

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ELETRÔNICA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

JEAN YVES LISBOA

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE CONTROLE PARA UMA
MÁQUINA SEQUENCIAL PICK-TO-LIGHT SISTEMA SMART BIN**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ponta Grossa, PR.

2014

JEAN YVES LISBOA

**DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE CONTROLE PARA UMA
MÁQUINA SEQUENCIAL PICK-TO-LIGHT SISTEMA SMART BIN**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação de Eletrônica no Campus Ponta Grossa da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para a obtenção da conclusão do curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Leonardo Bruno Garcia
Campanhol Ms.

Ponta Grossa, PR.

2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Ponta Grossa



Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento de Eletrônica
Tecnologia Automação Industrial

TERMO DE APROVAÇÃO

DESENVOLVIMENTO DE PLACA DE CONTROLE DE UMA MÁQUINA
SEQUENCIAL PICK-TO-LIGHT SISTEMA SMART BIN

por

JEAN YVES LISBOA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado em 30 de julho de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Leonardo Bruno Garcia Campanhol, Ms.
Prof. Orientador

Fabio Junior Alves Batista
Membro titular

Edison Luiz Salgado Silva, Ms.
Membro titular

Marcio Mendes Casaro, Dr.
Coordenador do Curso
UTFPR - Campus Ponta Grossa

*Documento original e assinado em posse da coordenação do curso.

Dedico...

A todos os amigos e familiares que nos acompanharam nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, pela benção da inteligência, saúde, amizade e principalmente por jamais ter nos deixados sozinhos na procura dos nossos sonhos.

Um agradecimento muito especial a minha família e noiva pelo apoio, incentivo e compreensão na realização deste trabalho.

Meu agradecimento ao Professor Leonardo Bruno Garcia Campanhol pela paciência, atenção e orientação destinada a mim durante esse processo..

E finalmente, aos amigos e professores que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização desse projeto.

RESUMO

LISBOA, Jean Yves. **Desenvolvimento de Placa de Controle para uma Máquina Sequencial Pick-To-Light Sistema Smart Bin**. 2014. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Tecnologia em Automação Industrial – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma placa de controle utilizando microcontrolador PIC16F877A, a ser utilizada em uma máquina sequencial modelo *Pick-to-Light* de um sistema *Smart Bin*, de seis compartimentos, como alternativa de automação deste equipamento utilizando hardware microcontrolado. Os principais conceitos relacionados à programação de microcontroladores e utilização de reguladores de tensão são apresentados. Além disso, é apresentado o desenvolvimento do sistema elétrico da placa de controle e da programação do microcontrolador, bem como os resultados obtidos via simulação computacional.

Palavras-chave: Smart Bin. Pick-to-Light. Microcontrolador. Linguagem de Programação C.

ABSTRACT

LISBOA, Jean Yves. **Development of a control for a Pick-to-light sequential Smart Bin machine system.** 2014. 48 f. Conclusion Work Course Technology in Industrial Automation – Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2014.

This paper presents the development of a control board using a PIC16F877A microcontroller. To be used in a Pick-to-Light sequential Smart Bin machine system, of six boxes, as an alternative to the automation of the equipment using microcontroller hardware. Its key concepts are related to microcontrollers programming and the usage of voltage regulators. Furthermore, the development of the control board's electric system and programming of the microcontroller are desmostrated, as well as the results obtained by computer simulations.

Keywords: Smart Bin. Pick-to-Light. Microcontrolled. C programming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Pick-to-Light / Sistema Smart Bin.....	17
Figura 2: Diagrama Pick-to-Light / Sistema Smart Bin	19
Figura 3: Funcionamento Sistema Sensor	27
Figura 4: Contador de Pulsos.....	28
Figura 5: Diagrama do Sistema.....	29
Figura 6: Diagrama de pinos do PIC16F877A.....	31
Figura 7: Diagrama Lógico do ULN2803	32
Figura 8: Tela de Simulação Inicial	34
Figura 9: Fluxograma para Programação do Pic.....	35
Figura 10: Tela de Simulação Final.....	37
Figura 11: Diagrama Elétrico da Fonte e Entradas da Placa.....	38
Figura 12: Diagrama Elétrico das Saídas da Placa	39
Figura 13: Diagrama Elétrico Placa de Controle Smart Bin.....	40
Figura 14: Perspectiva em 3D da Placa de Controle Desenvolvida	48
Figura 15: Visão Superior em 3D da Placa de Controle Desenvolvida	48
Figura 16: Visão Posterior em 3D da Placa de Controle Desenvolvida.....	49
Figura 17: Circuito da Placa de Controle Desenvolvida	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descritivo dos componentes de entrada e saída da placa	26
Tabela 2: Descritivo de custos da placa	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PIC: *Peripheral Interface Controller*

LED: *Light Emitting Diode*

RISC: *Reduced Instruction Set Computer*

ROM: *Read Only Memory*

RAM: *Random Access Memory*

EPROM: *Erasable Programmable Read-Only Memory*

I/O: Entradas/Saídas (do original Inputs/Outputs)

A/D: Analógico/Digital

SCK: *Clock*

Vdc: *Voltage Direct Current*

CI: Circuito Integrado

CC: Corrente contínua

V: Volt

A: Ampere

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA DA PESQUISA.....	14
1.1.1	Delimitação do Tema.....	14
1.2	PROBLEMA.....	14
1.3	PREMISSA.....	15
1.4	OBJETIVOS.....	15
1.4.1	Objetivo Geral.....	15
1.4.2	Objetivos Específicos.....	15
1.5	JUSTIFICATIVA.....	16
1.6	MÉTODO DA PESQUISA.....	16
2	DESENVOLVIMENTO	17
2.1	SEQUENCIADOR SMART BIN.....	17
2.1.1	Visão Geral.....	18
2.1.2	Descrição de Funcionamento e Operação.....	20
2.1.2.1	Modo Operação	20
2.1.2.2	Modo Programação	21
2.2	MICROCONTROLADOR PIC.....	21
2.2.1	Memórias.....	22
2.2.1.1	Memória de Programa	22
2.2.1.2	Memória de Dados	23
2.2.2	Arquitetura do PIC.....	23
2.3	LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO.....	23
2.3.1	Linguagem de Programação Assembly.....	24
2.3.2	Linguagem de Programação C.....	24
2.4	SENSORES.....	25

3	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	26
3.1	DADOS LEVANTADOS.....	26
3.1.1	Sistema de Sensor Ultravermelho.....	27
3.1.2	<i>LEDs</i> Sinalizadores	27
3.1.3	Alarme Sonoro	27
3.1.4	Contador de Pulso	28
3.2	SISTEMA PROPOSTO.....	29
3.3	MICROCONTROLADOR PIC16F877A	30
3.4	DRIVE DE ALTA TENSÃO ULN2803.....	31
3.5	REGULADOR DE TENSÃO LM7805	32
4	DESENVOLVIMENTO DA PLACA	33
4.1	DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA E SIMULAÇÕES.....	33
4.2	DESENVOLVIMENTO DO CIRCUITO ELETRÔNICO DA PLACA	37
4.3	COMPONENTES GERAIS DA PLACA	40
4.4	DIFICULDADES ENCONTRADAS	41
5	TRABALHOS FUTUROS	43
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A	47
	APÊNDICE B	48

1. INTRODUÇÃO

Na constante busca por qualidade e produtividade dentro da manufatura industrial, o avanço tecnológico tem auxiliado positivamente nos setores produtivos industriais. A partir de sua aplicação, é possível obter um melhor aproveitamento de recursos físicos e humanos, resultando em melhor desempenho e lucratividade das empresas que investem em novos avanços tecnológicos. Assim, nesse ambiente competitivo a capacidade de inovar tornou-se essencial.

Exemplificando o uso de uma tecnologia que aprimora a manufatura, pode-se citar o uso do *Pick-to-Light (siga a luz)*, modelo *Smart Bin*, da empresa *Speastech* (Speastech, 2014). Neste, o operador insere as peças de montagem do produto e programa qual circuito deseja montar, e a medida que o operador insere as mãos para retirar a peça sensores de presença são acionados, fazendo com que seja acionado o led do compartimento seguinte. Assim, têm-se a indicação da correta sequência de montagem que o operador deve seguir, sendo esta previamente programada. Caso o operador tente retirar a peça errada, o equipamento emite um alarme sonoro e aciona intermitentemente, por alguns segundos, o led do compartimento correto.

Algumas empresas da região fazem o uso do mesmo, sendo que uma delas utiliza o equipamento para aperfeiçoar a mão de obra dentro do processo produtivo. Nesta empresa, em sua linha de montagem de circuitos de ar condicionados, um operador fica responsável pelo encaixe manual e testes dos componentes previamente fabricados, de forma a montar o circuito final que será revendido às empresas automotivas. Essa linha de montagem é composta por até seis peças dentro de cada compartimento da linha de produção. Nesta, é possível a montagem de três tipos de circuitos de ar condicionados, onde a ordem de montagem de cada produto varia conforme o circuito produzido. Para evitar erros de operação e melhorar o processo de montagem, foi adotado o sistema *Smart Bin*.

Este sistema *Smart Bin* utiliza uma placa de controle para programação e gerenciamento da sequência de operação, bem como o sistema de alarme e sinalização. Porém, esta placa de controle costuma apresentar problemas de operação, devido a oscilações que ocorrem na rede elétrica de alimentação. Em muitos casos, tais oscilações resultam na avaria desta placa de controle, sendo necessário a substituição, por se tratar de uma placa blindada que não permite

manutenção. Porém, a aquisição desta placa é de custo relativamente elevado (em torno de 20% do valor total do sistema *Smart Bin*), além de ser um produto fabricado em outro país, sendo necessária a importação desta placa. Isto resulta também em gastos com tarifas de importação, bem como a demora para reposição da mesma. Desta forma, verifica-se que a avaria desta placa de controle ocasiona gastos ao sistema produtivo da empresa, bem como uma para temporário.

Portanto, este trabalho apresenta desenvolvimento de uma placa de controle, a ser utilizada em um sistema *Smart Bin*. Esta placa de controle é implementada utilizando um microcontrolador PIC16F877A (Microchip, 2003), sendo este um hardware de custo baixo e fácil aquisição. Este é programado utilizando a linguagem C de programação, devido sua facilidade de programação.

O desenvolvimento do projeto desta placa de controle é apresentado, bem como o programa desenvolvido em linguagem C. Também é apresentada as simulações computacionais desta placa de controle.

1.1 TEMA DA PESQUISA

Desenvolvimento de uma placa eletrônica de controle da máquina de montagem sequencial (*Smart Bin*). A placa desenvolvida nesse projeto utilizará um microcontrolador PIC 16F877A.

1.1.1 Delimitação do Tema

Visando a redução de custos, redução do tempo de parada do equipamento e do processo, e também o cancelamento do processo de compra via importação da placa de controle, constata-se que pode-se desenvolver outra placa eletrônica de controle, utilizando componentes encontrados em fornecedores nacionais, minimizando tais problemas citados acima. A placa a desenvolvida utiliza um PIC 16F877A, a ser programado em Linguagem C.

