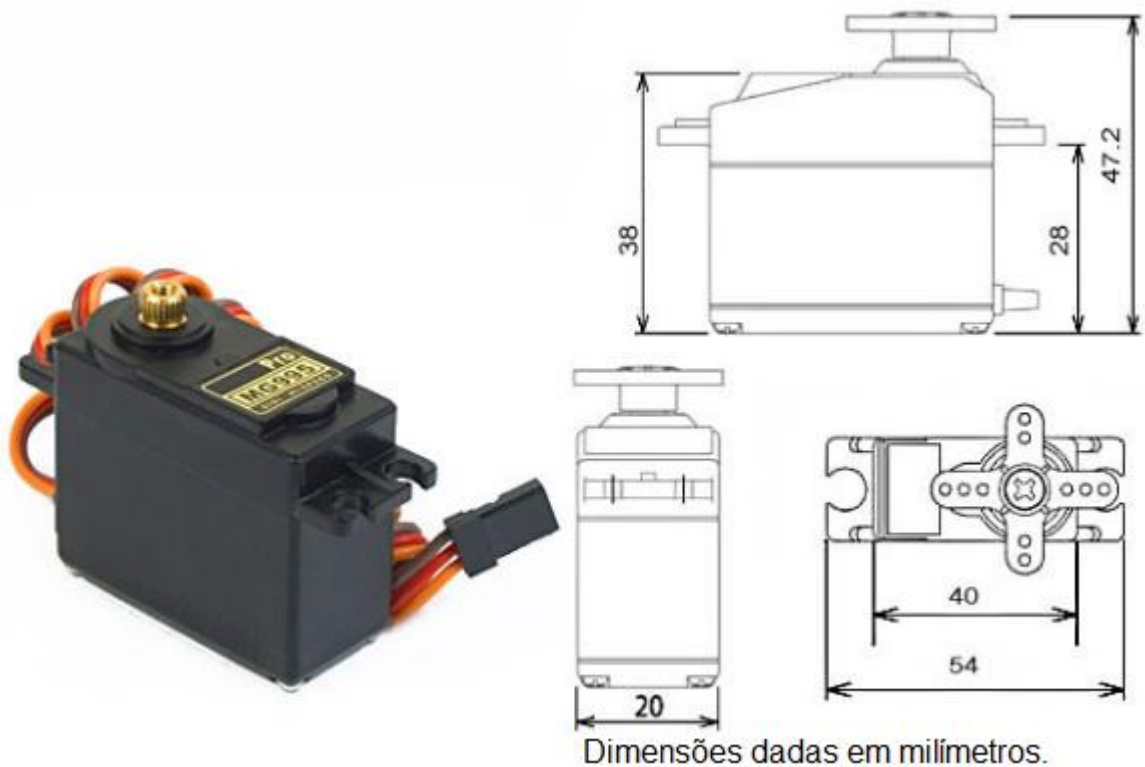


Fonte: <https://4hobby.com.br/inicio/160-micro-servo-motor-9g-sg90-robotica-aeromodelismo-.html>. Acesso em 11/05/2018.

O modelo MG995 foi utilizado devido a necessidade do projeto de um micro servomotor que tenha uma capacidade elevada de torque, para poder manipular através do braço robótico as embalagens utilizadas neste trabalho. Fabricado para desenvolver um torque de 9,4Kg/cm quando alimentado por 4,8V e 11,0Kg/cm quando alimentado por 6V, e um peso de 55g. Suas engrenagens são metálicas, aumentando sua robustez, ideal para utilizar com o braço robótico utilizado neste trabalho. Controlado por microcontrolador via sinais *PWM*. Custo mais elevado com

relação a outros servomotores similares, porém com maior precisão e confiabilidade. Sua aparência e dimensões são mostradas na Figura 33.

Figura 33 - Micro servomotor MG995 e algumas dimensões.



Fonte: http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG995_Tower-Pro.pdf. Acesso em 11/05/2018.

Para movimentar a esteira industrial piloto, foi utilizado um motor de corrente contínua, alimentação de 5V, com caixa de redução com relação de 48:1 acoplada e eixo duplo. Como esse motor pode ser controlado por sinais *PWM*, sua rotação e torque podem ser variados. Esta característica o tornou ideal para este projeto, onde uma rotação baixa é necessária sem perda de torque. Seu custo é relativamente baixo, e mostrou-se confiável em todas as fases de teste. Na Figura 34 é ilustrado o mesmo motor utilizado.

A comunicação serial se faz necessária entre o microcontrolador e o terminal de controle, um conversor *USB-TTL RS232*, modelo PL2303HX do fabricante *D-SUN* é utilizado. Seu custo é baixo e durante testes funcionou normalmente. É exibido na Figura 35.

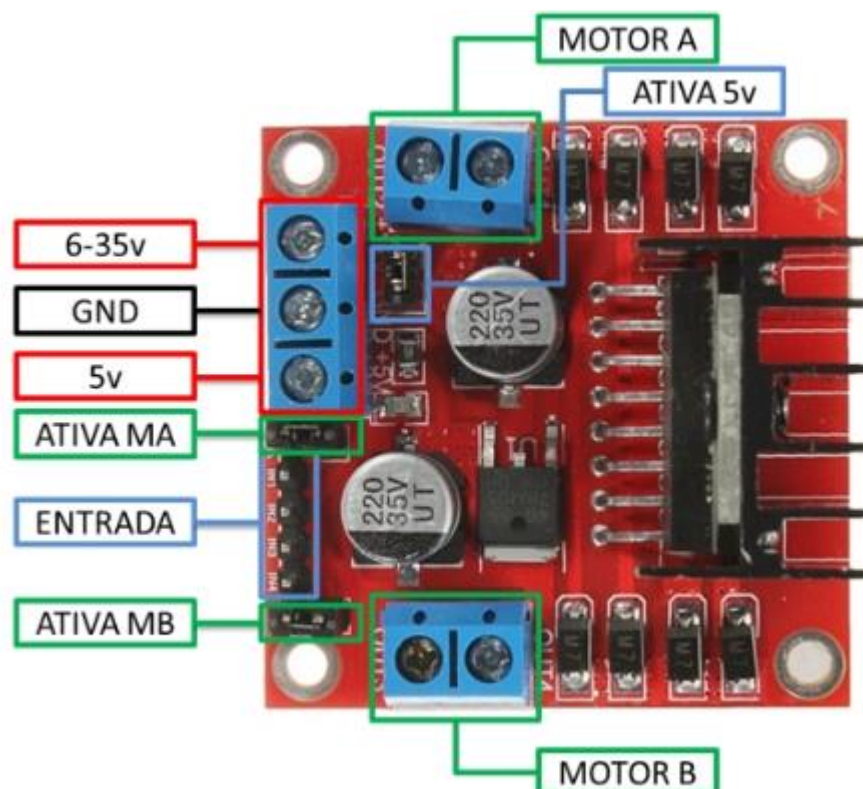
Como o microcontrolador PIC 18F4550 não possui capacidade de corrente suficiente para acionamento do motor de corrente contínua, um *driver L298N*,

Figura 35 - Conversor USB-TTL FT232.



Fonte: <http://www.instructables.com/id/Mod-a-USB-to-TTL-Serial-Adapter-CP2102-to-program-/>. Acesso em 13/05/2018.

Figura 36 - Driver de acionamento L298N.



Fonte: <https://www.filipeflop.com/produto/driver-motor-ponte-h-l298n/>. Acesso em 13/05/2018.

Soma-se a todos estes componentes já explicados, os componentes passivos, tais como resistores de carbono de diferentes valores, capacitores

cerâmicos e eletrolíticos. Para conexões os fios elétricos, fontes chaveadas de 5V e 12V, potenciômetro *trimpot*, *LED* de alto brilho, soquete para *LED*, botão de contato momentâneo. A Tabela 2 relaciona o custo dos componentes eletrônicos utilizados neste projeto. Equipamentos e componentes utilizados durante os processos de montagens e testes não estão inclusos.

Tabela 2: Relação de custo dos componentes eletrônicos utilizados.

Componente	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Micro Servomotor MG995	3	35,55	106,65
Célula de Carga + HX711	1	40,85	40,85
Microcontrolador PIC 18F4550	1	39,90	39,90
<i>Arduino Uno</i>	1	39,95	39,95
<i>Display LCD</i>	1	28,32	28,32
Fonte chaveada 12V/1,5A	2	15,36	30,72
Fonte chaveada 5V/1,5A	2	10,33	20,66
Micro Servomotor 9G SG90	2	17,93	35,86
Módulo detector de objetos	2	6,94	13,88
Motor 5 VDC + caixa de redução	1	14,93	14,93
<i>LED</i> de alto brilho	3	1,29	3,87
Conversor <i>USB serial</i>	1	10,94	10,94
<i>Driver L298N</i>	1	19,93	19,93
Resistores de carbono	6	0,12	0,72
Capacitor cerâmico	2	0,99	1,98
Capacitor eletrolítico	1	0,53	0,53
Fios elétricos	113	0,23	25,99
Botão de contato momentâneo	1	0,54	0,54
Cristal oscilador de 8Mhz	1	1,53	1,53
Soquete para <i>LED</i>	7	1,06	7,42
Potenciômetro <i>Trimpot</i>	1	1,99	1,99
Total	153		340,51

Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

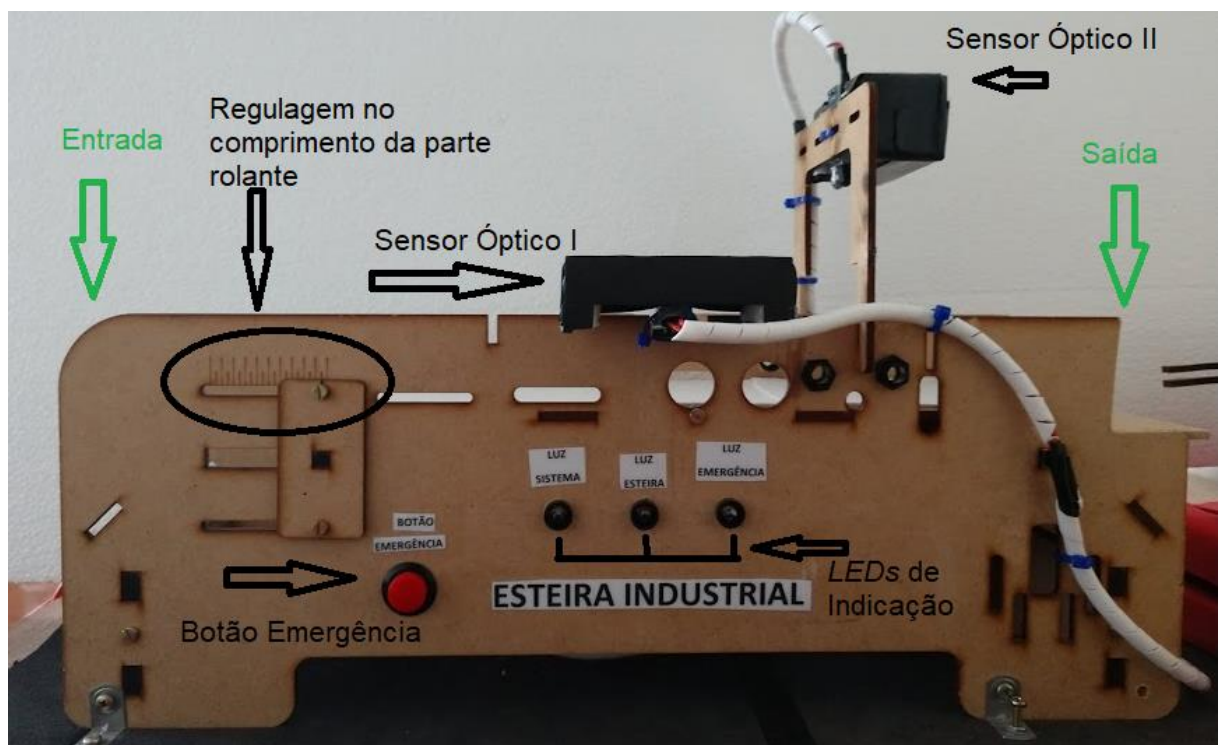
3.3 Escolha dos Componentes Mecânicos

Uma Esteira Industrial piloto é o principal componente deste projeto, pois através dela as embalagens irão passar, conseqüentemente serão contados e no final da mesma separados. A escolha deste componente envolve alguns critérios,

tais como seu comprimento, altura, largura e provisões para serem instalados os diversos componentes que irão fazer parte do sistema.