O programa é desenvolvido abrangendo as funções originais de operação do sistema *Smart Bin*. Entre elas a função principal que condiciona o operador a seguir a ordem correta de montagem, através de *leds* que indicam qual peça deverá ser utilizada naquele determinado ponto de montagem. Alertar o operador com um sinal sonoro que o mesmo inverteu a ordem de montagem, e piscar intermitentemente o led que indica qual peça é a correta para a sequência de montagem. Deverá permitir também que o operador selecione, através de uma chave, o modo programar e neste gravar a sequencia indicada pelo operador.

1.2 PROBLEMA

A placa eletrônica de controle da *Smart Bin* é uma peça de fabricação Norte Americana, portanto possui um alto custo de importação, além da questão logística, pois o prazo mínimo para chegada da peça é de algumas semanas. Esses fatos podem ocasionar atrasos na linha de produção e gastos excessivos da manutenção. Esses fatores geram a necessidade de buscar novas soluções e diminuir os problemas citados.

1.3 PREMISSA

Com o desenvolvimento de uma placa de fácil fabricação e com componentes amplamente disponíveis no comércio regional, acredita-se que o tempo de manutenção será bastante reduzido, bem como o custo da construção desta placa de controle.

1.4 OBJETIVOS

Buscando expor e delimitar os alvos pretendidos com a realização desse projeto, divide-se os objetivos em: Objetivo Geral; Objetivos Específicos.

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma placa de controle para o equipamento de montagem sequencial *Smart Bin*, utilizando o PIC16F877A.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Levantar a bibliografia sobre microcontroladores;
- Levantar a bibliografia sobre Programação em Linguagem C;
- Realizar o levantamento dos componentes necessários para montagem da placa incluindo o PIC 16F877A;
- Desenvolver o programa para o funcionamento do PIC 16F877A (utilizando linguagem de programação: LINGUAGEM C);
- Efetuar o levantamento dos possíveis componentes de hardware (sensores e atuadores);
- Realizar simulações via softwares, através da montagem de um sistema similar ao do equipamento *Smart Bin*;

1.5 JUSTIFICATIVA

Redução de custos para a manutenção de equipamentos *Smart Bin*, aumentando a disponibilidade das máquinas, permitindo a própria confecção da placa facilitando a compra e estocagem de peças de reposição.

1.6 MÉTODO DA PESQUISA

Este projeto constará de uma pesquisa aplicada com o propósito de solucionar um problema específico de manutenção da máquina.

No processo de pesquisa haverá busca por informações junto a profissionais, artigos, livros, e obras já publicadas.

Serão realizados testes via softwares, para garantir que ao ser implementado apresente as mesmas funcionalidades do sistema original. Após realizações de testes e simulações com resultados positivos, o sistema poderá ser implantado no processo de produção.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 SEQUENCIADOR SMART BIN

O sequenciador *Smart Bin* utilizado é um equipamento da *Speastech*, do sistema *Pick-to-Light* (Speastech, 2014), esse modelo em questão é composto de seis compartimentos e permite a programação de qualquer sequência de operação, além de ativar a reprodução dessa através da comutação de uma chave. Utiliza sensores infravermelhos para detecção da realização do passo e *leds* para informar o passo a ser realizado.

Esse sistema é portátil, permitindo assim a operação do mesmo em varias situações e diferentes lugares de trabalho. Cada um dos seis compartimentos (Bin) tem dimensões de: 12,8 cm de altura; 17,15 cm de largura; 25,5 cm de profundidade, tornando esse sistema ideal para montagens de *kits* de pequenas peças. A Figura 1 mostra a foto do sistema *Smart Bin*.

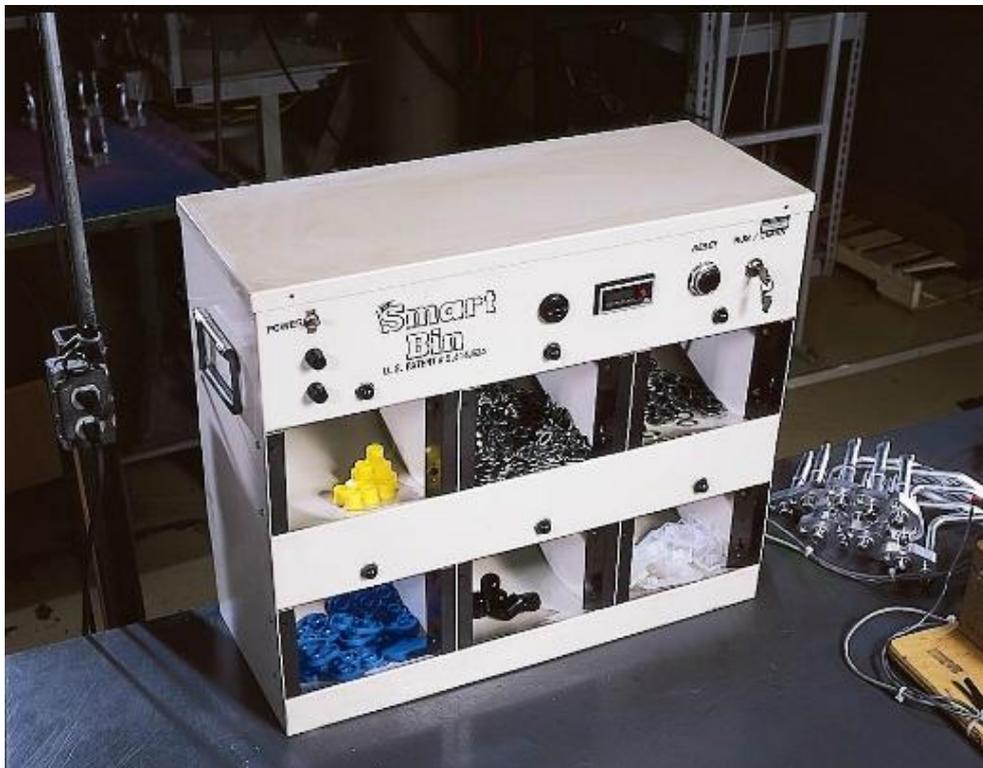


Figura 1: Pick-to-Light / Sistema Smart Bin

Fonte: SPEASTECH, 2014.

A implementação de um sistema *Pick-to-Light* é justificada pela facilidade de programação e operação, bem como a redução de trabalho do operador e a certeza de condicionar o mesmo a realizar o processo de maneira correta, reduzindo assim custos e tempo de treinamento do operador. Além dessas vantagens, permite monitorar a produtividade de cada operador, pois dispõem de alarme sonoro que indica erros no processo e um contador embutido que indica a quantidade de sequencias executadas por ele.

Pode-se exemplificar seu uso em um circuito de montagem de parte do sistema do ar condicionado automotivo, onde são inseridas as peças utilizadas, nesse componente, no sistema *Smart Bin* e o operador programa a sequencia em que essas peças serão utilizadas e montadas no componente desse sistema de ar condicionada. Essas peças são buchas, presilhas, entre outras.

2.1.1 Visão Geral

À primeira vista tem-se expostos alguns dos componentes que compõem o sistema *Smart Bin*. Na figura 2 podemos visualizar a composição geral do *hardware* do *Smart Bin*.

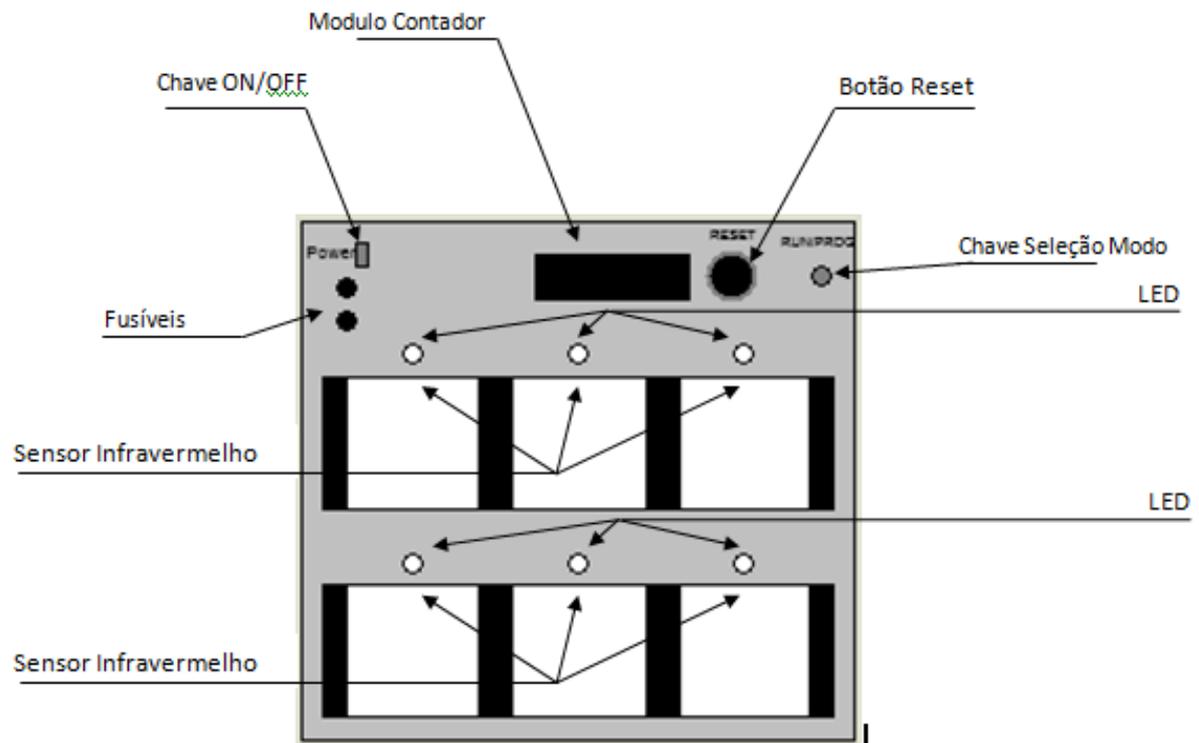


Figura 2: Diagrama *Pick-to-Light* / Sistema *Smart Bin*.

Fonte: Autoria Própria

- **Chave On/Off:** Acionamento do equipamento;
- **Fusíveis:** Dispositivos de proteção do equipamento;
- **Modulo Contador:** Modulo Contador de Pulsos;
- **Botão Reset:** Retorna ao passo, no qual o operador executou a sequencia incorreta;
- **Chave Seleção Modo:** Chave de acionamento de posição:
 - **Run:** Executar Sequencia gravada;
 - **Prog:** Permitir gravar uma nova sequencia.
- **LED:** (LED SINALIZADOR) Indica qual o compartimento corresponde a cada passo da sequencia;
- **Sensor Infravermelho:** Realiza a detecção da execução do passo em cada compartimento;

Temos ainda como componente importante o sistema de alarme sonoro, que pode ser verificado apenas ao remover a tampa do equipamento.

2.1.2 Descrição de Funcionamento e Operação

A *Smart Bin* é destinada a condicionar o operador a cumprir uma sequência de montagem ou seleção de peças e pode ser aplicada à montagem de equipamentos e a um simples processo de seleção de peças. Os componentes e peças são inseridas nos compartimentos da *Smart Bin* e o operador deve realizar a gravação de uma sequência na qual as essas peças serão retiradas e utilizadas, para isso deve colocar a chave de seleção no modo PROG (Programar).

O equipamento é um sequenciador que permite programar a sequência no próprio módulo, realizando os mesmos passos que serão realizados para a montagem. Como citado anteriormente, cada compartimento tem um sensor, para detectar a inserção da mão e um led para indicar o passo da sequência gravada.

2.1.2.1 Modo Operação

Ao ligar o equipamento ou retornar a chave de seleção para posição operação o equipamento roda a última sequência gravada, acendendo o led correspondente ao compartimento do primeiro passo e permanece assim até que o operador insira e retire a mão do compartimento correspondente, a partir daí acende-se o led do compartimento do segundo passo e assim sucessivamente.

Caso em algum momento o operador insira a mão em um compartimento fora da sequência (com o led apagado) é acionado o alarme, que ao ser disparado executa os seguintes processos: Ativa o alarme sonoro; Pisca de maneira intermitente o led do compartimento do passo que deveria ser realizado.

O alarme é interrompido quando o operador pressiona o botão reset ou insere a mão no compartimento correto (led piscando). Caso seja pressionado o botão reset o programa retorna ao passo que estava, desligando o alarme sonoro e também acendendo de maneira fixa o led que estava piscando, caso o operador opte por inserir a mão no compartimento correto, ele realizara esse passo e o programa avança para o próximo passo.

Realizado todos os passos programados é incrementado um número ao contador (através do envio de um pulso para o mesmo).

2.1.2.2 Modo Programação

Para programar a sequência de operação o responsável deve inserir os componentes da montagem (parafusos, buchas, porcas, etc) nos compartimentos da *Smart Bin* e virar a chave de seleção até o modo programação. No modo programação o equipamento apaga a memória anterior e o operador deve inserir a mão nos compartimentos na sequência de utilização dos componentes, podendo repetir um mesmo passo (compartimento) em sequência quantas vezes necessárias. Realizado todos os passos necessários para sua operação, retornasse a chave de seleção para o modo operação, nesse momento a programação é gravada na memória do PIC e não se apaga até que a chave de seleção volte ao modo programação, mesmo que o equipamento seja desligado.

2.2 MICROCONTROLADOR PIC

Para uma melhor eficiência no processamento de dados, começou a se utilizar microprocessadores em computadores. A precursora no seguimento, a Intel desenvolveu microprocessadores nos anos da década de 70 e a partir desse momento micro componentes começaram a ser desenvolvidos e utilizados procurando reduzir circuitos a um único componente.

Com base na arquitetura de um microprocessador e seus periféricos, surgiram os microcontroladores que comportavam todo um sistema equivalente a um microprocessador e seus periféricos, o diferencial de um microcontrolador em relação a um computador é que o microcontrolador processa um único programa com propósito específico, e que este programa fica armazenado na memória específica de programa (PEREIRA, 2007).

No início da década de 90 ocorre à fundação da: *Microchip*, que desenvolve os microcontroladores PIC (*Peripheral Interface Controller*), e tinha intuito de conseguir um microcontrolador barato, pequeno e prático.

Pelo fato de efetuar tarefas específicas, a *Microchip* possui uma variedade muito grande de microcontroladores da série PIC no mercado, diferenciando-se pelo número de entradas e saídas, pelos recursos de periféricos do dispositivo e pelo meio de comunicação que ele disponibiliza para com outros equipamentos.

Os microcontroladores são *chips* que consistem num circuito processador que possui entradas saídas lógicas e analógicas, unidade lógica de processamento (CPU), memórias, dentre outros. Para desenvolver algum projeto com microcontroladores PIC, faz-se necessário programar o mesmo para que ele faça o que é desejado (BRAGA, 2010).

Os dois modelos de memórias disponíveis para os microcontroladores são as memórias de programa: as memórias voláteis, que tem como função armazenar o software a ser executado; e a memória de dados é onde são armazenados os dados a serem processados pelo computador, é uma memória do tipo RAM.

Os microcontroladores são divididos em família, cada família tem vários componentes com tamanhos e recursos diferentes. Um exemplo são os PIC da família de microcontroladores PIC16 um integrante do segmento de médio porte com frequência máxima de *clock* de 20 MHz e podem possuir recursos importantes como conversores A/D de 10 bits, temporizadores, interrupções externas e *watchdog*.

2.2.1 Memórias

Como dito as memórias presentes nos microcontroladores apresentam diferenças, os dois tipos de memórias: memória de programa e memória de dados.

2.2.1.1 Memória de Programa

As memórias de programa armazenam o programa a ser executado (*software*), mantendo o programa gravado mesmo em situações de retirada da alimentação do sistema, podendo dessa forma desligar o sistema, remover o *chip* e realocar o mesmo em outros sistemas, sem a necessidade de realizar a programação novamente. Por esse motivo é utilizado memórias do tipo ROM, *Flash*, OTP, e EPROM.

Segundo (PEREIRA, 2005) a memória de programa é mapeada de forma que cada endereço tenha 8 *bits*, porém as instruções armazenadas na memória de programa tem 16 ou 32 *bits*, assim cada instrução ocupa dois endereços de memória e o contador de programa ao ser executado incrementa de dois em dois endereços e

pelo fato do barramento de instrução conter 16 *bits* a leitura dos dois endereços é simultânea, formando uma instrução de 16 *bits* (instruções curtas) ou 32 *bits* (instruções longas).

2.2.1.2 Memória de Dados

Destinada para dados de processamento de informações que são armazenadas apenas para execução do programa e apagadas sempre que não ocorrer a necessidade do uso da mesma.

Memória de dados é onde são armazenados os dados a serem processados pelo computador, como é constantemente alterada a memória utilizada é do tipo RAM, sendo uma memória volátil, ou seja, quando a alimentação dela é cortada os dados são perdidos (ADRIANO; MARÇANO, 2009).

2.2.2 Arquitetura do PIC

A empresa Microchip utiliza dois tipos de arquiteturas nos seus chips, a RISC e a Harvard, na primeira o microcontrolador faz tudo usando poucas instruções básicas, pois cada instrução pode ser executada em apenas um ciclo do *clock*, na arquitetura Harvard segundo (BORGES; PAIVA; PIEDADE, 2008), a leitura pode ser feita ao mesmo tempo em que as instruções são executadas, o sistema fica o tempo todo executando instruções que acarreta em um ganho significativo de velocidade, enquanto uma instrução é executada a seguinte já está sendo lida.

2.3 LINGUAGEM DE PROGRAMAÇÃO

A linguagem de programação é um conjunto padrão de instruções que o sistema é capaz de reconhecer. Com o tempo houve um grande avanço dentro das técnicas e linguagens utilizadas na programação. Foram desenvolvidos vários métodos e diversas linguagens de forma a tornar as linguagens de programação de controladores lógicos programáveis mais simples e flexíveis.

Para a programação de Microcontroladores PIC podemos citar as linguagens: *Assembly*, a Linguagem C, Pascal, *Basic* e *Java*.

2.3.1 Linguagem de Programação Assembly

O desenvolvimento de programa nesta linguagem eleva o tempo e o custo de criação de uma aplicação, devido ser uma linguagem de baixo nível, ou seja, seus comandos são muito próximos da linguagem de máquina e conseqüentemente mais complexos. No entanto, os programas em *Assembly* são muito eficientes, devido à proximidade com o *hardware* do microcontrolador, sendo muito mais rápidos que os programas feitos em outras linguagens.

Segundo (PEREIRA, 2005), a linguagem *Assembly* é uma forma de representação de código de máquina usando mnemônicos, ou seja, abreviações de termos usuais que descrevem a operação efetuada pelo código de máquina. A conversão dos mnemônicos em códigos binários executáveis pela máquina é feita por um tipo de programa chamado *Assembler* (montador).

Alguns modelos da série PIC16 e grande parte das famílias anteriores a ela utilizavam apenas programas feitos nessa linguagem.

2.3.2 Linguagem de Programação C

A linguagem de programação C mais utilizada em microcontroladores nos dias atuais foi criada em 1972, por Dennis Ritchie, ela consiste em uma linguagem de programação genérica desenvolvida para ser eficiente, rápida, bem estruturada e lógica (PEREIRA, 2007).

É considerada uma linguagem de baixo nível reduzindo assim o tempo e em decorrência os custos relacionados à programação, o programador pode então focar no programa em si e deixar o compilador realizar tarefas mais complicadas, como cita (PEREIRA, 2005), o compilador cuida das tarefas como o controle e localização das variáveis, operações matemáticas e lógicas, verificação de banco de memórias, etc.

2.4 SENSORES

Segundo Werneck (1996) um transdutor é um sistema que transforma duas formas de energia para fins de medida. Ele mede uma forma de energia que está relacionada a outra através de uma relação conhecida. O sensor por outro lado, é apenas a parte sensitiva do transdutor.

Os sensores geralmente são aplicados para a contagem, verificação de posição e seleção entre dimensões diferentes de peças, entre outras aplicações.

Basicamente os sensores ópticos são compostos por um emissor de luz, e o receptor de luz que é um componente eletrônico que conjunto a um circuito detecta a variação de luz. Podem ser divididos em três classes: sistema por barreira, sistema por difusão e sistema por reflexão.

No sistema de barreiras o transmissor e o receptor estão em unidades distintas e deveram ser dispostos em frente ao outro, para recebe constantemente a luz do transmissor. O acionamento da saída ocorre quando um objeto interrompe o feixe de luz.

Já no sistema por difusão o transmissor e o receptor são montados na mesma unidade. Sendo que o acionamento da saída ocorre quando o objeto a ser detectado entra na região de sensibilidade e reflete para o receptor o feixe de luz emitido pelo transmissor.

O sistema reflexivo tem o transmissor e o receptor em uma única unidade. Após ser refletido por um espelho prismático o feixe de luz chega ao receptor, e o sinal de saída ocorre quando o objeto interromper este feixe.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Neste capítulo são apresentadas as atividades desenvolvidas na elaboração da placa de controle do equipamento *Pick-to-Light* para o sistema *Smart Bin* com seis compartimentos.

3.1 DADOS LEVANTADOS

Inicialmente foi realizado o levantamento dos dados referentes ao equipamento *Smart Bin*, através de pesquisas, consulta ao manual e verificação de operação no setor produtivo industrial.

Com base nessas informações, foi possível verificar as principais funções e dispositivos presentes no mesmo, quais as entradas e saídas necessárias na placa de controle, de modo a elaborar a Tabela 1. Esta abrange todos os componentes de hardware e as principais informações necessárias referentes aos mesmos, para elaboração do projeto.