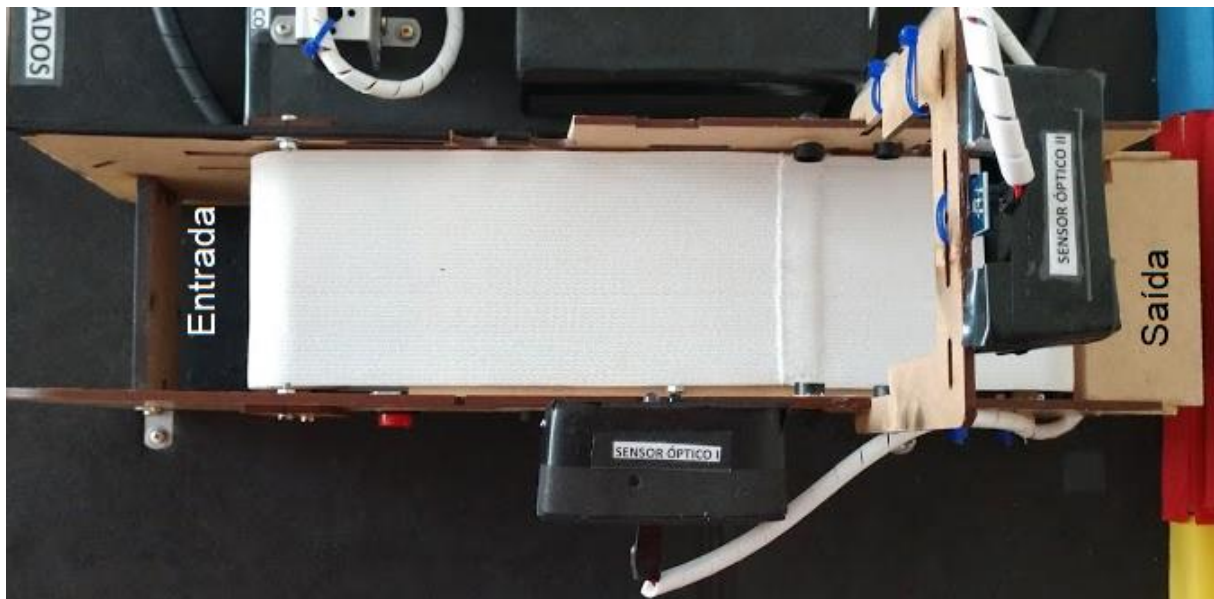
Para atender estes critérios citados, foi escolhido uma esteira industrial piloto, fabricada em madeira do tipo MDF, adquirida comercialmente, com peças e encaixes já cortados, facilitando sua montagem, contando com dois rolos para rolagem dos produtos, suporte para fixação de alguns tipos de motores, como por exemplo, motor de passo e motor de corrente contínua, suportes para instalações de sensores capacitivos e ultrassônicos, orifícios para instalação de sensores ópticos e suporte para utilizar *Display LCD*. Suas dimensões são 39,0cm de comprimento, 9,0cm de largura, 14,0cm de altura, sendo que a parte por onde as embalagens irão passar possui 8,0cm de largura e 32,0cm de comprimento. A esteira conta com um pequeno ajuste, através do qual é possível reduzir o comprimento onde os produtos passam para 28,0cm. Seu custo é médio, porém durante os testes executados mostrou-se excelente para ser aplicado a este projeto. A Figura 37 exhibe a esteira utilizada vista pelo seu lado direito, a Figura 38 ilustra por cima e a Figura 39 mostra pela frente. Nestas imagens a esteira está equipada com os acessórios necessários.

Figura 37 - Esteira Industrial piloto (vista pelo lado direito).



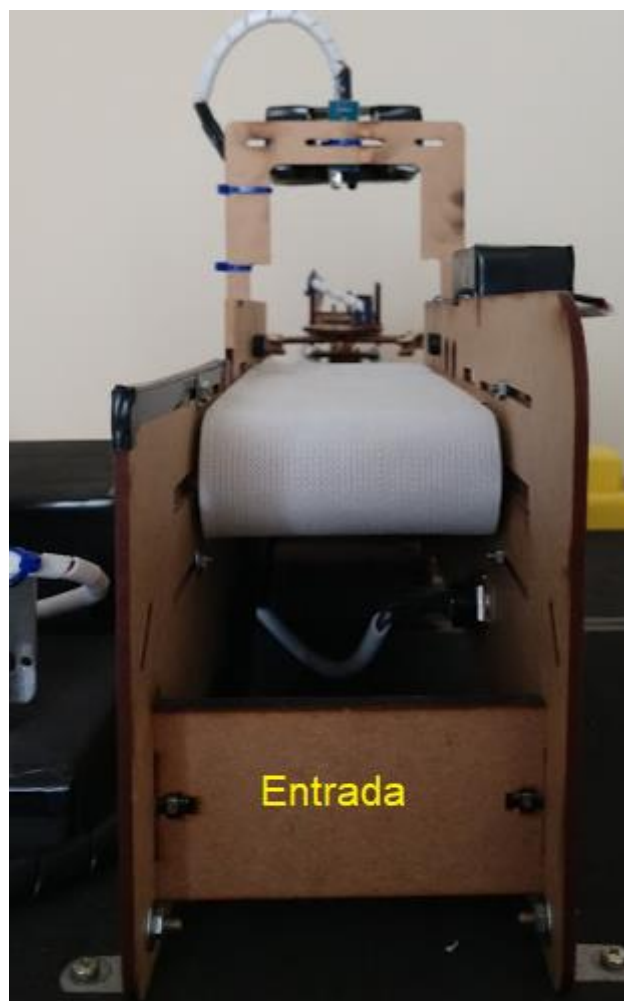
Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 38 - Esteira Industrial piloto (vista por cima).



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

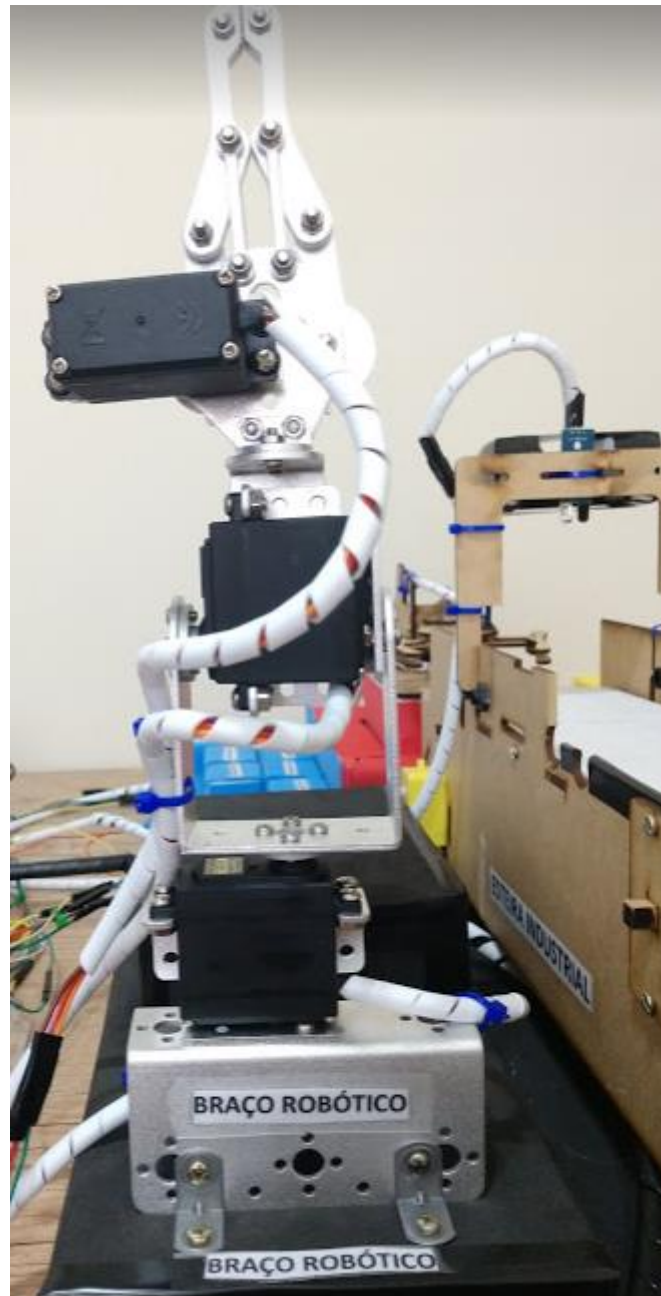
Figura 39 - Esteira Industrial piloto (vista pela frente).



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Para coletar embalagens da balança e direcioná-los para a esteira ou para o setor de produtos recusados, foi utilizado um braço robótico fabricado em alumínio e atuado por três servomotores. Conta com um raio de giro de 29,0cm, altura de 30,0cm (com a garra totalmente fechada), sua garra possui uma abertura máxima de 6,0cm, provisões para instalação de três servomotores, controle sobre três eixos, e fácil montagem. Custo relativamente alto, foi utilizado por ser robusto, seus movimentos suaves, a garra quando fechada segura bem as embalagens, suas articulações são bem fixas, não permitindo folgas que atrapalhariam o correto funcionamento do mesmo e furos para que se possa fazer algumas configurações diferentes em seu esquema de montagem, adaptando-se bem a este projeto. Na Figura 40 é apresentada uma vista do braço totalmente levantado e com a garra fechada, já na Figura 41 na posição de colocar objetos na esteira e na Figura 42 com sua garra aberta.

Figura 40 - Braço robótico totalmente levantado.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 41 - Braço robótico posição de colocar embalagens na esteira.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

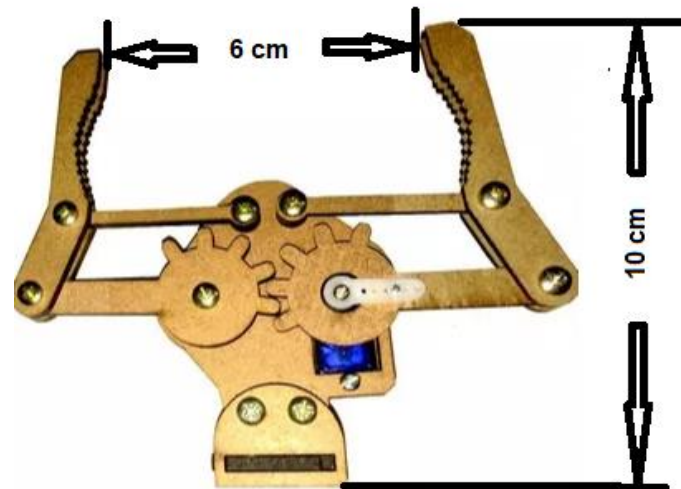
Figura 42 - Braço robótico com a garra aberta.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

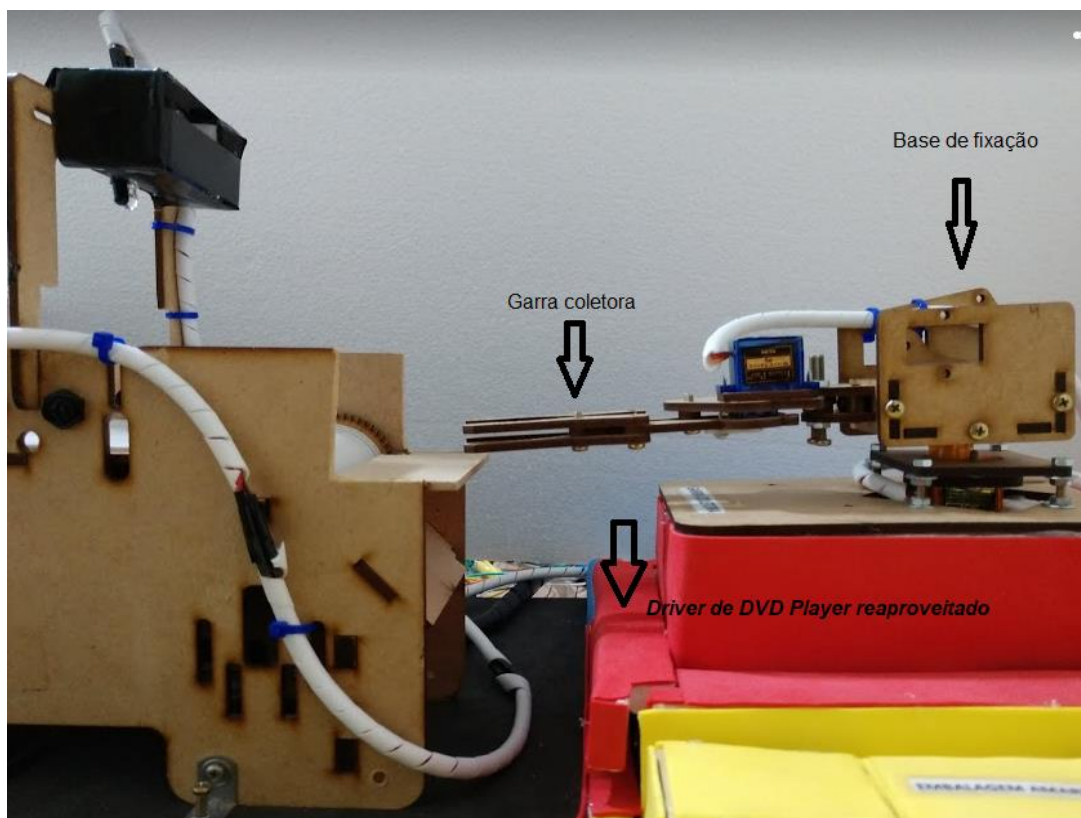
Devido à altura da esteira foi necessário adotar algum dispositivo que coletasse as embalagens processadas. Para esta finalidade foi empregado uma garra, denominada como garra coletora. Fabricada em madeira MDF, esta garra possui provisão para a instalação de um servomotor, para cumprir sua função de abrir e fechar, seu tamanho é adequado aos demais componentes do projeto, fácil montagem e instalação. A mesma foi fixada a uma base giratória com movimento de 180°, tendo a posição centralizada, totalmente a esquerda e totalmente a direita. Como esta base fica a uma pequena distância da esteira, foi necessário um outro dispositivo que levasse a garra até o fim da esteira para coletar as embalagens. Este movimento é linear, ou seja, vai para a frente e volta para trás. Para atender este propósito foi recuperado um *driver* de *DVD Player* que seria descartado. A base da garra foi fixada a este *driver* reutilizado e durante os testes funcionou apropriadamente. Na Figura 43 é mostrada a dimensão da garra coletora aberta. Já na Figura 44 é exibido o conjunto da garra coletora, ou seja, sua base e o *Driver de DVD Player* já adaptado. Na Figura 45 a garra está totalmente posicionada para esquerda e fechada.

Figura 43 - Dimensão garra coletora aberta.