Tabela 1: Descritivo dos componentes de entrada e saída da placa

	Qty	Componentes	Vdc de operação	Observações
ENTRADAS	6	Sensores Infravermelhos	0 / 24 Vdc	Ativo = 0 Vdc Inativo = 24 Vdc
	1	Botão Reset	0 / 24 Vdc	Ativo = 24 Vdc Inativo = 0 Vdc
	1	Chave Seleção RUN / PROG	0 / 24 Vdc	PROG = 24 Vdc RUN = 0 Vdc
SAÍDAS	6	LEDs Sinalizadores	0 / 24 Vdc	Aceso = 24 Vdc Apagado = 0 Vdc
	1	Alarme Sonoro	0 / 24 Vdc	Ativo = 24 Vdc Inativo = 0 Vdc
	1	Contador de Pulsos	24 Vdc	Incrementa ao pulso

Fonte: Autoria Própria

3.1.1 Sistema de Sensor Ultravermelho

O sistema *Smart Bin* fornecido vem com unidades desenvolvidas especificamente para o equipamento, com sensores infravermelhos, conforme mostra a Figura 3. Cada compartimento conta com uma unidade (placa) que mantém o sinal de tensão ativo em 24 Vcc até a detecção da inserção da mão no compartimento, quando muda o estado para o valor de tensão de 0Vcc.

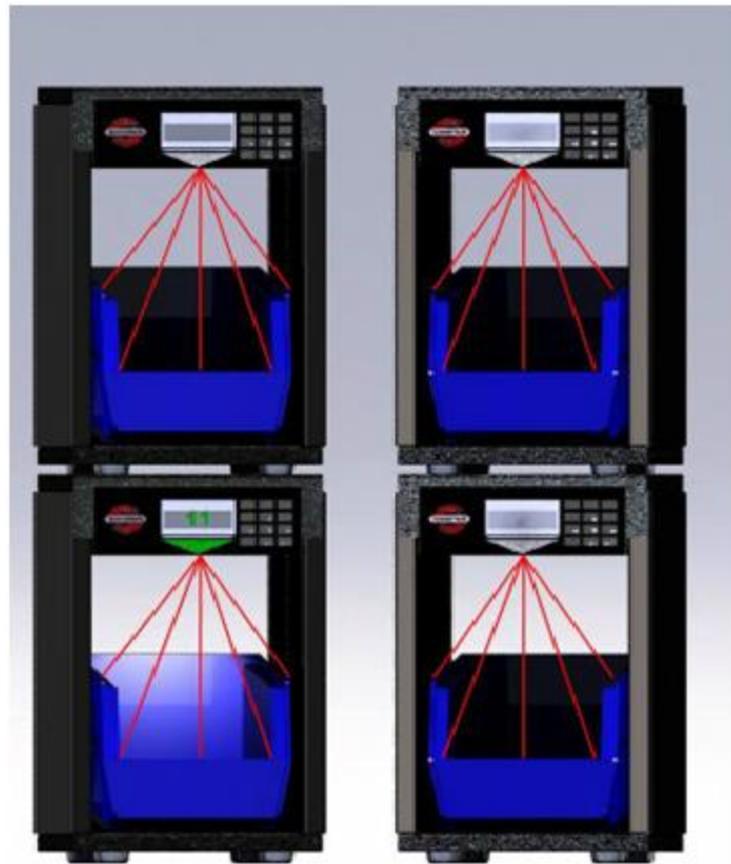


Figura 3: Funcionamento Sistema Sensor

Fonte: SPEASTECH, 2014.

3.1.2 LEDs Sinalizadores

O equipamento utiliza *LEDs* para indicar cada compartimento, sendo estes *LEDs* acionados através de tensão de 24 Vcc.

3.1.3 Alarme Sonoro

O equipamento conta com um sistema desenvolvido pela *Speastech* que emite um bipe contínuo sempre que o alarme está acionado, para seu funcionamento é necessário o envio de sinal de tensão de 24 Vcc quando o alarme estive acionado.

3.1.4 Contador de Pulso

Compõem o equipamento uma unidade contadora de pulsos (Figura 3), que incrementa uma unidade de valor sempre que recebe o pulso, conforme o funcionamento do *Smart Bin*, esse pulso é emitido sempre que se conclui uma sequência programada. O contador de pulso conta ainda com um botão de reset manual, e para manter o padrão do equipamento os pulsos emitidos devem ser de 24 Vcc.



Figura 4: Contador de Pulsos

Fonte: UTEFA, 2014.

3.2 SISTEMA PROPOSTO

Com as informações obtidas, optou-se por desenvolver um diagrama de funcionamento da placa de controle, conforme diagrama de blocos mostrado na Figura 5.

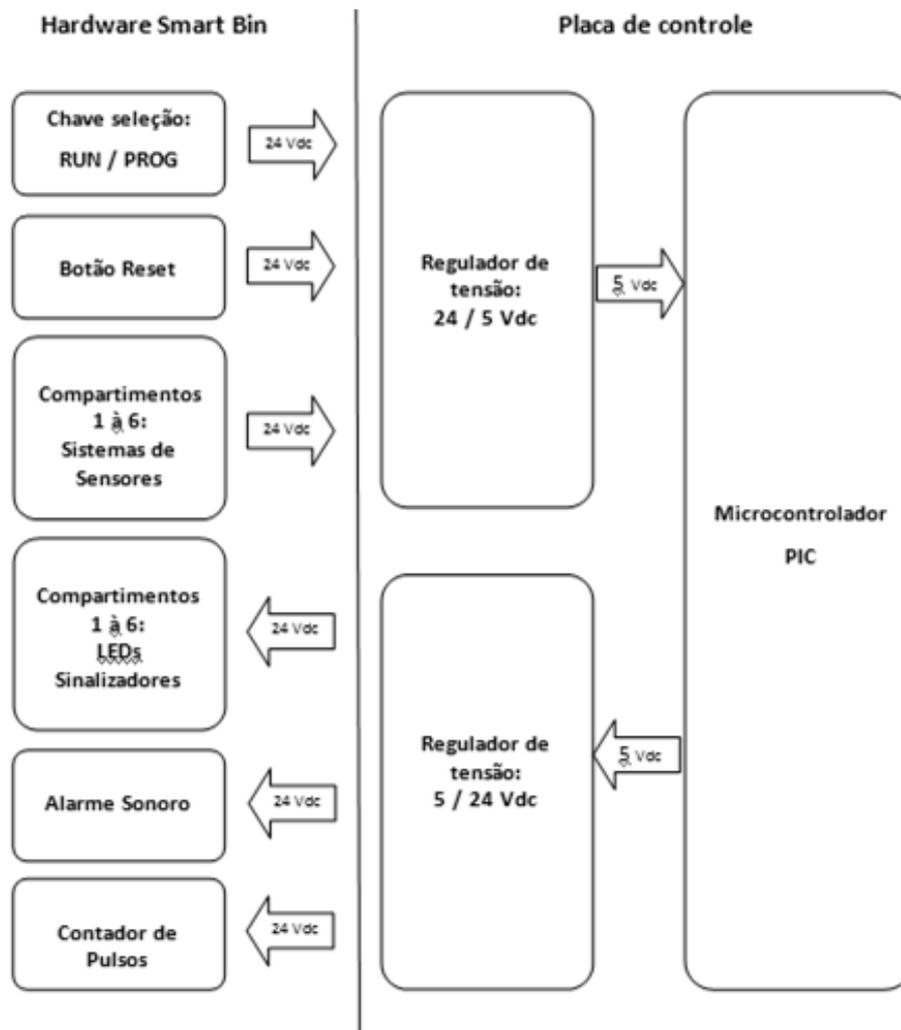


Figura 5: Diagrama do Sistema

Fonte: Autoria Própria

Observando a Figura 5, pode-se verificar a necessidade do desenvolvimento da placa de controle com reguladores de tensão, já que os componentes do *Smart Bin* trabalham com tensão de 24 Vcc.

A placa de controle utilizara o circuito integrado ULN2803 (Texas Instruments, 2014), que atua como *drive* de corrente, fornecendo os níveis de tensão/corrente necessários para o acionamento dos *LEDs*, alarme sonoro e contador de pulsos.

Para adequar os níveis de tensão de funcionamento do PIC e entradas a opção é o circuito integrado LM7805, da serie LM78xx. A utilização desse componente garante que a tensão nas entradas do PIC seja mantida entre 4,8 e 5,3 Vcc.

O controle lógico do equipamento, definição de prioridades, processamento de dados de entrada e acionamentos é feita através da programação do microcontrolador PIC16F877A.

3.3 MICROCONTROLADOR PIC16F877A

A família PIC16 é uma das famílias de microcontroladores mais utilizadas (Microchip, 2013), composta por microcontroladores de 8 bits. Possui várias subfamílias que se diferem pela quantidade de memória RAM, de memória EEPROM (que pode ser apagada através de luz ultra violeta), memória Flash (eletricamente apagada, de acesso para leitura rápida), numero de pinos (que pode ser 18, 28, 40,etc.), frequência máxima de *clock* e periféricos, que são dados fornecidos no *datasheet* de cada componente.

A escolha do microcontrolador PIC16F877A deve-se ao fato deste possuir um numero de portas de entrada/saída que atendem a necessidade do sistema, permitindo também o desenvolvimento futuro de um sistema *Smart Bin* com um maior numero compartimentos. Outro fator é a satisfatória velocidade de processamento e capacidade de memória, além de apresentar um baixo custo de aquisição e facilidade de programação. Podemos ainda citar o fato de o microprocessador estar disponível em grande maioria de *software* de simulação e também disponível para compra em lojas da cidade.

A Figura 6 mostra um diagrama de pinagem do PIC16F877A, e as principais especificações desse microcontrolador são listadas abaixo:

- Velocidade de processamento de 5 MIPS;
- Frequência de *clock* de 20 MHz;
- Utiliza memória flash;
- Alimentação que pode variar de 2Vdc a 5,5Vdc;
- 33 pinos configuráveis I/O (entradas/saídas);

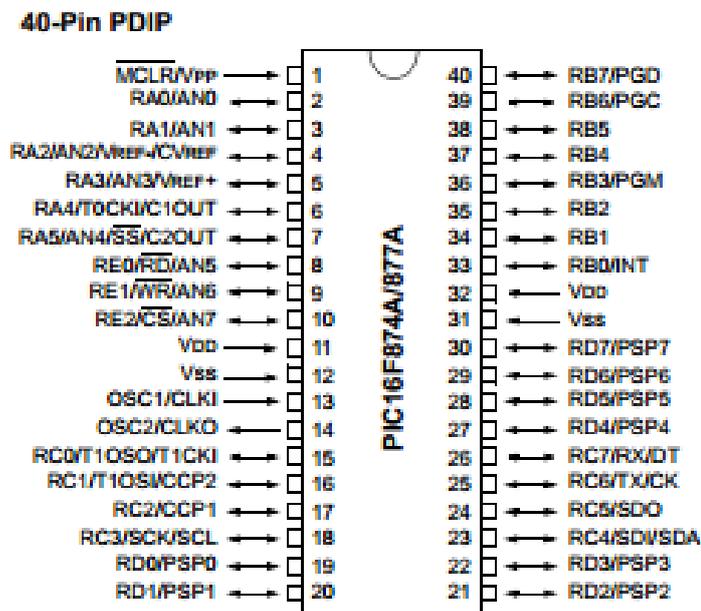


Figura 6: Diagrama de pinos do PIC16F877A.