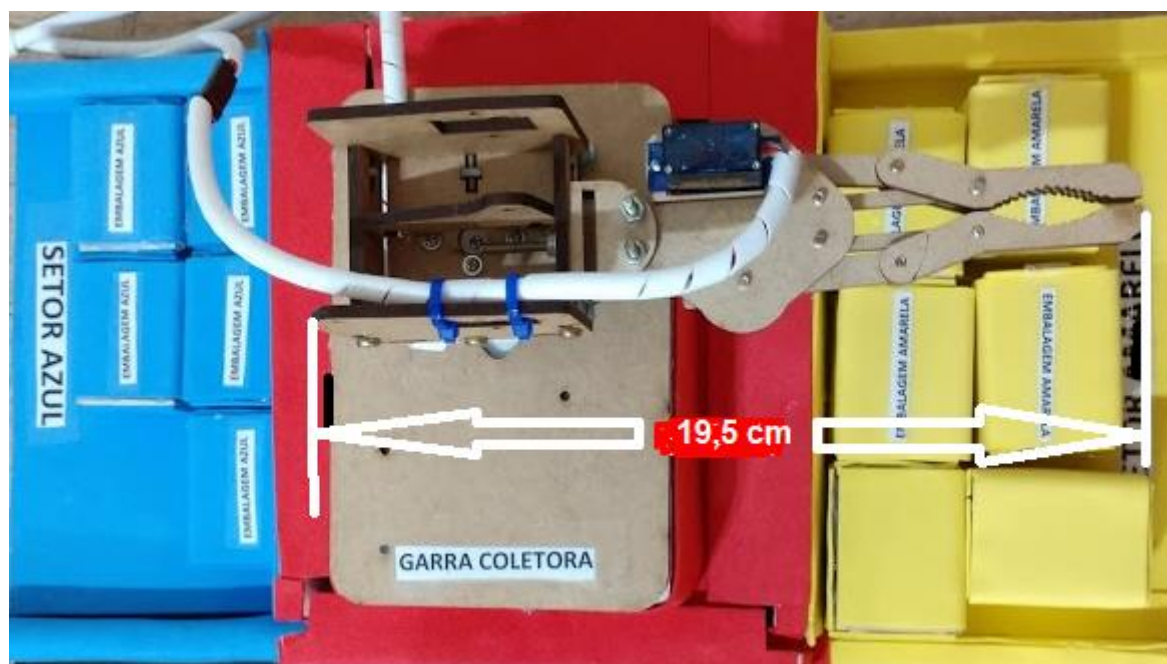
Fonte: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-779667942-garra-robotica-em-mdf-ideal-p-arduino-_JM. Acesso em 20/05/2018.

Figura 44 - Conjunto garra coletora.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 45 - Garra coletora posicionada totalmente para esquerda e fechada.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

A Tabela 3 foi criada para quantificar os custos dos componentes mecânicos. Ferramentas e componentes utilizados para montagens não estão inclusos.

Tabela 3: Custos dos componentes mecânicos.

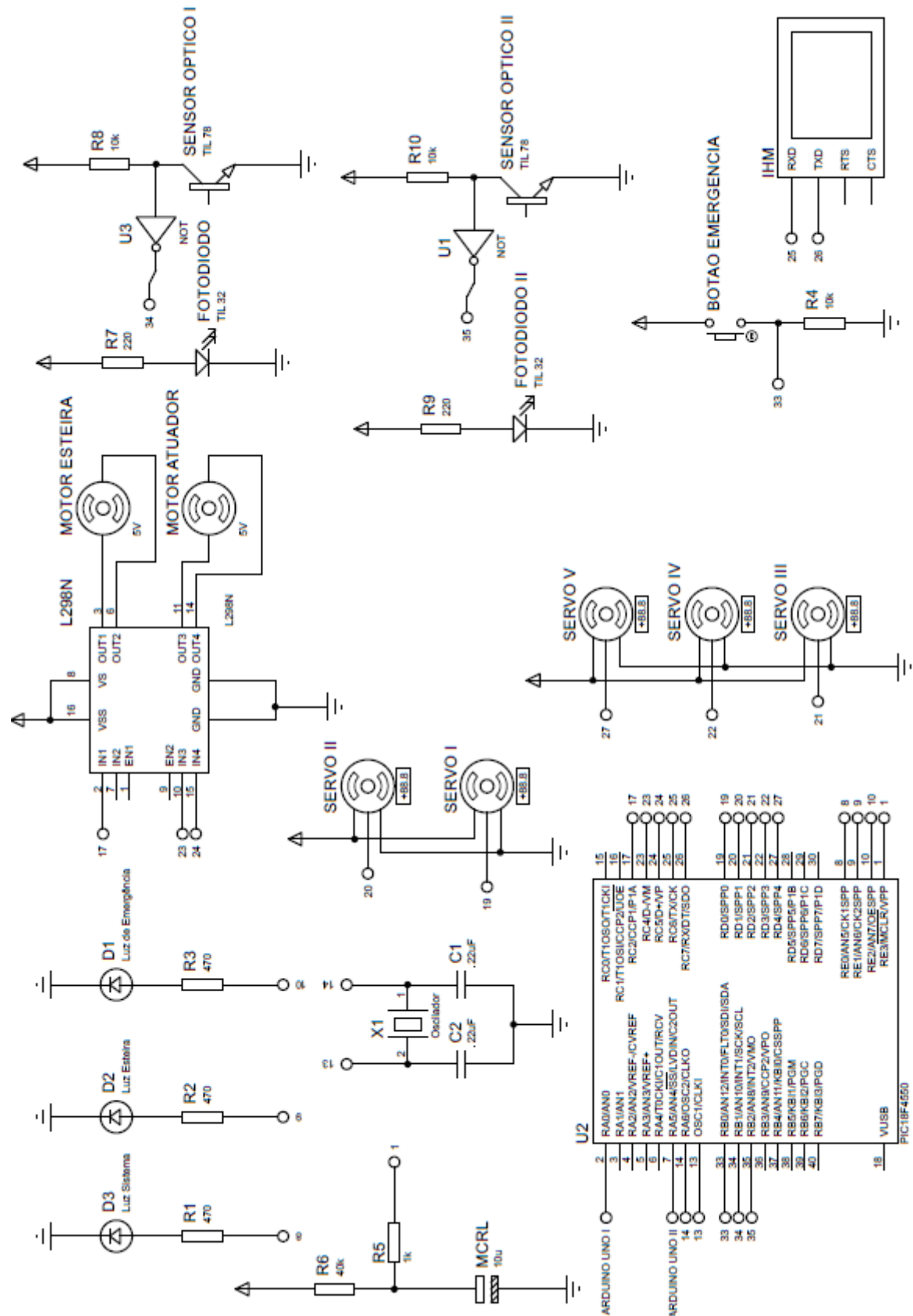
Componente	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Esteira Industrial piloto	1	129,99	129,99
Braço robótico de alumínio	1	135,99	135,99
Driver de DVD Player (recuperado)	1	0,00	0,00
Total	3		265,98

Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

3.3 Esquemas Elétricos

Para criar os esquemas elétricos deste projeto e simulá-los, foi utilizado o software *PROTEUS v8.4*, sendo o ambiente de trabalho *ISIS* para o esquema elétrico, e o ambiente de trabalho *ARES* para criar o *layout* da placa de circuito impresso. Na Figura 46 é mostrado o circuito elétrico dos componentes acionados pelo PIC 18F4550. Já na Figura 47 é mostrado os componentes acionados pelo *Arduino Uno*.

Figura 46 - Circuito elétrico PIC 18F4550.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Para funcionar corretamente, o PIC 18F4550 utiliza um circuito oscilador com um cristal de Quartzo de 8Mhz e dois capacitores cerâmicos de 22pF. O circuito de *Master Clear* utiliza um capacitor eletrolítico de 10uF, um resistor de carbono de 40kΩ, e um outro resistor de carbono de 1kΩ. Este circuito evita reinicialização inesperada do microcontrolador, filtra ruídos e protege o pino contra descargas eletrostáticas. Será alimentado por uma fonte externa chaveada de 5V. Como não foi possível criar um único circuito, foi necessário dividi-los em duas figuras. No microcontrolador PIC existem as entradas *Arduino Uno I* e *Arduino Unoll*, que representam as conexões elétricas do módulo *Arduino Uno* com o PIC 18F4550.

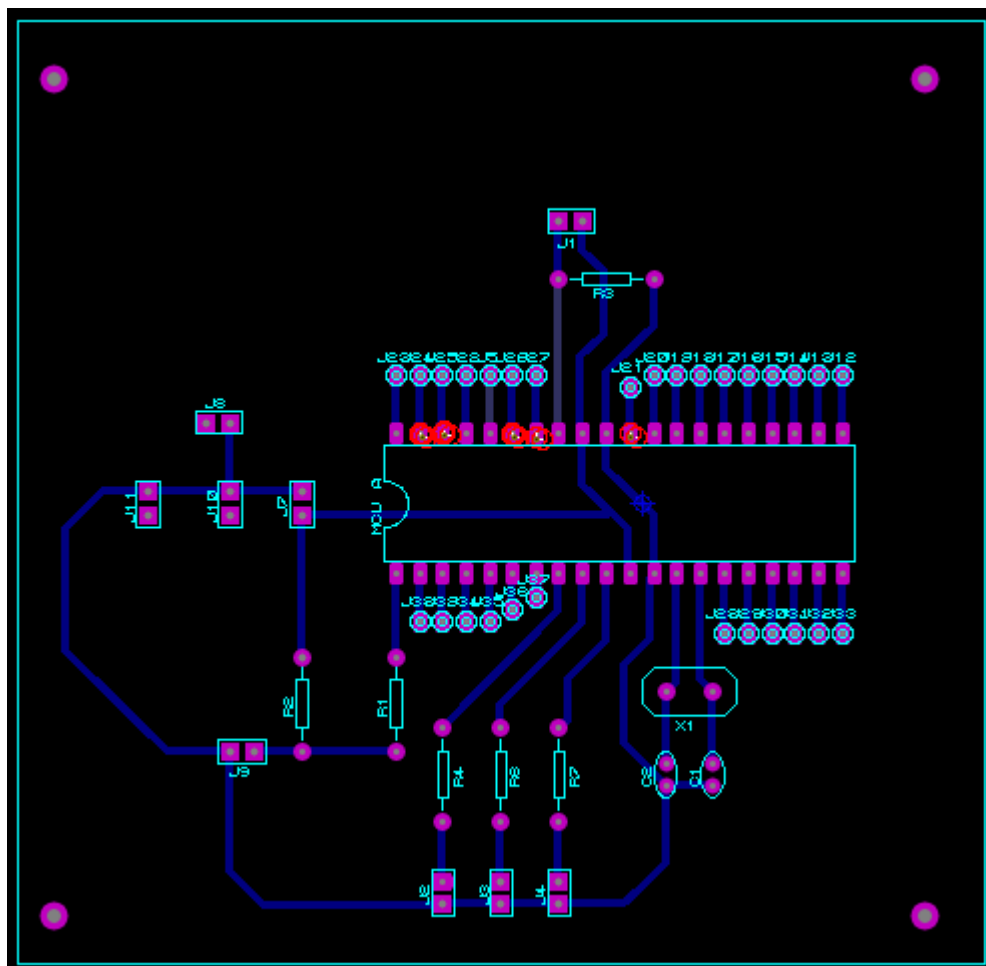
O *software Proteus* não conta com todos os módulos utilizados neste trabalho. Como pode ser visto na Figura 46, para simular a interface homem-máquina desenvolvida através da plataforma *Microsoft Visual Studio* foi utilizado um terminal serial genérico disponível. Já no caso dos módulos dos sensores ópticos, só é disponibilizado apenas o fotodiodo e o fototransistor. Para este caso foi adotado seu comportamento elétrico para a simulação, ou seja, foi colocado uma porta lógica inversora na saída do circuito que é ligada ao microcontrolador. Quando o feixe for interrompido e o circuito gerar um sinal de nível lógico alto, o mesmo será invertido pela porta lógica inversora, gerando um sinal de nível lógico baixo para o microcontrolador.

A plataforma *Arduino Uno* utiliza um circuito oscilador próprio com um cristal de 16Mhz e dois capacitores de 22pF, fechados em um único encapsulamento, denominado CSTCE16M0V53-R0. O circuito será alimentado por uma fonte externa chaveada de 5V. No esquema elétrico existem as entradas *PIC 18F4550 I* e *PIC 18F4550 II* que representam as conexões elétricas do PIC 18F4550 com o *módulo Arduino Uno*.

Similarmente ao circuito elétrico desenvolvido para o PIC 18F4550, ocorre para o circuito desenvolvido para o *Arduino Uno*, onde a própria placa não tem na biblioteca do *Proteus*. Somente o microcontrolador ATMEGA 328P está disponível, tendo suas ligações simuladas respeitadas igualmente as ligações da placa física. O mesmo ocorre para o módulo conversor HX711, onde um conversor analógico-digital genérico foi utilizado para representação, e uma ponte de *Wheatstone* com quatro resistores variáveis para a célula de carga, sendo assim possível representar seu comportamento elétrico.