Fonte: Microchip, 2003.

3.4 DRIVE DE ALTA TENSÃO ULN2803

O circuito integrado (CI) ULN2803 é utilizado para fornecer a relação tensão/corrente necessária ao acionamento dos componentes do sistema Smart Bin, entre eles *LEDs* sinalizadores, dispositivo contador de pulso e de alarme sonoro.

O CI possui oito (8) entradas que controlam o mesmo número de saídas, e é a principal característica que levou a sua escolha, pois o sistema necessita do mesmo número de saídas. Ele trabalha ainda com correntes de 500mA e suporta tensões de 50V. A Figura 7 mostra o diagrama elétrico deste CI.

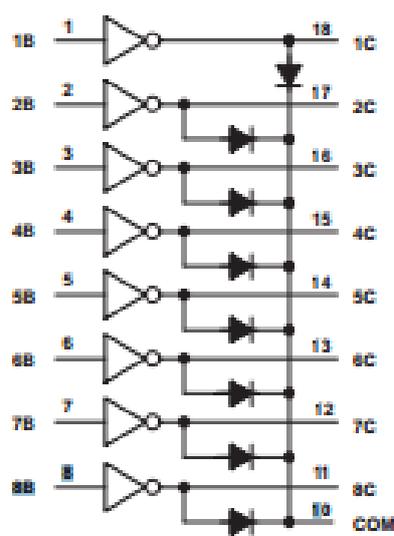


Figura 7: Diagrama Lógico do ULN2803.

Fonte: Texas Instruments, 2014.

3.5 REGULADOR DE TENSÃO LM7805

Segundo (BRAGA, 2014), os reguladores de tensão na forma de circuitos integrados de três terminais são quase que obrigatórios em projetos de fontes de alimentação para circuitos de pequena e média potência. Os tipos da série 7800 que podem fornecer tensões de 5 a 24 volts tipicamente com corrente de 1 ampere são extremamente atraentes para projetos.

O CI que melhor atende e escolhido para o desenvolvimento da placa é o que regula a tensão de saída em 5 volts e suporta em sua entrada tensões de até 25 volts, gerando uma margem de segurança para o projeto.

4 DESENVOLVIMENTO DA PLACA

Levantados os dados de funcionamento e componentes necessários para integrar a placa de controle ao equipamento *Pick-to-Light*, o processo de desenvolvimento da placa se dividiu em duas etapas:

- Etapa 1: desenvolvimento do programa e simulações;
- Etapa 2: desenvolvimento do circuito eletrônico da placa;

4.1 DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA E SIMULAÇÕES

Como passo inicial para o desenvolvimento do programa foi montado um circuito semelhante ao sistema do *Smart Bin*, utilizando o *software* de simulação Proteus: uma suíte que agrega o ambiente de simulação para circuitos eletrônicos ISIS e o programa de desenho de circuito ARES PROFESSIONAL.

Através da utilização da plataforma ISIS foi desenvolvida a primeira tela de simulação (Figura 8), onde os *LEDs* sinalizadores foram reproduzidos e os Sensores Infravermelhos foram representados por botões. Também é definido a correspondência de pinos do PIC16F877A com o circuito do *hardware* do sistema *Smart Bin*, assim definido:

- Pinos 33 a 38: Saída *LEDs* de sinalização;
- Pinos 19 a 22 e 27 – 28: Entrada Sensores;
- Pino 39: Saída para Elemento Gerador de Pulso;
- Pino 40: Saída para Elemento Alarme Sonoro;
- Pino 29: Entrada Chave Seleção Modo RUN/PROG;
- Pino 30: Entrada Botoeira Reset.

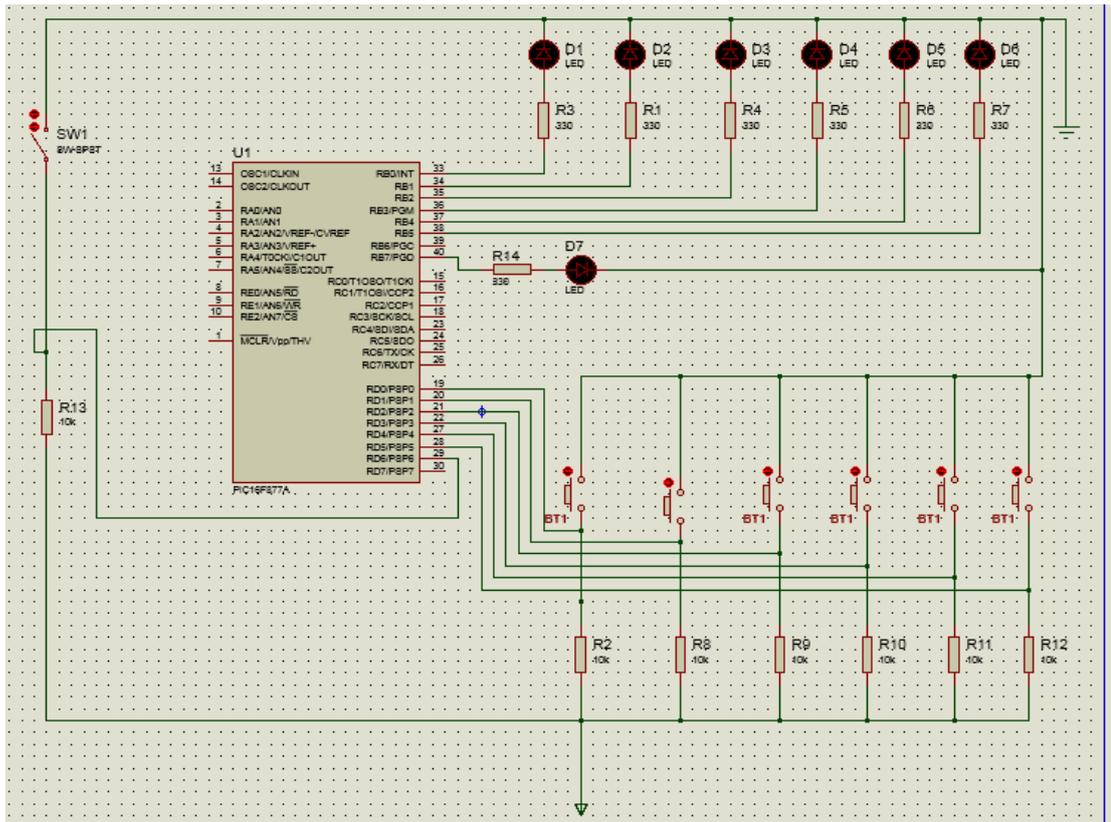


Figura 8: Tela de Simulação Inicial

Fonte: Autoria Própria

A programação do microcontrolador foi realizada em linguagem C, utilizando o programa MikroC Pro for PIC (MICROELEKTRONIKA). As vantagens para a utilização desse programa foram o vasto numero de bibliotecas encontradas, além de pesquisa e apostila de referencia disponível na internet, facilitando assim a programação em linguagem de alto nível.

Para realizar a programação foram definidos os parâmetros iniciais, onde foram definidos: PORTB como saída; PORTD como entrada. Como primeiro passo foi desenvolvido a parte inicial do programa, que corresponde a reproduzir o mesmo processo que o sistema Smart Bin apresenta ao ser iniciado (ligado), esse é um simples processo de sequencial que aciona os *LEDs* Sinalizadores por alguns milissegundos, iniciando no compartimento um, dois, e assim sucessivamente até que no ultimo passo aciona o alarme sonoro pelo mesmo período de tempo. O desenvolvimento dessa etapa fez-se necessário para manter-se fiel ao programa original e funcionou como teste para o circuito montado no simulador.

Realizado o teste inicial, foi desenvolvido um fluxograma de maneira a auxiliar o desenvolvimento do programa,, como podemos ver na figura 9.

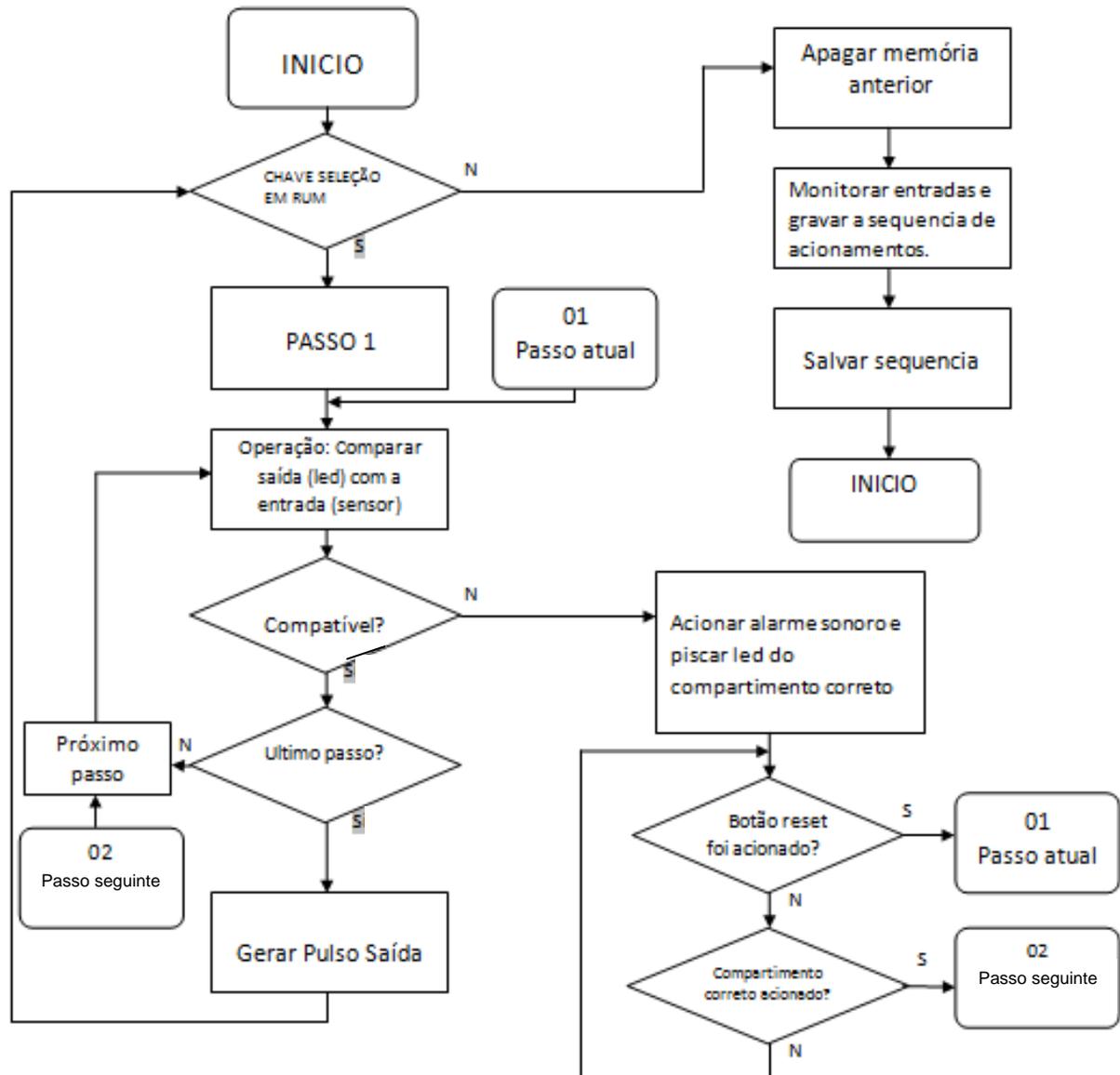


Figura 9: Fluxograma para Programação do PIC.