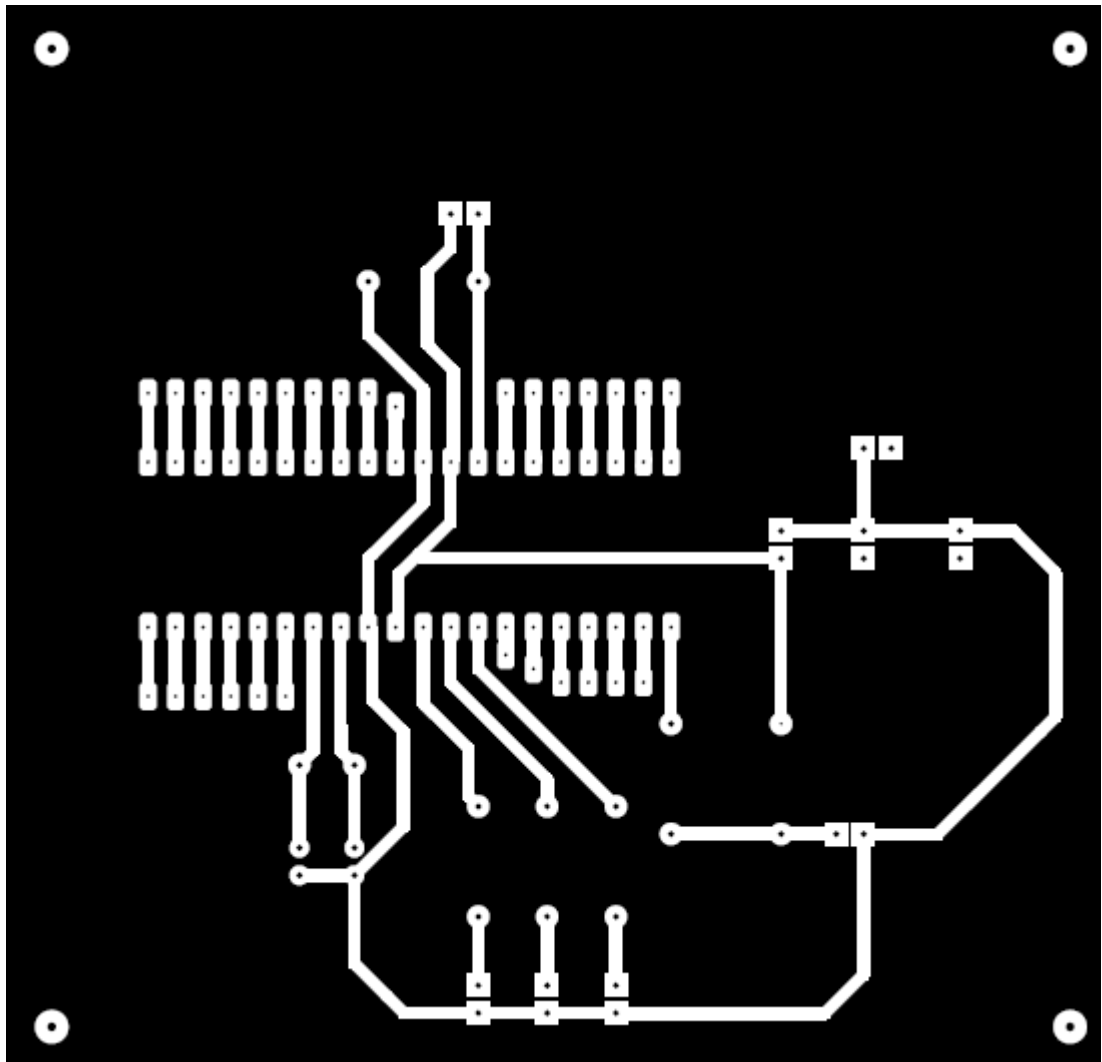
Através do *layout* criado no *ARES* e representado na Figura 48, foi gerado o fotolito e confeccionada a placa de circuito impresso. O fotolito mostrado na Figura 49 foi gerado invertido com relação ao *layout* original para atender ao fotoresiste negativo utilizado na confecção da placa. A aparência da placa simulada pode ser vista na Figura 50. O processo de corrosão do cobre para formar as trilhas foi feito através de uma solução de percloroeto de ferro, sobre uma placa de fenolite. A acomodação dos componentes eletrônicos foi feita pela técnica de *PTH*, que vem do inglês - *Pin Through-hole*, que pode ser traduzido como “terminal inserido no furo”. Após estes processos, foi fabricada uma placa de circuito impresso com 10,0cm de largura e 10,0cm de comprimento, como pode ser vista na Figura 51.

Figura 48 - *Layout* da placa de circuito impresso.



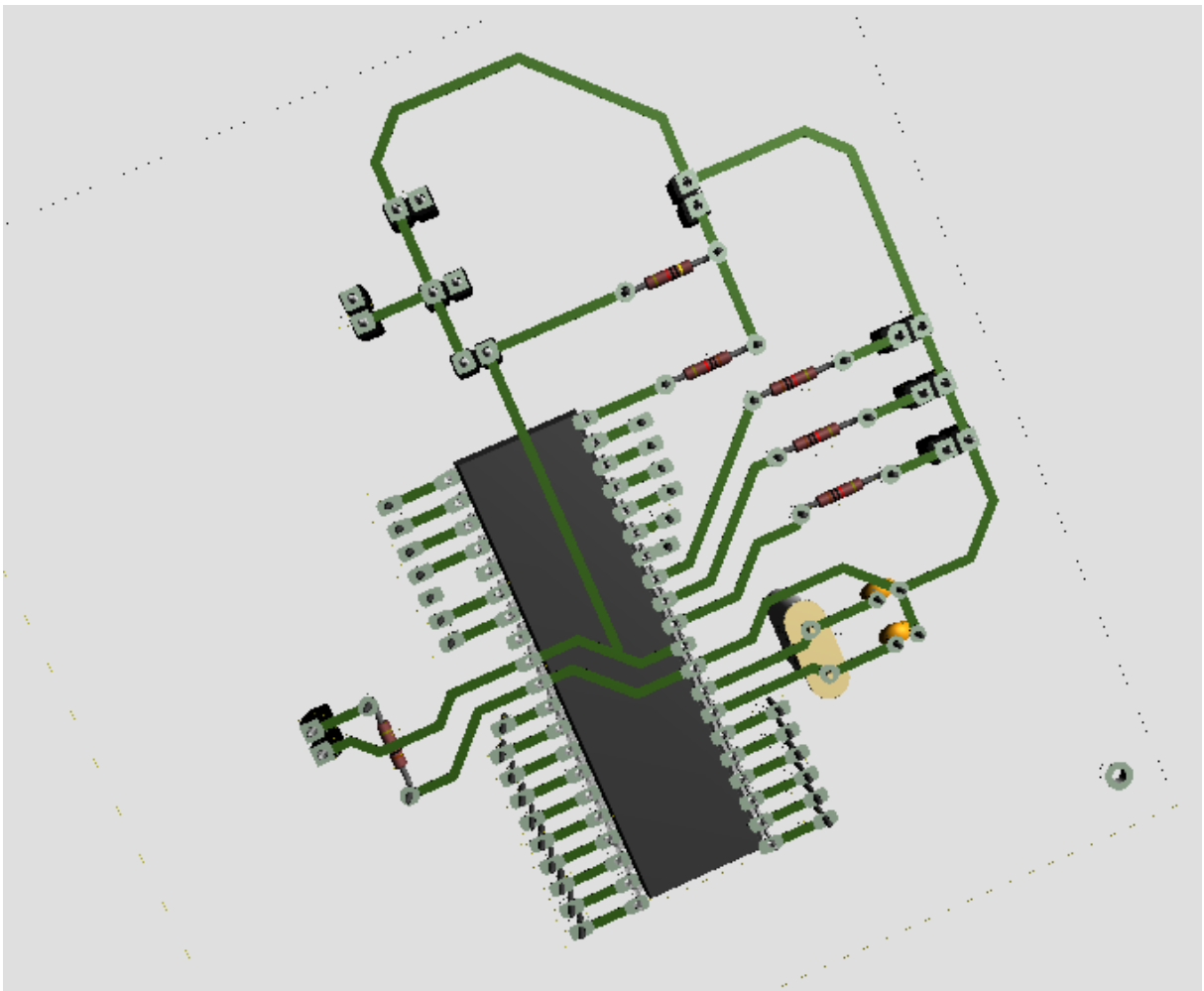
Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 49 - Fotolito da placa de circuito impresso.



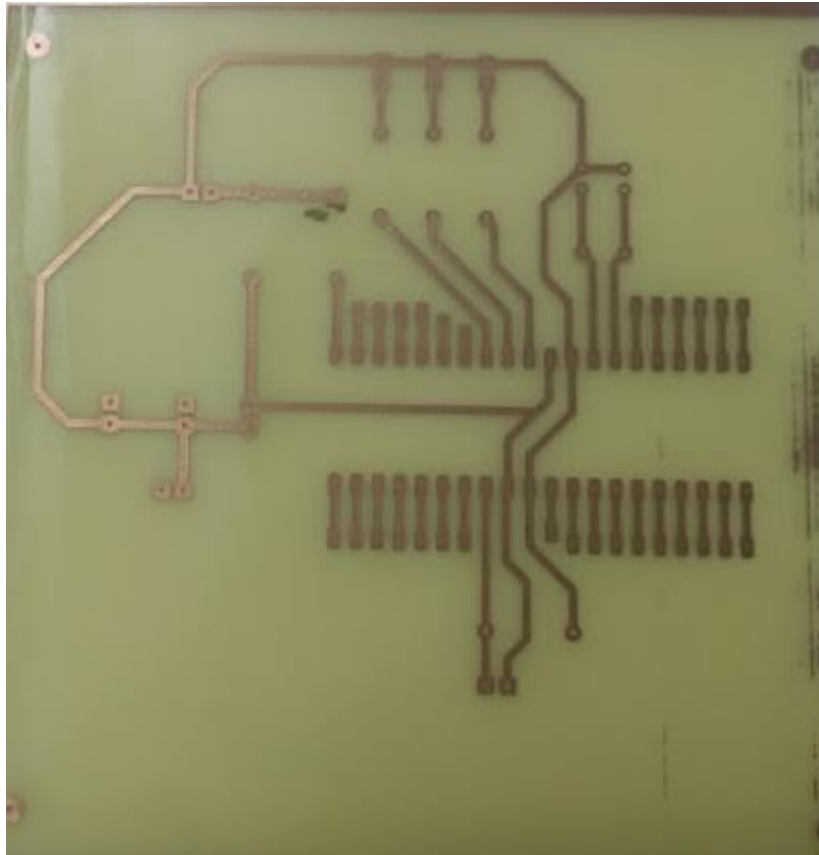
Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 50 - Placa de circuito aparência física simulada.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

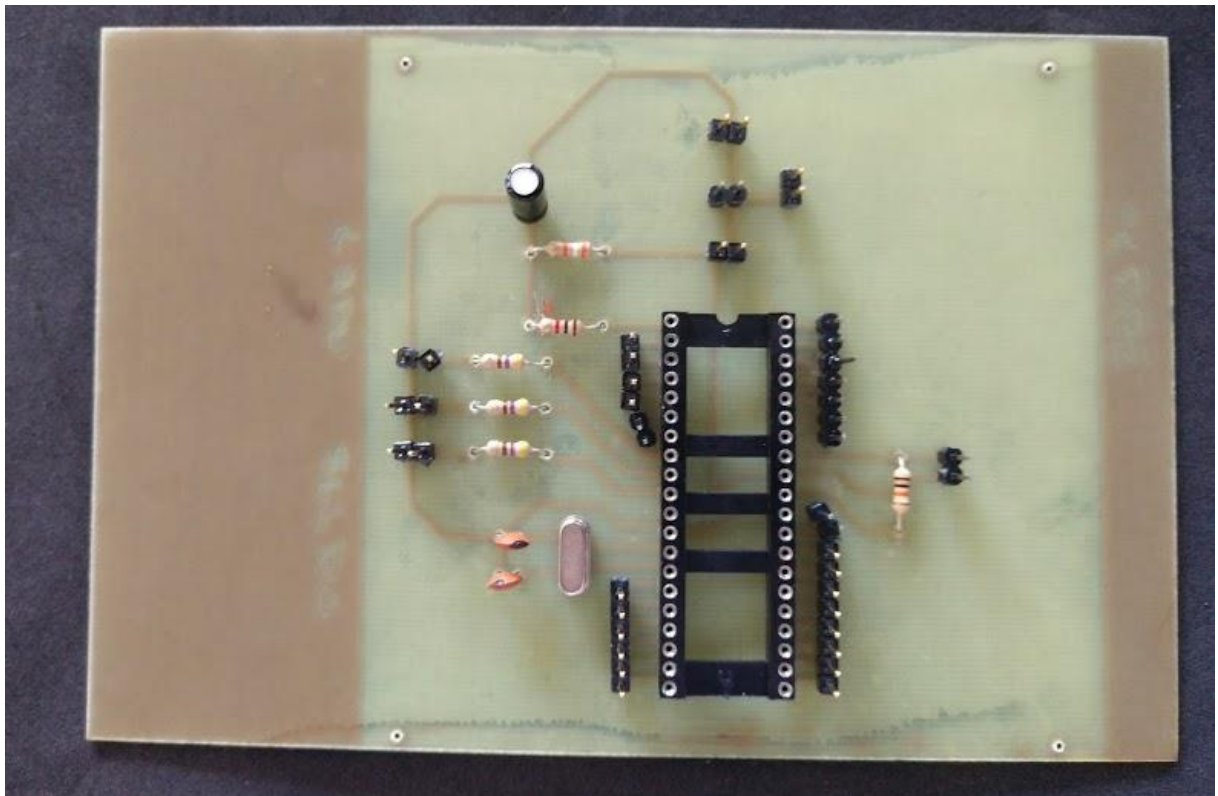
Figura 51 - Placa de circuito impresso confeccionada.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Após as etapas de fabricação da placa de circuito impresso serem concluídas, foi possível soldar os componentes a mesma. A maioria dos componentes utilizados neste projeto estão fixados na esteira industrial, reduzindo assim os números de componentes soldados a placa, contando apenas com o microcontrolador PIC 18F4550, resistores, pinos para conectar os fios dos componentes não fixos a placa, o cristal de Quartzo e capacitores. Na Figura 52 é mostrada a aparência final da placa de circuito impresso.

Figura 52 - Placa de circuito impresso com componentes soldados.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

3.4 Planta da Esteira Industrial

Inicialmente este projeto contava apenas com um *Display LCD* 16x2, um motor de corrente contínua de 5V, um par de sensores ópticos, e dois botões. O *Display LCD* trazia algumas informações da esteira, como quantidade de produtos já processados, inicialização e parada de emergência. Os sensores ópticos contavam as embalagens e os botões para inicializar e parar o funcionamento da esteira. Esta configuração inicial era simples e pouco interativa para o usuário. Outro problema era como alimentar a esteira com embalagens e retirá-las devido sua altura.