Fonte: Autoria Própria.

Com o desenvolvimento do fluxograma notou-se a necessidade de desenvolver o programa em quatro etapas (partes):

- 1ª: Monitorar Chave de seleção (PORTD6);
- 2ª: Permitir Programar a Sequencia (passos) de Operação;
- 3ª: Rodar a sequencia (passos) programada e monitorar compatibilidade entre saída e entrada referentes a cada compartimento;
- 4ª: Habilitar e Desabilitar Alarme;

Cada parte do programa foi integrada, de maneira que a Primeira Etapa corresponde ao programa principal, e direciona o programa para a Segunda Etapa (Chave de seleção na posição PROG) e Terceira Etapa (Chave de seleção na posição RUN).

Na Segunda Etapa o programa monitora entradas dos sensores (PORTD 0 a 5) e ao notar qualquer mudança de estado, em qualquer sensor, gera um valor binário equivalente à leitura na PORTD 0 a 5, salvando esse valor e incrementando uma unidade ao contador. Existe uma associação entre o valor do contador e o valor salvo da PORTD 0 a 5, de maneira que cada unidade do contador corresponde a um valor na PORTD 0 a 5.

Na Terceira Etapa é reproduzido cada valor da PORTD 0 a 5 na PORTB 0 a 5, sequencialmente conforme cada unidade do contador avança, pois definido devido à associação feita, cada unidade do contador corresponde a um passo e um valor binário. Em paralelo é realizada a comparação entre o sensor do compartimento e o *LED* correspondente, se houver confirmação, chama-se o próximo passo, incrementando o contador. Caso um sensor de outro compartimento for acionado, é habilitado o processo de alarme (Quarta Etapa).

A Quarta Etapa aciona o Alarme Sonoro e pisca o *LED* do compartimento correto, e é interrompida caso o botão Reset for pressionado, retornando para a Terceira Etapa no momento em que essa parou, ou quando o sensor do compartimento correto for acionado, retornando para a terceira etapa no próximo passo a ser executado.

O programa foi testado inúmeras vezes enquanto foi desenvolvido e também após sua conclusão, onde todas as funções necessárias para o funcionamento do *Smart Bin* foram escritas. Para a conclusão dos testes houve a necessidade de aperfeiçoamento da tela de simulação, figura 10, buscando deixa-la

mais limpa e mais próxima do *hardware* do equipamento. Outra mudança foi à inserção de um contador de pulsos.

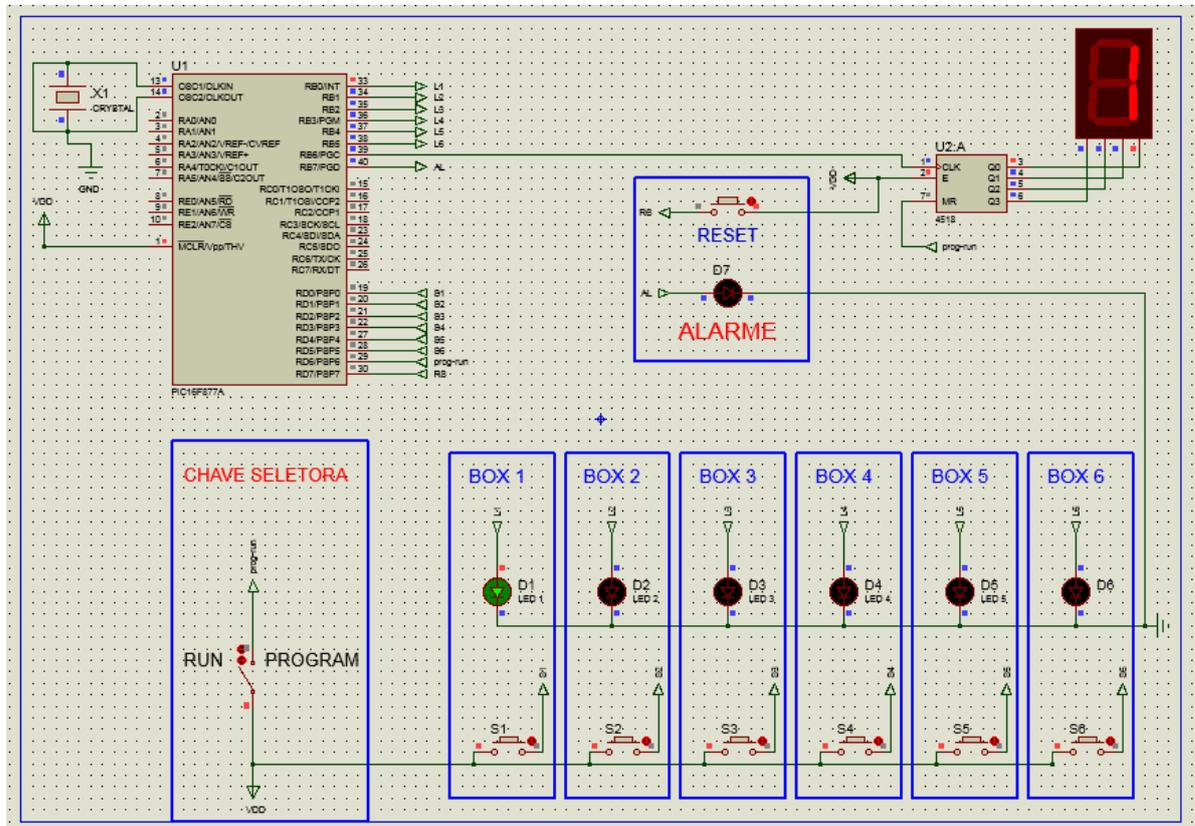


Figura 10: Tela de Simulação Final.

Fonte: Autoria Própria

Realizados todos os devidos testes, foi possível concluir o perfeito funcionamento do programa, foi elaborada uma segunda versão do programa apenas modificando o entendimento de nível lógico nos pinos correspondentes as entradas dos sensores, para que entendam o nível lógico zero como disparo, pois o *hardware* funciona dessa maneira.

4.2 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO DO CIRCUITO ELETRÔNICO DA PLACA

Com a conclusão do programa e o sucesso nas simulações realizadas, foi dado sequencia a próxima etapa do projeto, essa iniciou-se com o desenvolvimento

da fonte de alimentação para o PIC, desenvolvida com o regulador de tensão 7805 e a associação de capacitores entre o seu pino de entrada e saída com o terra, como pode-se observar na figura 11. Podemos observar na mesma figura o uso do regulador de tensão 7805 nas entradas correspondentes aos periféricos do sistema *Smart Bin*.

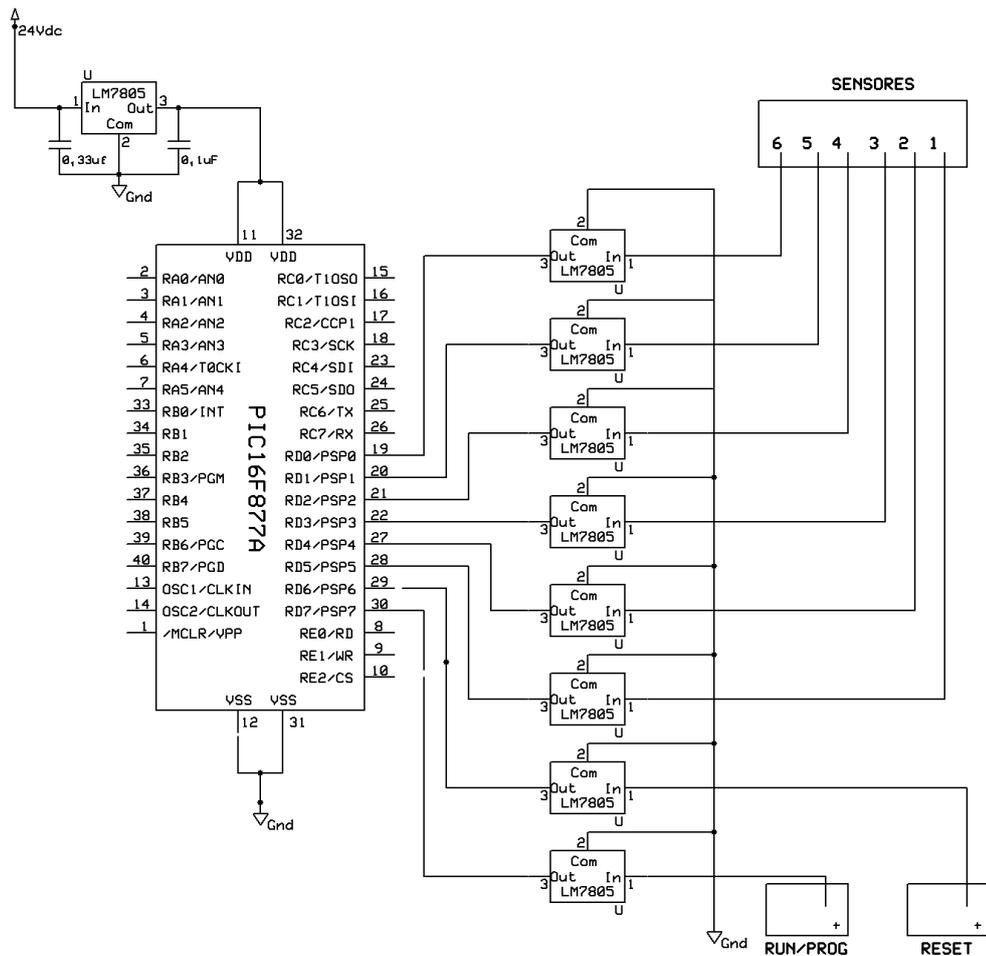


Figura 11: Diagrama Elétrico da Fonte e Entradas da Placa.

Fonte: Autoria Própria

Como dito, observa-se o uso do regulador de tensão LM7805 que fornece a tensão de 5 Vdc para todas as entradas do PIC, e a fonte que reduz a tensão disponível no *Smart Bin* (24 Vcc) para os mesmos 5 Vdc utilizados nas entradas. Podemos ver também que na fonte foi aplicado o uso do capacitor de 0,33µf entre o pino 1 do LM7805 e o terra, e o uso de um capacitor de 0,1µf entre o pino 3 do

No diagrama tem-se a ligação dos *LEDs* Sinalizadores dos compartimentos com o drive de potencia, utilizando resistores de 220 ohms para proteção do circuito entre eles. A ligação do ULN2803 as saídas do PIC e as saídas para o Modulo do Alarme Sonoro e para o Modulo Contador de Pulsos.

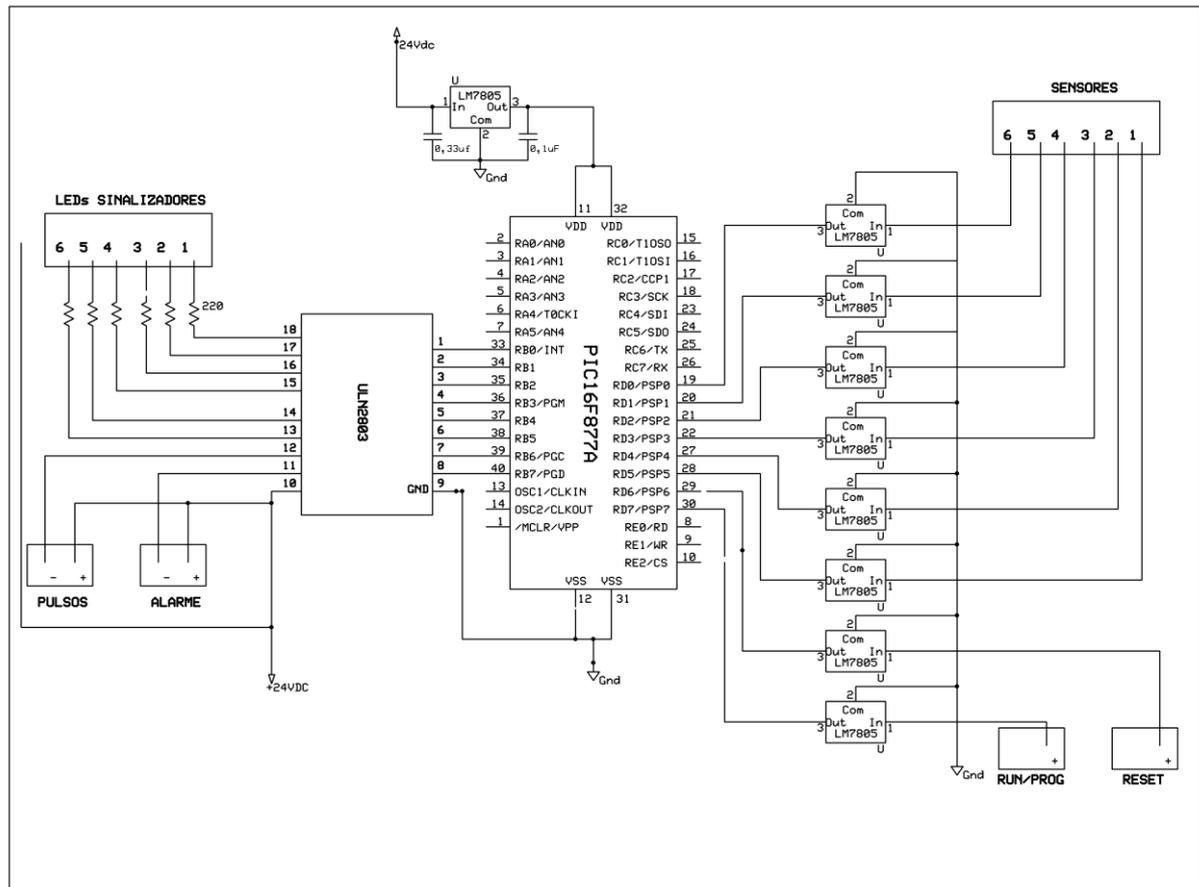


Figura13: Diagrama Elétrico Placa de Controle *Smart Bin*.

Fonte: Autoria Própria

Acima temos a figura 13, que representa o diagrama elétrico com entradas e saídas para a placa de controle do *Smart Bin*.

4.3 COMPONENTES GERAIS DA PLACA

Todos os componentes necessários para a fabricação da placa estão descritos na Tabela 2, onde pode-se encontrar a quantidade de cada componente e

seu valores. Verifica-se também o custo total para fabricação da mesma, sem o custo da mão de obra envolvida.

Tabela 2: Descritivo de custos da placa

Quantidade	Componente	R\$ unit	R\$ total
1	Placa de Circuito Impresso de fenolite 150 x 100 mm	R\$ 4,10	R\$ 4,10
1	Microcontrolador PIC16F877A	R\$ 15,80	R\$ 15,80
1	Cristal	R\$ 2,75	R\$ 2,75
1	CI ULN2803	R\$ 1,35	R\$ 1,35
9	CI LM7805	R\$ 1,10	R\$ 9,90
6	Resistor 220 - 2W	R\$ 0,25	R\$ 1,50
1	Capacitor 330nF	R\$ 0,15	R\$ 0,15
1	Capacitor Cerâmico 0,1 uF	R\$ 0,12	R\$ 0,12
17	Borne CBM 2 terminais	R\$ 0,87	R\$ 14,79
Valor Total (Materiais)		R\$	50,46

Fonte: Autoria Própria

4.4 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Ao longo do processo de desenvolvimento do trabalho, a elaboração do programa para o PIC 16F877A se mostrou a principal adversidade para a conclusão do projeto. O desenvolvimento do programa se apresentava como chave para a viabilidade do projeto, sua conclusão era fundamental para realizações de simulações e o sucesso das mesmas seria o ponto de partida para as próximas etapas.

A dificuldade em elaborar a programação para o microcontrolador, deu-se devido a definição inicial em se utilizar a linguagem de programação em C, na qual o autor tinha pouco domínio e não havia tido contato anteriormente. Descartou-se a hipótese da utilização da linguagem de programação *Assembly*, devido sua complexidade e maior tempo requerido para seu desenvolvimento. A partir disso o autor desenvolveu algumas atividades sugeridas pelo orientador do TCC, para obter habilidades suficientes para o uso da linguagem C.

Feito isso, o desenvolvimento do programa revelou um grau de dificuldade maior que o esperado, principalmente em achar a lógica que permite ao operador do *Smart Bin*, gravar a sequência de passos do processo, já que essa não é inserida no programa principal e sim no próprio equipamento *Pick-to-Light*. Buscando informações e exemplos de programas semelhantes, foi possível encontrar a solução para o problema e dar sequência no desenvolvimento do projeto, como citado no decorrer desse trabalho.

5 TRABALHOS FUTUROS

O desenvolvimento e fabricação da placa devem ser buscados como próximos objetivos e quando alcançados, a realização de testes de bancada e o implemento da placa fabricada no sistema *Smart Bin* dará conclusão a esse projeto.

Mas, a busca por novas tecnologias e inovações devem ser o alvo de qualquer projeto e para tanto, o desenvolvimento de um sistema semelhante ao *Smart Bin* e que apresente inovações e melhorias são os passos lógicos na sequencia de um novo projeto, baseado e com o ponto inicial na conclusão deste.

Pode-se apresentar melhorias no sistema, como a criação de um sistema que permita a contagem de peças retiradas de cada compartimento do *Smart Bin* e também um dispositivo que disponibilize ao operador o numero suficiente de peças, em cada um dos compartimentos, para uma sequencia de montagem. Os exemplos citados podem diminuir os erros humanos apresentados no processo e melhorar o controle no numero de peças utilizadas.

6 CONCLUSÃO

O desenvolvimento deste projeto fomenta a oportunidade de fabricação da placa e sua utilização no sistema *Smart Bin*, após a realização de alguns testes de bancada para comprovação de sua eficácia. A inserção da placa no equipamento necessita agora de aprovação e incentivo de empresas locais que utilizem tal tecnologia e compreendam as vantagens da utilização da mesma.

Comprova a viabilidade da aplicação de um *hardware* microprocessado de baixo custo para equipamentos *Pick-to-Light*, de forma a reduzir custos para automação de processos de fabricação/montagem sequencial de produtos manufaturados. Permitindo inclusive, o vislumbre de realizar o desenvolvimento de uma maquina sequencial, buscando tecnologias que possibilitem a redução no custo total do equipamento, expandindo a gama de possibilidades para sua aplicação.

Igualmente, podem-se notar as dificuldades e desafios que surgiram durante o desenvolvimento da placa, desde a busca por bibliografias especializadas, até a elaboração de um programa que permita a inserção da sequencias de passos no próprio equipamento.

Apesar da placa não ter sido fabricada, espera-se que este trabalho sirva como referencia e motive o seu desenvolvimento e abertura de possibilidade para seu uso em sistemas *Smart Bin*. E também permita seu aprimoramento através de outros acadêmicos e profissionais da área a dando continuidade ao projeto, explorando alternativas e possibilidades, visto o potencial que o desenvolvimento do sistema proposto oferece.

REFERÊNCIAS

BRAGA, Newton C. **Como funcionam os Conversores A/D**. Instituto Newton C. Braga, 2010. Disponível em: <www.newtoncbraga.com.br>, acesso em 20 set. 2013.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC** – Programação em C. 7 Ed. São Paulo, Editora Érica, 2007.

WERNECK, Marcelo Martins – **Transdutores e Interfaces**. Rio de Janeiro: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1996.

TEXAS INSTRUMENTS, Texas Instruments – **ULM2806**. Disponível em: <<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/uln2803a.pdf>> acesso em: 09 de julho de 2014.

[MICROCHIP, Microchip. **PIC18F2480/2580/4480/4580**. Datasheet, 2009. Disponível em: <www.microchip.com>. Acesso em: 25 de junho de 2014.

BRAGA, Newton C. **Como funciona os reguladores de tensão 7800**. Instituto Newton C. Braga, 2010. Disponível em: <www.newtoncbraga.com.br>, acesso em 16 de julho de 2014.

UFEFA, Utefa. – **Contador de Pulso Digital**. Utefa, Medicion, Control y Componentes electricos para la Industria, 2014. Disponível em: <<http://www.utefa.com.mx/>>. Acesso em 15 de julho 2014.

SPEASTECH, Speastech. **SmartBin**. Speastech: Automation Pick-to-Light Soluciones, 2014. Disponível em: <<http://www.speastech.com>> Acesso em 24/07/2014.

MICROELEKTRONIKA, Microelektronika – **Micro C PRO for PIC**. MicroE, Development Tools, Compilers e Books, 2014. Disponível em: <[HTTP://www.mikroe.com/mikroc/pic/](http://www.mikroe.com/mikroc/pic/)> Acesso em 5 de agosto de 2014.