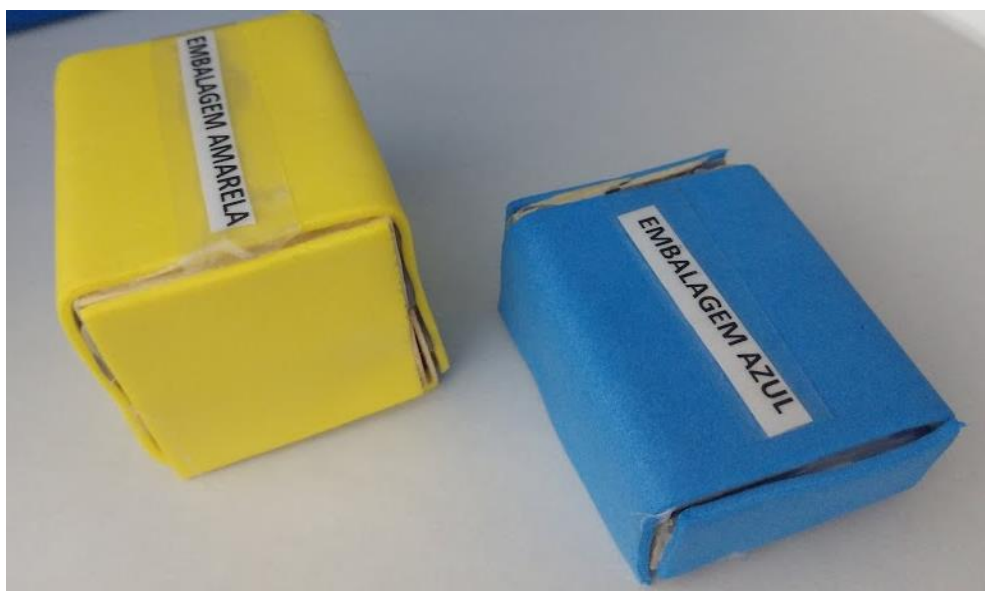
O braço robótico foi a solução para alimentar a esteira com embalagens e a garra coletora para retirar as embalagens. Outro par de sensores ópticos foi utilizado para não só contar as embalagens, como também para detectar seu formato. O *software* de desenvolvimento *Microsoft Visual Studio* foi implementado para

melhorar a interface com o usuário. A área ocupada por todos os componentes envolvidos possui 40,0cm de largura e 70,0cm de comprimento.

Será processado pelo sistema dois tamanhos diferentes de embalagens, sendo a menor possuindo 5,0cm de comprimento, 4,0cm de largura e 2,0cm de altura, denominada como “Embalagem Azul”. Já a embalagem de maior dimensão possui 5,0cm de comprimento, 4,0cm de largura e 4,0cm de altura, sendo denominada como “Embalagem Amarela”. Na Figura 53 são mostradas as duas embalagens.

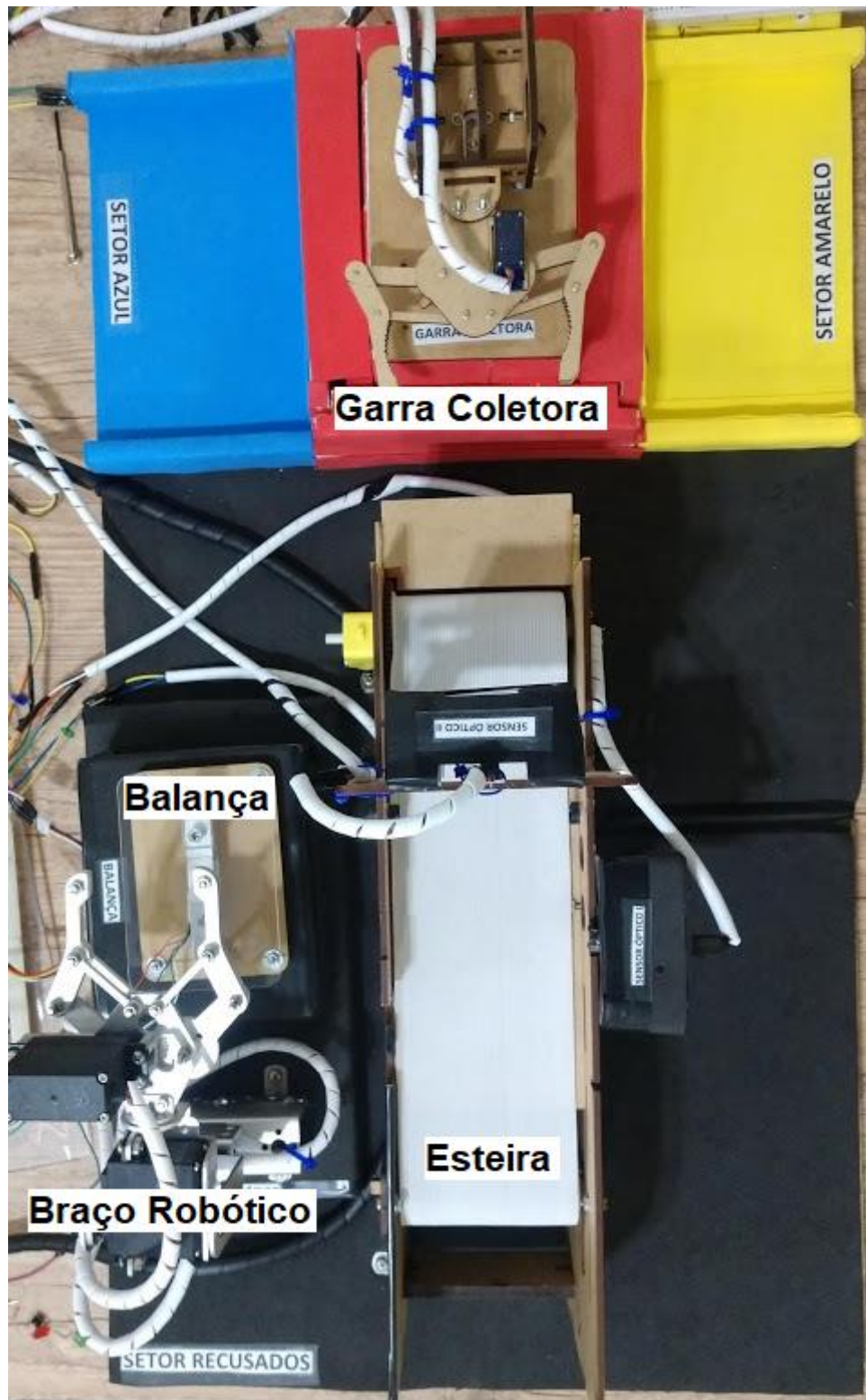
Essas embalagens ao alcançarem o final da esteira serão coletadas pela garra coletora e direcionadas para dois setores, denominados “Setor Amarelo” e “Setor Azul”. Essa separação será possível através da lógica de programação utilizada e dos dois pares de sensores ópticos posicionados na esteira para este fim. Estes setores ficam posicionados após o final da esteira, separados da mesma e divididos pelo conjunto da garra coletora. Os mesmos possuem a mesma área ocupada, sendo 18,0cm de comprimento e 12,0cm de largura, separados um do outro por uma distância de 16,5cm. É exibida na Figura 54 a planta da área ocupada por todos os componentes da esteira industrial.

Figura 53 - Embalagens processadas pela esteira industrial.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 54 - Planta da esteira industrial.



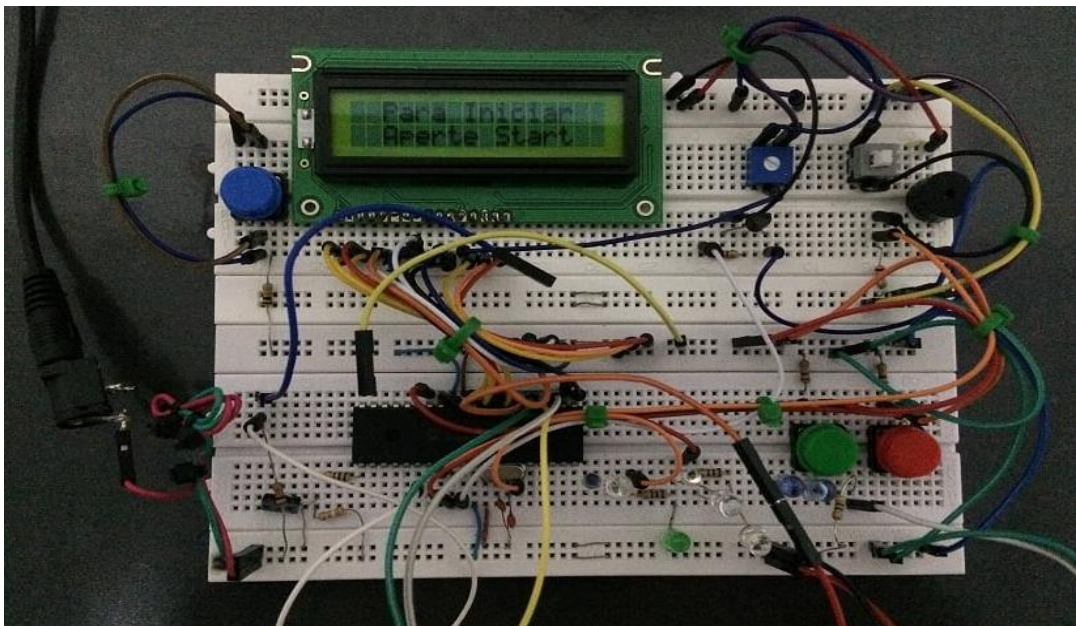
Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados de Funcionamento

Para ser possível testar o projeto desenvolvido foi utilizada a placa de matriz de contatos, mais conhecida por *protoboard*. Desta forma foi possível montar os circuitos elétricos criados no *Proteus*, gravar os códigos fontes executáveis nos microcontroladores empregados, verificar a funcionalidade de todos os componentes trabalhando juntos e colocar em prática a interface implementada. A Figura 55 mostra o primeiro circuito montado na placa de matriz de contatos para ser possível iniciar os testes necessários.

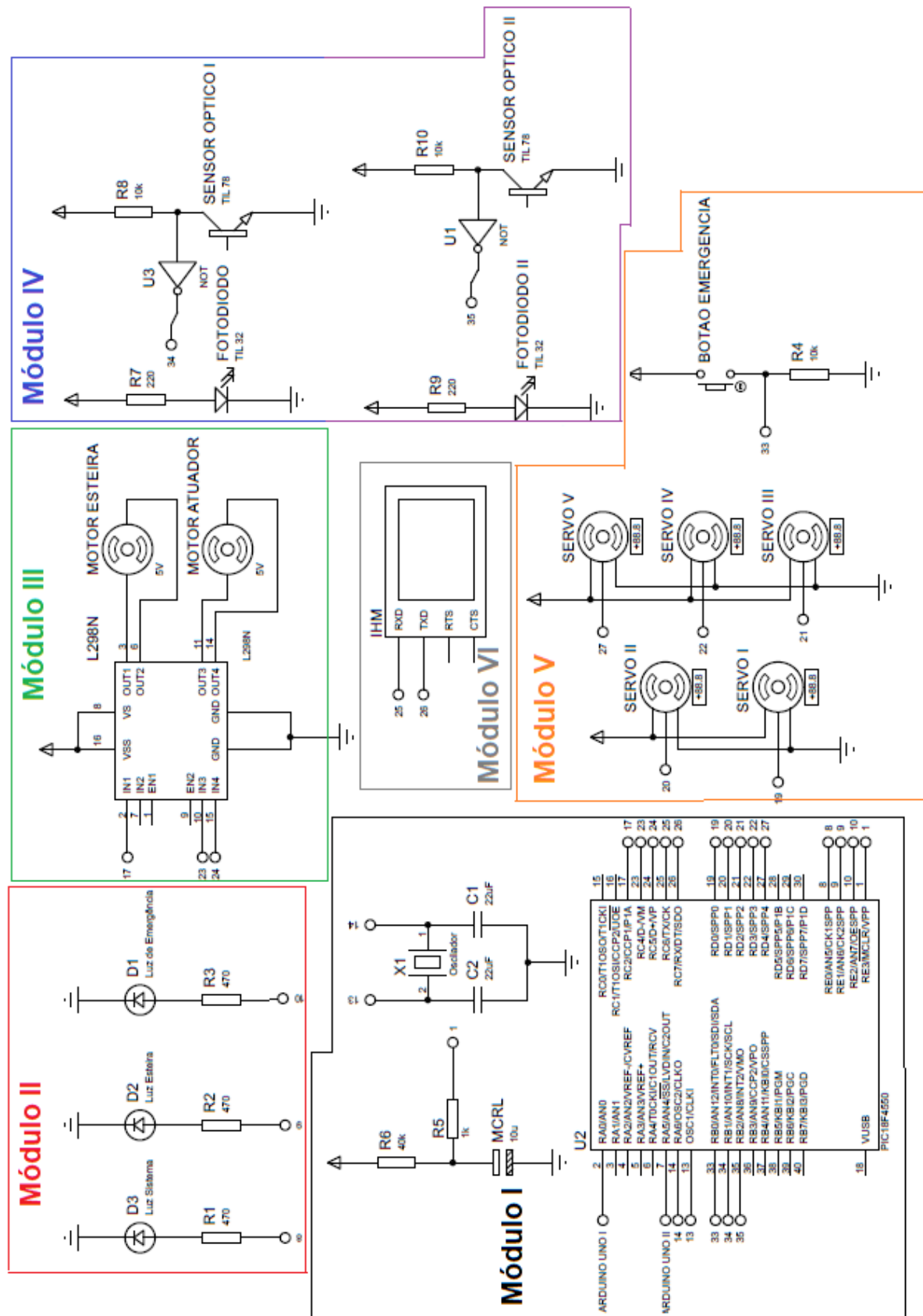
Figura 55 - Placa de matriz de contatos com componentes montados para testes.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Para melhor entendimento das funções de todos os componentes empregados, e dos comentários com relação aos resultados obtidos, será feita a divisão dos dois circuitos elétricos em módulos de funcionamento. A Figura 56 exhibi os módulos relativos aos componentes acionados pelo PIC 18F4550, na Figura 57 os módulos acionados pelo *Arduino Uno*.

Figura 56 - Módulos acionados pelo microcontrolador PIC 18F4550.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Módulo I: Engloba o microcontrolador PIC 18F4550 e suas ligações básicas de funcionamento, como o circuito de *Master Clear* e o circuito oscilador. Os valores dos resistores e capacitores foram obtidos da folha de dados do microcontrolador. Funcionou corretamente nas etapas de simulação, teste e na placa de circuito impresso.