APÊNDICES

APÊNDICE A

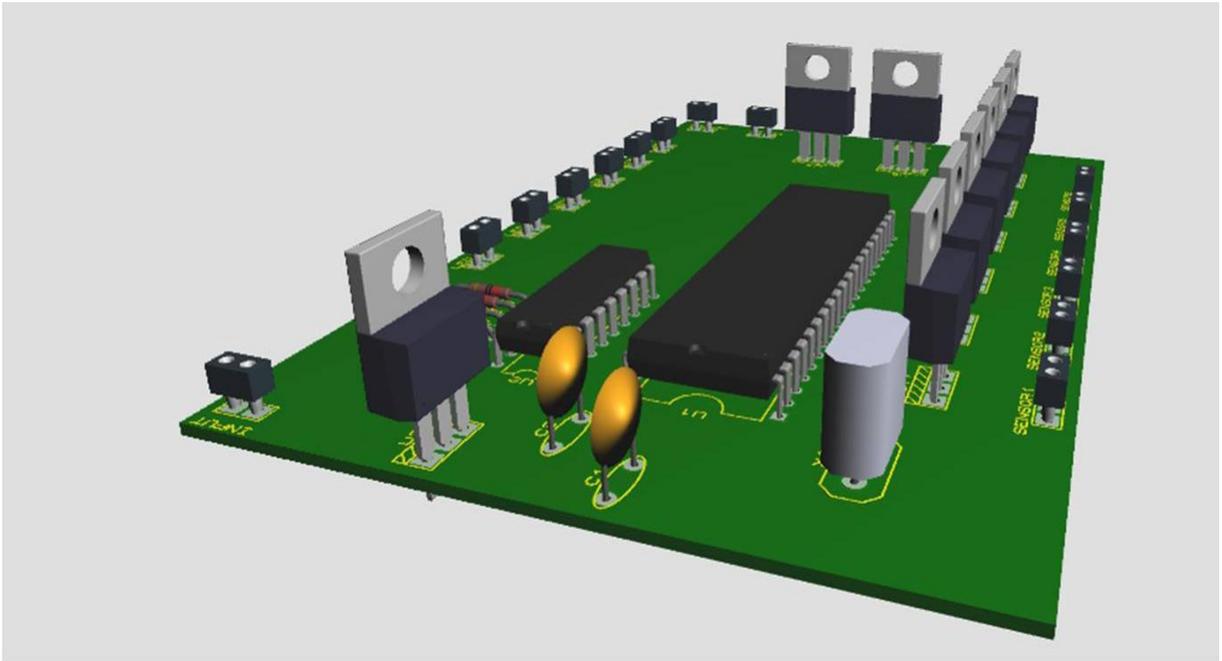


Figura 14: Perspectiva em 3D da Placa de Controle Desenvolvida.

Fonte: Autoria Própria.

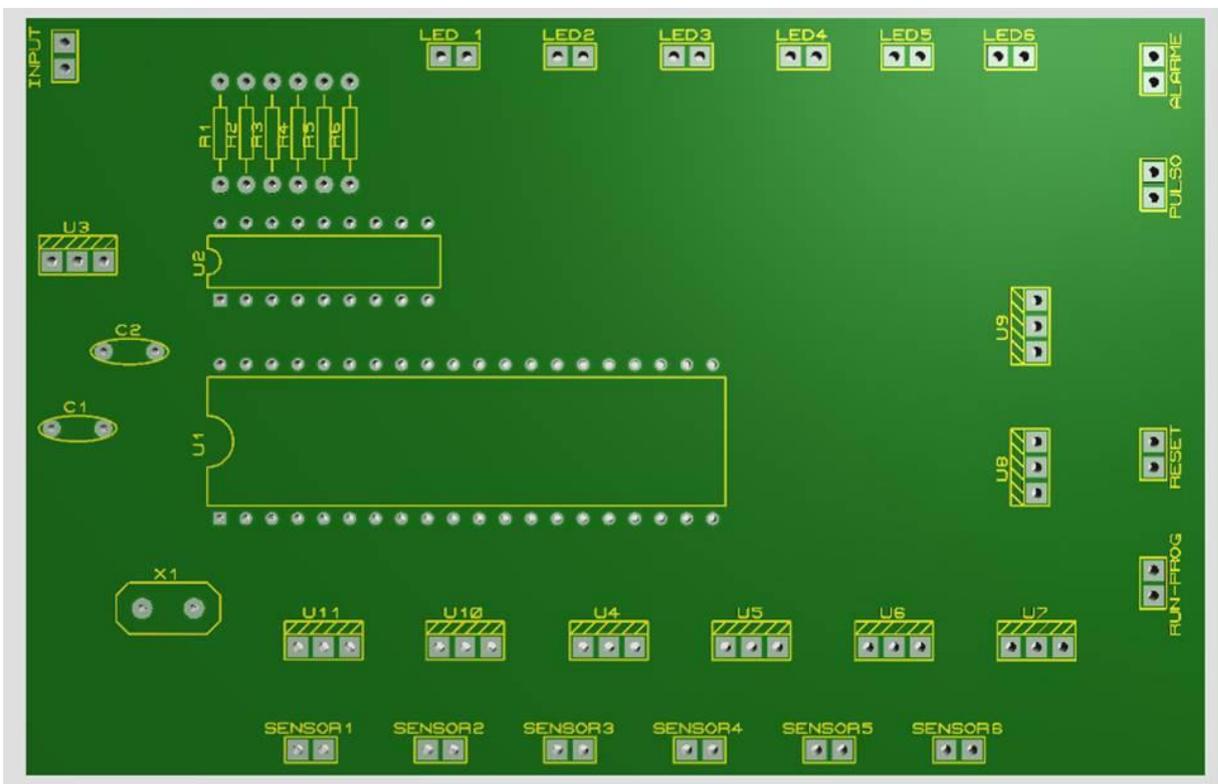


Figura 15: Visão Superior em 3D da Placa de Controle Desenvolvida.

Fonte: Autoria Própria.

APÊNDICE B

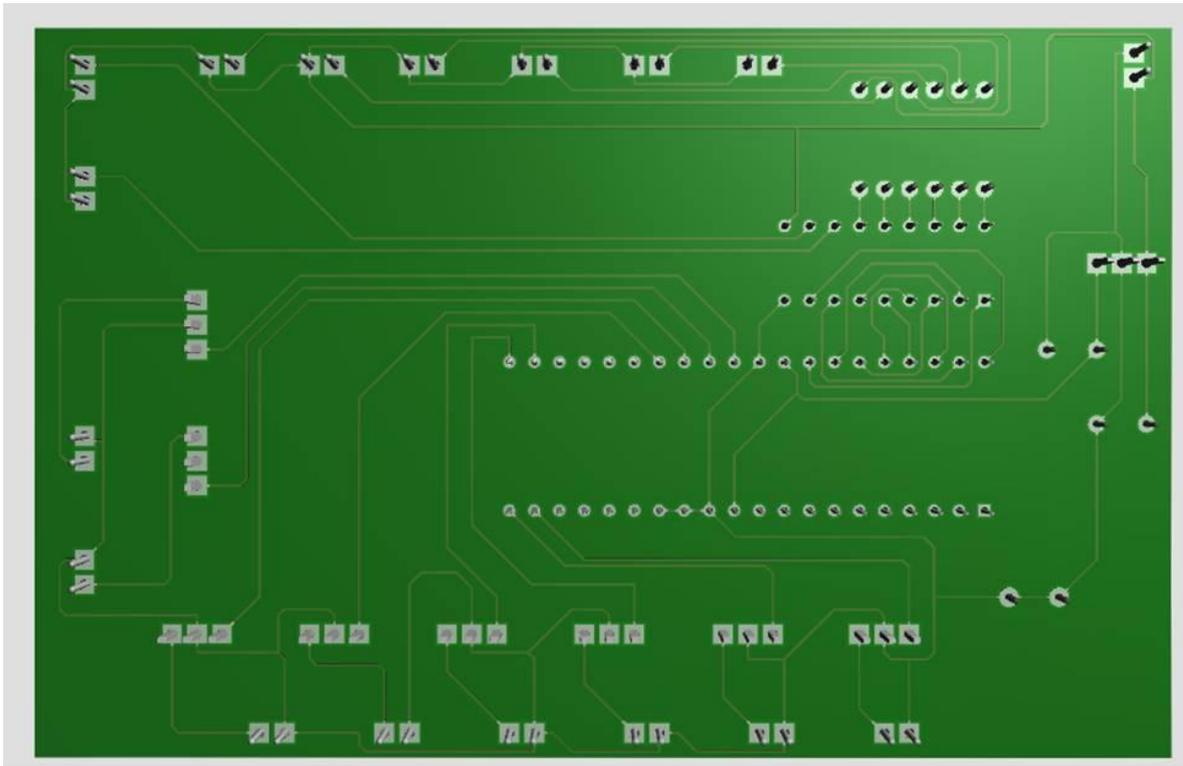


Figura 16: Visão Posterior em 3D da Placa de Controle Desenvolvida.

Fonte: Autoria Própria.

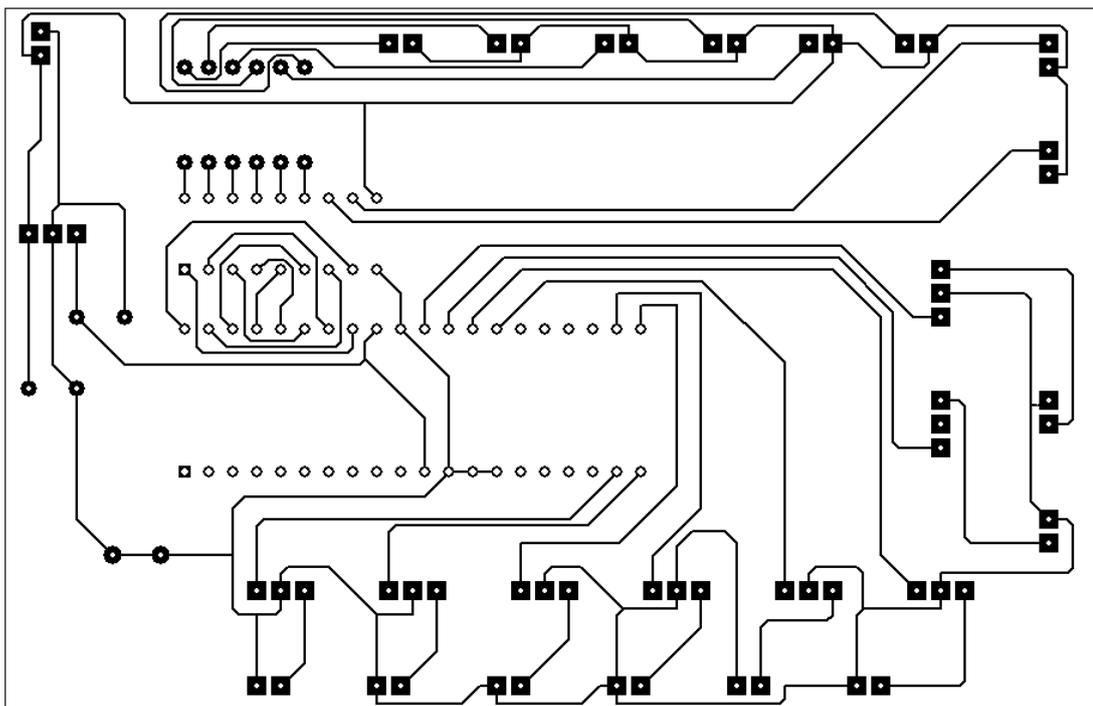


Figura 17: Circuito da Placa de Controle Desenvolvida.

Fonte: Autoria Própria.