Módulo II: Três *LEDS* de alto brilho foram empregados como uma indicação visual de diferentes fases de operação da esteira. O *LED* denominado “Sistema” possui cor branca. Quando acionado informa que a unidade de controle está ligada e que a qualquer momento a esteira irá funcionar. Esse *LED* irá ficar aceso durante toda a operação do sistema e só irá apagar quando a unidade de controle for desligada. Outro *LED* empregado e denominado “Esteira”, possui cor azul, será acionado no mesmo instante em que a esteira começar a operar. Caso a esteira pare por emergência o mesmo irá apagar, voltando a acender novamente quando a esteira voltar a funcionar. Já o último *LED* é denominado como “Emergência”, possui cor vermelha e só será acionado caso o botão de emergência for pressionado. Assim que a condição de emergência não existir, o mesmo será apagado. Durante os testes executados foi possível verificar que essas indicações auxiliam nas aplicações em que o painel de controle ou a esteira estiverem distantes dos operadores, pois é possível verificar as fases de funcionamento em tempo real, levando em conta a distância física dos equipamentos. Na Figura 58 é possível verificar os três *LEDS* acionados simultaneamente.

Figura 58 - *LEDS* de indicação de funcionamento do sistema.

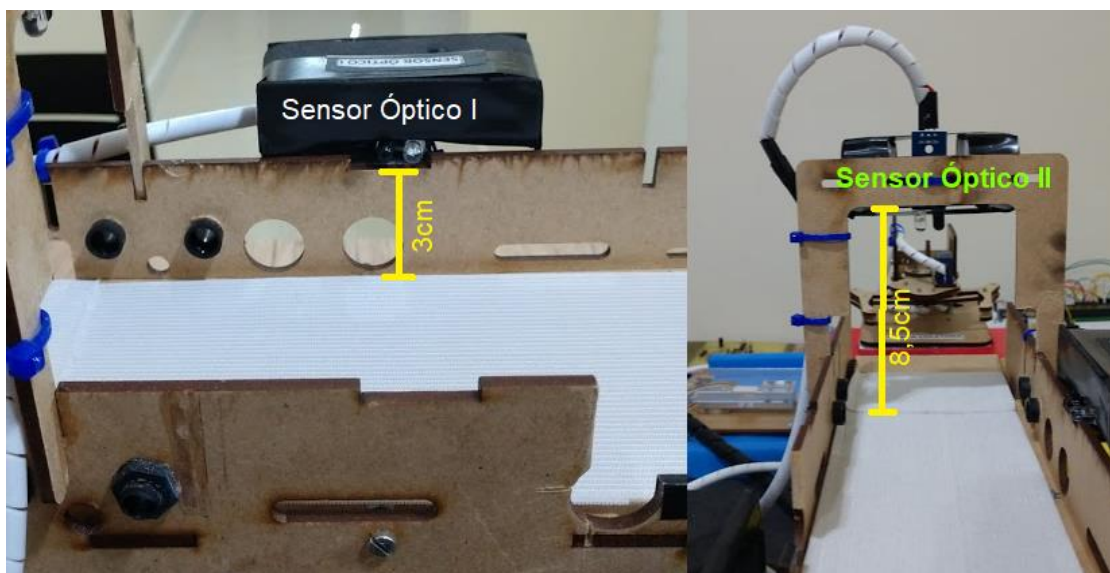


Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Módulo III: Compreende o módulo de acionamento L298N e os dois motores acionados pelo mesmo. O motor utilizado para acionar o atuador linear da garra coletora gira nos dois sentidos de rotação, necessitando apenas de um pulso enviado pelo microcontrolador em seu pino 3 e pino 4. Não foi preciso utilizar um sinal *PWM*, apenas um pulso de nível lógico alto com duração de 120ms. Já o motor usado para acionar a esteira recebe um sinal *PWM* para ser acionado em baixa velocidade, com um torque compatível para movimentar as embalagens pela esteira. Nas etapas de testes ambos os motores funcionaram satisfatoriamente.

Módulo IV: Fazem parte desse módulo os dois pares de sensores ópticos. Cada par de sensor é posicionado estrategicamente na esteira para detectar e contar cada tipo de embalagem. O sensor óptico I é posicionado de maneira que só irá detectar as embalagens de cor amarela devido sua altura. No caso do sensor óptico II, o mesmo irá detectar as duas embalagens. Como o sensor óptico I não detecta embalagens azuis, é possível através do código fonte contar apenas a embalagem azul, já que a embalagem amarela só é contada quando o feixe do sensor óptico I é interrompido. É mostrado na Figura 59 a distância em que os dois pares de sensores ópticos estão localizados da parte rolante da esteira.

Figura 59 - Posição sensores ópticos.



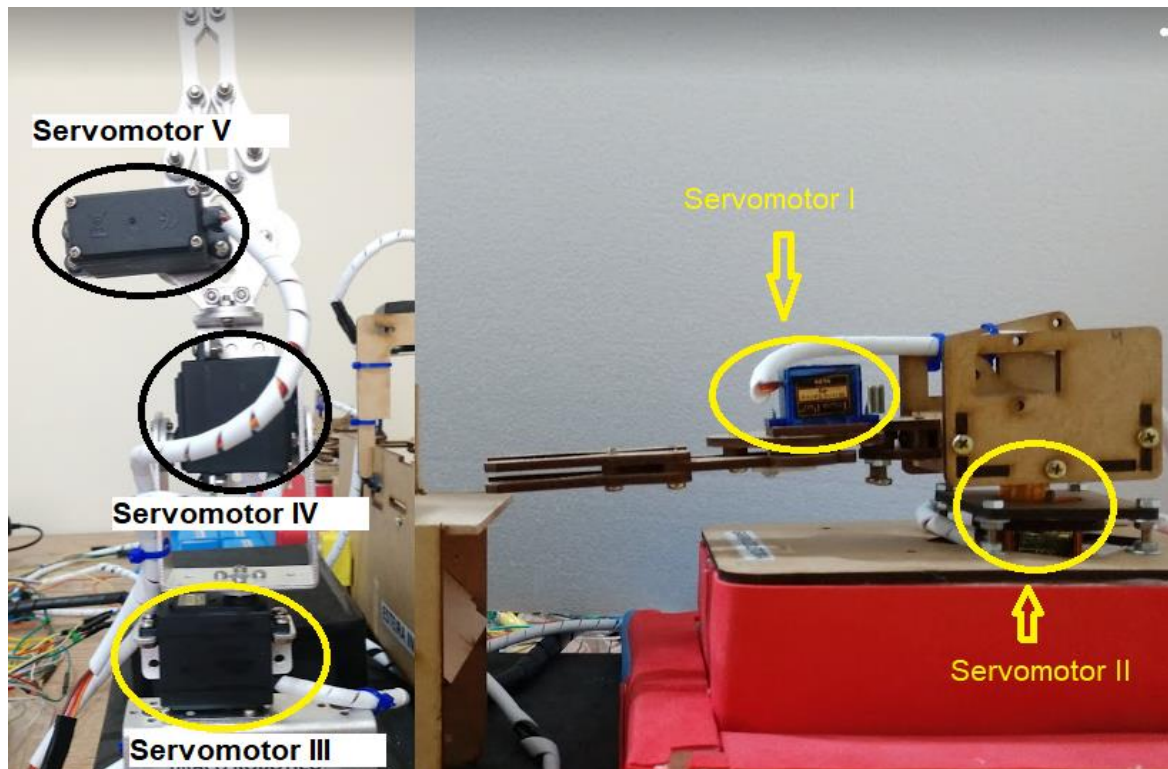
Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Módulo V: Cinco servomotores e um botão são compreendidos por este módulo. Sendo os servomotores responsáveis por acionarem o braço robótico e a

garra coletora, enquanto o botão tem a função de acionar o modo de emergência. A garra, que faz parte do conjunto da garra coletora, é acionada pelo servomotor I. Para movimentar a garra coletora para a esquerda ou para a direita utiliza-se o servomotor II. Com relação ao braço robótico, é utilizado o servomotor III para direcioná-la, servomotor IV para controlar sua articulação, no sentido de abaixar ou levantar, e o servomotor V para abrir ou fechar a garra coletora. Todos os cinco servomotores são acionados pela variação da duração do sinal de *PWM* em nível alto. Os movimentos dos servomotores são suaves, ou seja, foram programados de uma forma para que não executem movimentos bruscos e por consequência derrubarem embalagens. Uma fonte externa é utilizada para energizar os mesmos, visto que os cinco motores drenam uma corrente acima de 2,5A. Em testes, quando utilizando a mesma alimentação do PIC 18F4550, acontecia um reinício do microcontrolador devido alta demanda de corrente para os servomotores. Os servomotores I e II são do modelo SG MG90, já os servomotores III, IV e V são do modelo MG995, devido ser necessário um torque maior para acionamento do braço robótico e levantamento das embalagens. Nas fases de testes, todos executaram suas funções adequadamente. A Figura 60 mostra a localização dos servomotores na garra coletora e braço robótico.

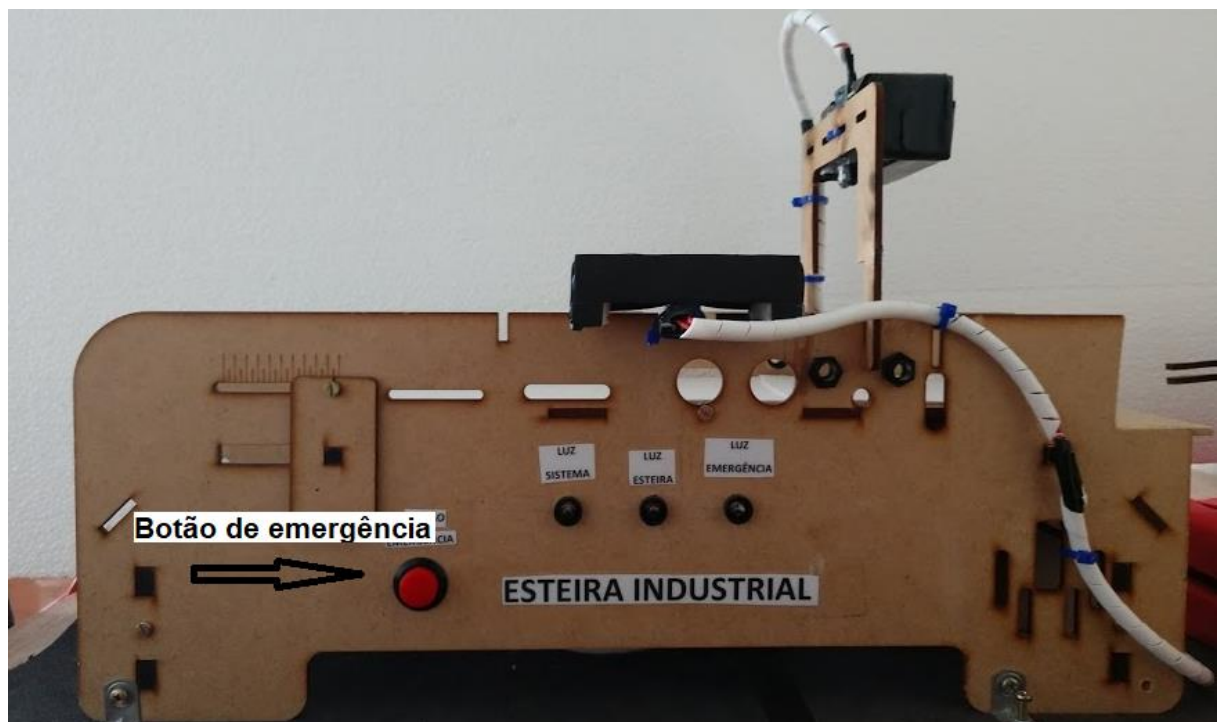
Para acionar a condição de emergência um botão é utilizado, e instalado na lateral da esteira próxima aos *LEDS* de indicação. Quando o mesmo é pressionado, será gerado um nível lógico alto para o PIC 18F4550, neste instante uma interrupção interna no microcontrolador é ativada. Esta rotina de interrupção, envia comandos para o motor da esteira, motor do atuador linear da garra coletora, e para os cinco servomotores para que todos parem seus movimentos, com o intuito de evitar uma condição adversa. Uma vez acionada esta interrupção, a operação somente irá continuar após retirar possíveis embalagens das garras e reiniciar o microcontrolador, consequentemente todo o sistema. Em fases de testes o botão funcionou corretamente. Na Figura 61 é mostrado o botão de emergência.

Figura 60 - Localização dos servomotores.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

Figura 61 - Localização do botão de emergência.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

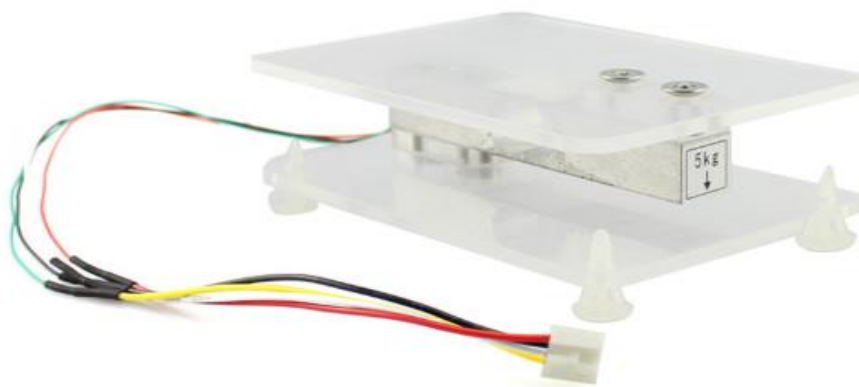
Módulo VI: Através do canal *serial* do PIC 18F4550 é feita toda a conexão para a troca de dados entre o computador pessoal e o microcontrolador. A conversão de dados será feita através de um conversor *USB – TTL* e a interface com o usuário é implementada através do *software Microsoft Visual Studio*. Durante testes a conexão funcionou corretamente. A interface para o usuário será discutida na próxima seção deste trabalho.

Módulo VII: É composto pelo módulo *Arduino Uno*. Possui todas as provisões necessárias para ser empregado. Neste módulo já se encontram os circuitos básicos para funcionamento, possui conectores para ligar os periféricos. Os códigos fontes podem ser gravados através da conexão serial.

Módulo VIII: O *Display LCD* é utilizado para exibir a informação do peso das embalagens. Sua luz de fundo será mantida acesa durante toda a operação. O ajuste de brilho será feito através de um botão giratório.

Módulo XI: A balança e o módulo conversor HX711 fazem parte deste módulo. Duas chapas de acrílico medindo 10,0cm de comprimento e 7,0cm cada, foram parafusadas à célula de carga para que fosse possível pesar as embalagens. A Figura 62 exibe a aparência da balança após ser montada e colocada em uso. Durante os testes executados seu desempenho foi satisfatório, pelo fato da célula de carga ser metálica e não ter variações bruscas em seu formato quando a embalagem é depositada, não gerando assim oscilações nos valores dos pesos das embalagens.

Figura 62 - Balança configurada para pesar as embalagens.

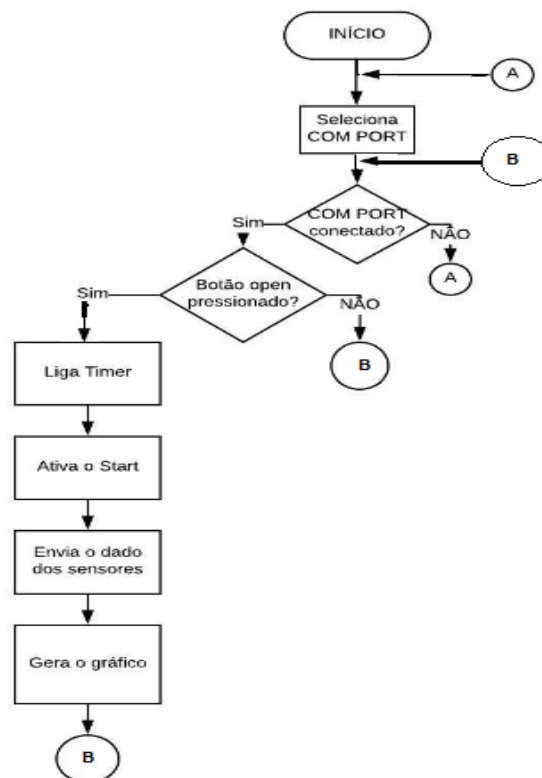


Fonte: <https://pt.aliexpress.com>. Acesso em 25/05/2018.

4.2 IHM – Interface Homem Máquina

Foi desenvolvido um sistema supervisor por comunicação serial em linguagem de programação C#, lê-se “cê-xarpe”, por meio da plataforma *Microsoft Visual Studio*, para proporcionar uma melhor visualização do comportamento do sistema por meio de gráficos, sensores e alguns mostradores. Neste trabalho, a interface homem máquina, apresentada no programa é demonstrada através da leitura dos sensores ópticos, os quais irão gerar os dados a serem lidos pelo gráfico. Desta maneira, através dessa interface são configurados todos os ajustes do sistema, como ligar e desligar a comunicação serial, ligar e desligar o botão de emergência, assim como visualizar os dados das embalagens passadas pela esteira e atingir uma margem de erro mínima representado no fluxograma da Figura 63. [10]

Figura 63 - Fluxograma da comunicação serial.

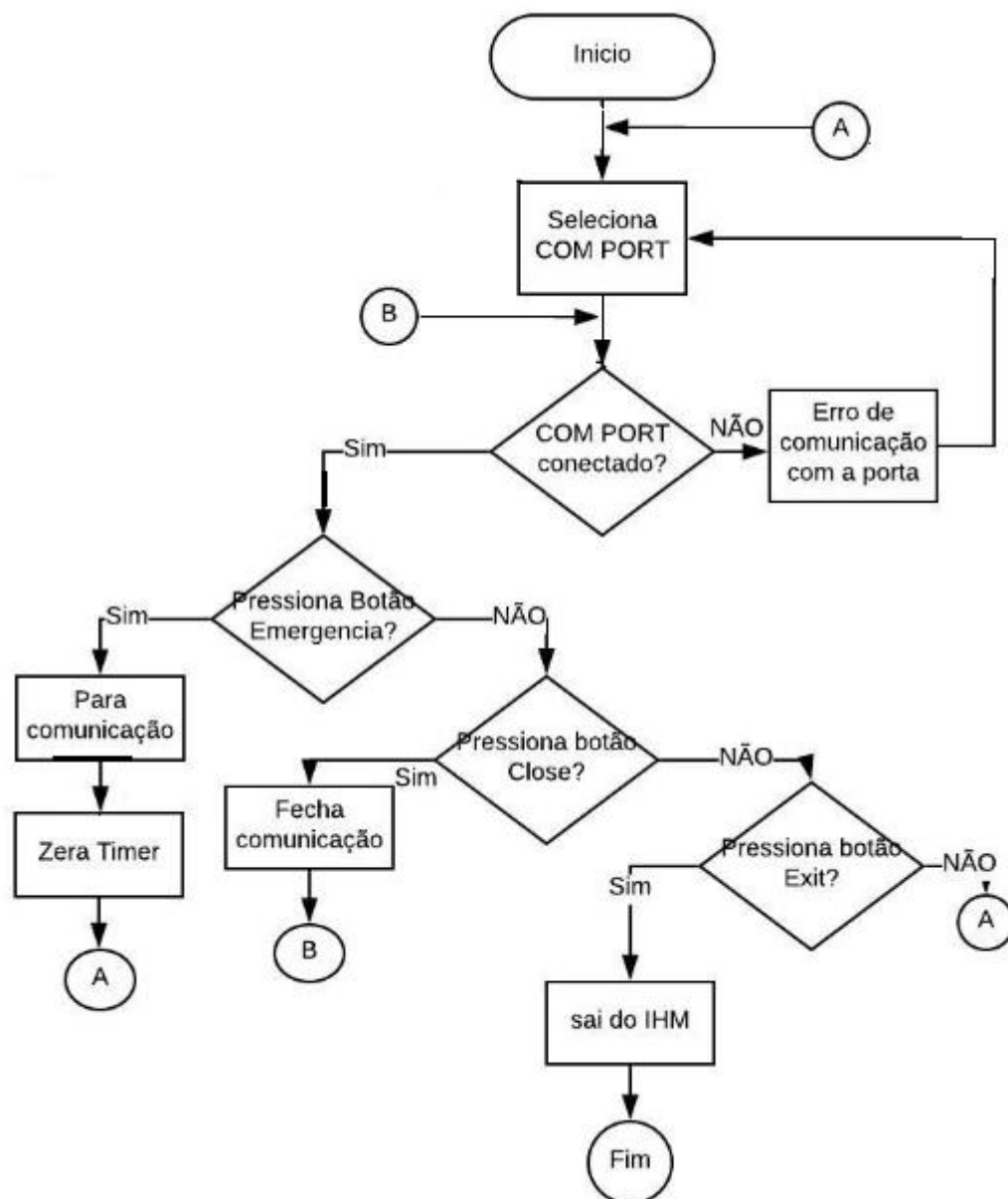


Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

O sistema supervisor foi adaptado para esse trabalho seguindo algumas modificações de projeto. A interface conta com três abas, das quais uma delas é dedicada à exibição do gráfico referente à leitura de cada um dos sensores. Ao lado

esquerdo do campo das abas, estão os botões responsáveis por abrirem a comunicação serial (botão *open*), o botão que fecha a comunicação serial (botão *close*) e o botão que fecha o aplicativo (botão *exit*) representado no fluxograma da Figura 64.

Figura 64 - Fluxograma dos botões da IHM.

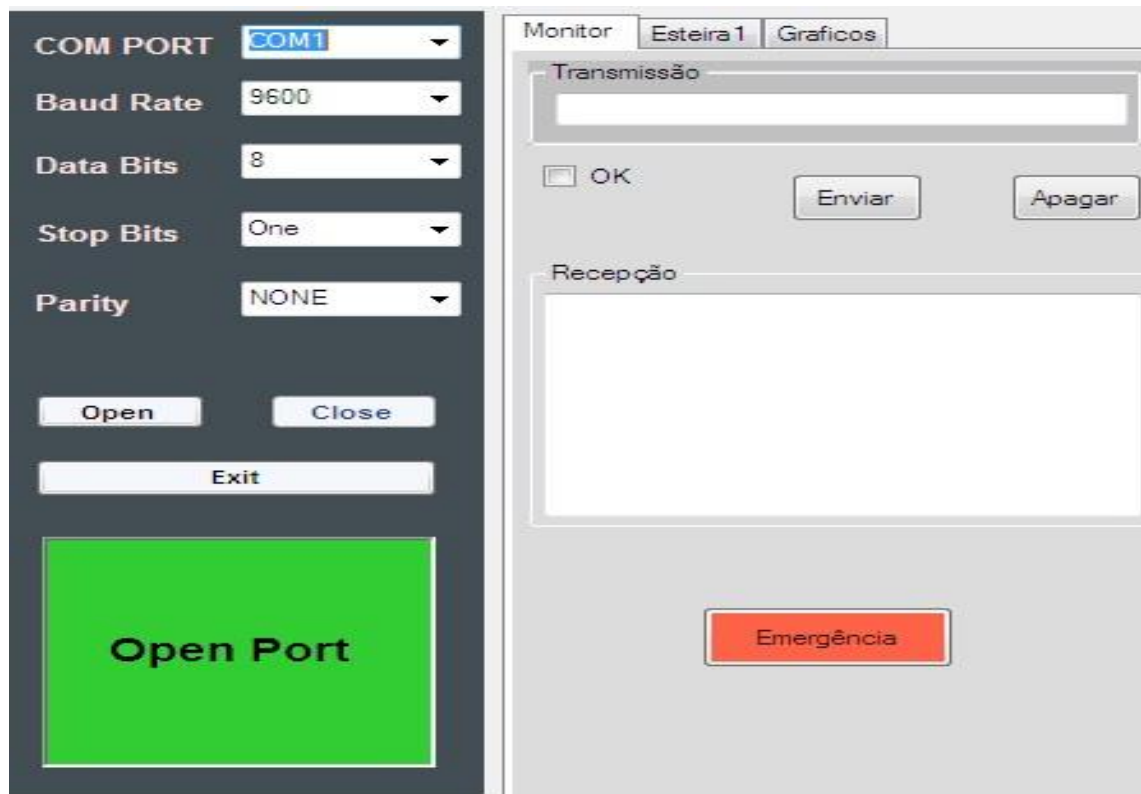


Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

A primeira aba no lado esquerdo, exibida na Figura 65, representa a interface de comunicação serial com os respectivos parâmetros configurados de acordo com o *datasheet* do PIC 18F4550, os quais incluem: a porta serial do

computador (*COM PORT*), a velocidade dos *bits* por segundo mostrada no campo *Baud Rate*, *Data Bits*, *Stop Bits* e o *bit* de paridade (*Parity*).

Figura 65 - Painel principal da interface homem-máquina.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

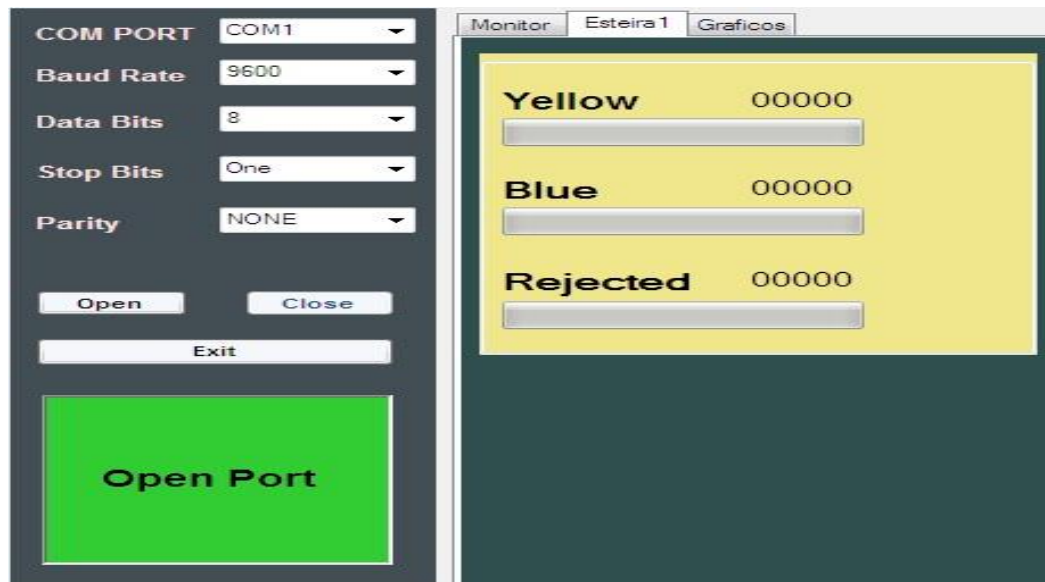
Como exposto acima, no lado direito do painel encontram-se, os campos de transmissão e recepção de dados pela porta serial, além do botão de emergência o qual irá fechar a comunicação serial e zerar o *timer*. O sistema também conta com o botão de enviar, responsável pelo envio dos dados, e o botão apagar responsável em limpar o painel. O *checkbox* *OK* é responsável por enviar o dado com espaçamento ao ser clicado e sem espaçamento se não for selecionado.

Abaixo destes campos estão os botões responsáveis por abrirem a comunicação serial (botão *Open*), o botão que fecha a comunicação serial (botão *Close*) e o botão que fecha o aplicativo (botão *Exit*).

A segunda aba corresponde as informações da esteira e é representada pela Figura 66. Ela é dedicada a leitura dos sensores ópticos e a visualização das variáveis correspondentes as embalagens amarelas (*Yellow*), azuis (*Blue*) e recusadas (*Rejected*). Este painel conta com um recurso do C# chamado

progressbar, onde este irá preencher a barra de acordo com o valor mostrado pela porta serial. Neste projeto, o valor máximo configurado e visto pelo programa será de 200 caixas para cada variável, porém este valor pode ser alterado.

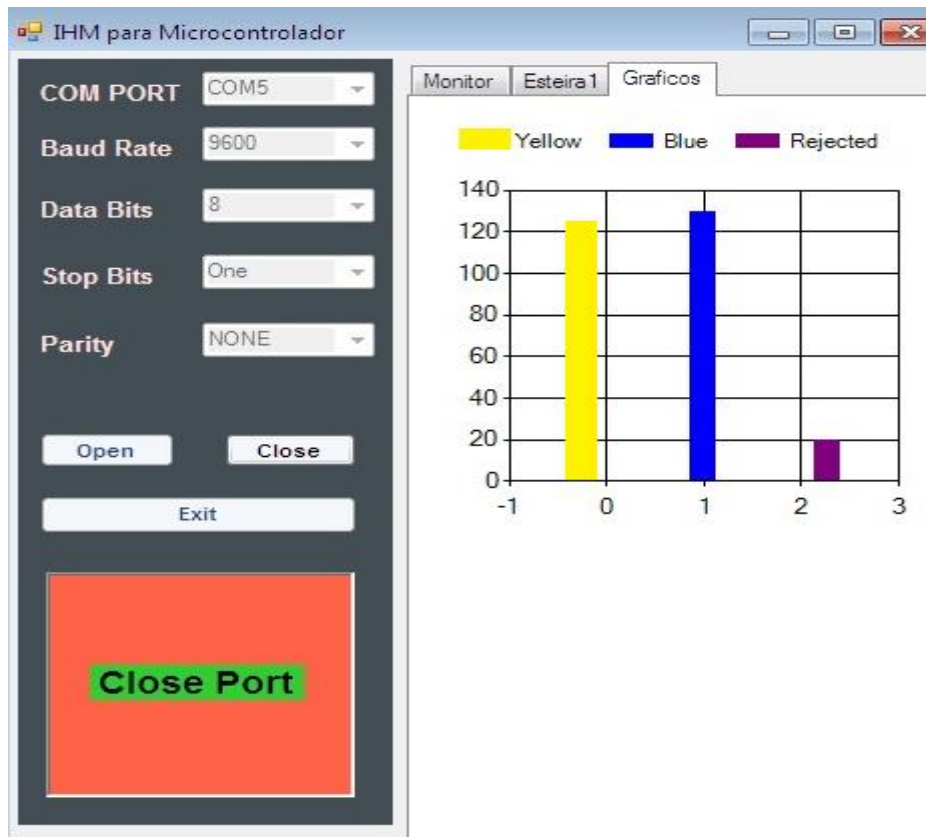
Figura 66 - Segunda aba da interface homem-máquina.



Fonte: Arquivo pessoal (próprios autores).

A terceira aba do painel é dedicada a exibição em tempo real dos valores lidos pelos sensores e mostrados em um gráfico tipo barra. Para realizar a comunicação entre o supervisor e o microcontrolador, foi desenvolvido um programa em linguagem C comum entre eles, porém, a comunicação é realizada de modo assíncrono. O PIC 18F4550 envia pacotes de 5 *bytes* a cada 250ms e o sistema supervisor envia pacotes de 8 *bytes*, apenas quando solicitado pelo usuário. Os *bytes* enviados pelo microcontrolador são tratados em tempo real e são convertidos para os níveis *TTL* através do conversor *USB-TTL*, que exibem a leitura do sensor óptico. Por outro lado, o supervisor envia os dados segundo a solicitação do usuário, onde cada um desses dados possui um protocolo de identificação para que o PIC 18F4550 compreenda qual dado é enviado no momento, como pode ser visto na Figura 67.

Figura 67 - Terceira aba da interface homem-máquina.



Fonte: Aquivo pessoal (próprios autores).

4.3 Dificuldades Encontradas

Inicialmente não estava sendo possível controlar mais do que um servomotor de forma suave, ou seja, sem movimentos bruscos. Rotinas de atraso, executadas através de funções de *delays* (atraso), estavam sendo utilizadas para gerar os movimentos dos servos. Este tipo de recurso estava se mostrando ineficiente e causando vários erros, fazendo com que os servomotores executassem movimentos rápidos e bruscos, arremessando as embalagens que estavam sendo manipuladas pela garra coletora e braço robótico. Após implementar rotinas com o *timer 0* disponível no PIC 18F4550, verificou-se que este recurso era ideal para este trabalho, sendo possível assim controlar todos os servomotores utilizados de forma suave, sem movimentos rápidos ou bruscos.

Problemas relativos as contagens das embalagens estavam ocorrendo. Primeiramente, os dois sensores ópticos foram ligados em duas entradas do microcontrolador, onde somente era necessário receber seus pulsos em níveis lógicos baixos para que os seus contadores associados fossem incrementados. Porém, caso o programa naquele momento estivesse executando alguma condição, como por exemplo, uma comparação, não era gerada a contagem e por consequência a garra coletora também não era acionada. Como solução, foi adotada a interrupção que pode ser gerada pelo PIC 18F4550 através de suas portas de entradas ligadas aos pinos RB4 e RB5. Desta forma, ao ser gerada a interrupção causada pelo nível lógico baixo enviado pelo sensor óptico, os contadores eram incrementados e variáveis de controle para a garra coletora eram modificadas para correto funcionamento do programa em execução.

Outra dificuldade com relação a contagem de produtos, foi referente a aquisição de dados para contagem das embalagens. A mesma estava sendo realizada por meio de um sensor ultrassônico, onde os dados fornecidos estavam sofrendo variações de leitura e requerendo rotinas com algumas variáveis para funcionamento, bem como o uso do módulo *timer1* do PIC 18F4550. O sinal enviado pelo sensor ultrassônico ao microcontrolador, era convertido em centímetros pela lógica de programação implementada. Em testes, estava sendo observado que esse sinal sofria pequenas variações em sua amplitude, causando erros de leitura de até

um centímetro. Como uma das embalagens utilizada neste projeto possui altura de aproximadamente 1,5 centímetros, erros de contagens estavam ocorrendo, onde por vezes era gerada uma contagem sem ter embalagens sendo processadas. Devido a este problema, foi necessário utilizar um sensor óptico, no qual apresenta um potenciômetro *trimpot*, capaz de variar a distância pelo qual se capta o sinal gerado pela passagem da embalagem, independente da sua dimensão, necessitando apenas interromper o feixe do sensor. Desta forma, tornou-se possível fazer uma aquisição de dados confiável como mostrados nos testes desse trabalho.

Como este trabalho teve recursos financeiros limitados e apenas *softwares* gratuitos foram utilizados, não foi possível utilizar apenas um microcontrolador. Por acionar vários módulos e tratar diversas variáveis, limites de memórias e programas estavam sendo ultrapassados, desta forma não era possível concluir as compilações. A saída adotada foi o emprego de mais um microcontrolador, dividindo as tarefas, e ao mesmo tempo, as rotinas de programação foram também diminuídas em cada um, podendo assim compilar e executar os programas implementados.

Outra dificuldade do projeto foi estabelecer o envio de dados dos sensores pela porta serial através do *timer* do *Microsoft Visual Studio*, no qual este enviará os dados dos em tempo real para o aplicativo. Um contador que possui tempo de estouro de dois segundos foi criado como solução, desta forma, a cada dois segundos o aplicativo irá retornar o protocolo do *timer* para averiguar se a comunicação entre o microcontrolador e o aplicativo está ativa, caso contrário irá ser exibida uma mensagem de erro.

Foram utilizados inicialmente dois tipos de interrupções para as devidas simulações da comunicação serial entre o PIC 18F4550 e o *Microsoft Visual Studio*. A interrupção pela recepção dos dados recebidos pela porta serial do microcontrolador foi utilizada para tratar os caracteres a serem enviados, enquanto a interrupção do *timer 1* foi utilizada para o envio dos dados dos sensores a cada 2 segundos, porém ao realizar-se as devidas simulações e o *debug* do programa, essas rotinas não funcionaram de acordo com o previsto. Desta forma optou-se por aproveitar as rotinas de interrupções já existentes para tratar os dados recebidos pelos sensores utilizados e inserir as funções do contador serial dentro delas.

5 CONCLUSÕES

O trabalho proporcionou a execução de um sistema supervisório industrial e seus respectivos benefícios em comparação a um processo fabril comum, oferecendo uma ferramenta mais moderna para o sistema de gerenciamento industrial. Foram efetuadas as conversões de sinais necessárias para o correto funcionamento de todo o sistema, colocado em funcionamento todos os diferentes módulos e componentes utilizados, com exceção do sensor ultrassônico que se mostrou não ideal para esta aplicação devido as variações de seus dados e por consequência os problemas gerados por essa variação, afetando os outros parâmetros do sistema.

Após os testes executados, constatou-se que o sistema supervisório desenvolvido é de fácil uso, pode ser adaptado para outras aplicabilidades, possui uma interface simples para o usuário, contando com poucos comandos e somente com as informações pertinentes aos objetos que estão sendo processados. A partir do circuito eletrônico desenvolvido e do *software* de análise, foi possível fazer a detecção das caixas processadas pela esteira e a análise dos dados em tempo real em seus respectivos gráficos. Por ser um projeto piloto e aplicado em um ambiente não fabril, seu custo foi ligeiramente baixo.

Os dois tamanhos de embalagens puderam ser identificados pelos dois sensores ópticos, após já terem sido pesadas e colocadas na esteira pelo braço robótico. Para as embalagens que durante o processo não possuísem um peso mínimo, foram retiradas e direcionadas para o setor de recusados.

Diversos ajustes mecânicos tiveram que ser feitos no braço robótico e na garra coletora para que as embalagens fossem coletadas e colocadas nos lugares corretos da balança e da esteira. Esses componentes possuem alguns defeitos de fabricação, como partes confeccionadas em tamanhos diferentes, folgas em suas conexões e furos fora de medidas com relação aos parafusos utilizados. Estes fatores tiveram um impacto negativo no correto funcionamento do sistema, porém com os ajustes feitos foi possível atingir certo nível de assertividade no posicionamento das embalagens.

A inclusão da plataforma *Arduino Uno* após problemas com a versão do *software mikroC*, foi essencial para a execução de todas as tarefas implementadas no sistema. Ter um único microcontrolador para realizar várias tarefas colabora para ter um projeto com custo reduzido, porém várias rotinas de programação devem ser criadas e executadas simultaneamente, com uma interferindo na outra e por vezes não funcionando corretamente, gerando erros e interrupções do processo desnecessárias para a correção de falhas.

Todos os resultados obtidos foram satisfatórios e servem como base para melhorias. A continuidade pode ser alcançada utilizando componentes mecânicos de melhor qualidade, sensores mais refinados e com aplicação industrial já conhecida.

6 TRABALHOS FUTUROS

Como trabalhos futuros relacionados ao tema, as seguintes sugestões podem ser exploradas:

- Monitoramento da velocidade da esteira e comandos para aumentar ou diminuir esta velocidade de acordo com a demanda de embalagens ou produtos processados;
- Comandos manuais da garra coletora e do braço robótico, ao invés de somente utilizar somente comandos automáticos, como por exemplo, comandos enviados através de um *joystick*;
- Integração do sistema com dispositivos de comunicação sem fio, realizada através de placas de expansão de hardware, como as disponibilizadas comercialmente para módulos *Arduino*, como por exemplo, *WI-FI/Bluetooth*, *USB*, *TCP IP*. O painel desenvolvido pode operar como central de controle fixa, oferecendo o mesmo controle móvel para outros dispositivos conectados através de *smartphones* ou *tablets*;
- Implementar o monitoramento de todo o sistema através de câmeras de vídeo e visualizar as imagens painel de controle juntamente com os outros parâmetros do sistema;
- Melhorar a interface com o usuário, proporcionando maior interatividade e mais páginas com recursos sinóticos/;
- Desenvolver um aplicativo para o sistema operacional *Android* e o sistema operacional *IOS*, para que o usuário possa ver os dados em tempo real e ser alertado de um possível erro no sistema em qualquer lugar no mundo.
- Incluir no sistema de parada de emergência o desligamento de todo o sistema, não somente deixando de gerar dados de controle, como também retirando a alimentação elétrica de todos os componentes envolvidos.

REFERÊNCIAS

- [1] Sistema Supervisório de Aquisição de Dados. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Supervis%C3%A3o_e_Aquisi%C3%A7%C3%A3o_de_Dados. Acesso em: 30/04/2018.
- [2] Extensômetro. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/Extens%C3%B4metro>. Acesso em: 01/05/2018.
- [3] Ponte de *Wheatstone*. Disponível em:
https://pt.wikipedia.org/wiki/Ponte_de_Wheatstone. Acesso em: 01/05/2018.
- [4] TOCCI, Ronald J. e WIDMER, Neal S. **SISTEMAS DIGITAIS: Princípios e Aplicações**. 7.ed. Editora: LTC, 1998.
- [5] BOYLESTAD, Robert L. e NACHELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 11.ed. Editora: PEARSON, 2013.
- [6] I²C. Disponível em:
<https://pt.wikipedia.org/wiki/I%C2%B2C>. Acesso em: 05/05/2018.
- [7] Interfaces de comunicações OneWire, SPI e I²C. Disponível em:
<http://buildbot.com.br/blog/interfaces-de-comunicacao-onewire-spi-i2c/>.
Acesso em: 05/05/2018.
- [8] PWM – Modulação Por Largura De Pulso. Disponível em:
http://www.mecaweb.com.br/eletronica/content/e_pwm
Acesso em: 06/05/2016.
- [9] GOZZI, Giuseppe Giovanni Massimo e PAREDE, Tera Miho Shiozaki. **Eletrônica – Máquinas e instalações elétricas, v.3**. 1.ed. Editora: Fundação Padre Anchieta, 2011.

[10] SHARP, John. **Microsoft Visual C# 2010 Step by Step**, v.1. 1.ed. Editora: Washington. Microsoft Press, Volume 1, 2010.

APÊNDICE A – Código Fonte

Três compiladores diferentes foram utilizados neste projeto, que são: *MikroC*, *Arduino IDE* e o *C#*. Todos os códigos fontes utilizados estarão gravados em uma mídia de *DVD Player*, que será entregue para o Departamento de Sistemas Eletrônicos da Faculdade de Tecnologia de São Paulo, para ser disponibilizado na Biblioteca Nelson Alves Vianna, localizada nesta mesma faculdade, para livre consulta. Todos os códigos terão suas linhas de programação comentada.