



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS IV - ARAXÁ

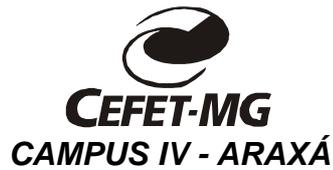
ENGENHARIA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

**DIEGO SIMÕES DA COSTA**

**PROJETO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE  
AMOSTRAGEM DE ÁGUA POTÁVEL UTILIZANDO O  
MICROCONTROLADOR PIC 18F4550 E MOVIMENTAÇÃO LINEAR  
POR PARAFUSO DE AVANÇO**

ARAXÁ

2011



**DIEGO SIMÕES DA COSTA**

**PROJETO PARA AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE AMOSTRAGEM DE  
ÁGUA POTÁVEL UTILIZANDO O MICROCONTROLADOR PIC 18F4550 E  
MOVIMENTAÇÃO LINEAR POR PARAFUSO DE AVANÇO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais / Campus IV - Araxá, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Automação Industrial.

Orientador: Prof. HENRIQUE JOSÉ AVELAR

Co-Orientador: Prof. DOMINGOS SÁVIO DE RESENDE

ARAXÁ

2011

*No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade.*

Albert Einstein

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu professor orientador José Henrique Avelar e ao meu co-orientador Domingos Sávio de Resende por todo o tempo disponibilizado para a concretização deste trabalho, na solução de problemas e pela confiança em mim depositada.

A professora Jalmira Fiuza por toda a dedicação em prol da estruturação e normatização deste trabalho, tornando a leitura simples, clara e objetiva.

Aos meus colegas de classe, que se mostraram grandes amigos tanto dentro quanto fora da instituição de ensino.

Aos meus velhos amigos pelo apoio e pelos momentos de felicidade em tempos difíceis.

A todos os funcionários do CEFET-MG, Campus IV, e a todos que me ajudaram nestes cinco anos e meio de dedicação.

Ao meu pai, minha mãe e meu irmão por todo amor e suporte ao longo dessa jornada de aprendizado, pois graças a eles alcancei esta grande conquista.

## RESUMO

A automatização de processos visa a garantia da excelência na execução dos procedimentos de um processo. Quando este envolve um recurso natural indispensável para a vida, como a água, não se deve medir esforços para que a qualidade seja a melhor possível. A Portaria MS nº 518/2004 busca esta qualidade estabelecendo procedimentos e responsabilidades relativo ao controle de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e o seu padrão de potabilidade. Para verificar se as características da água enviada para consumo são ideais, esta Portaria define um plano de amostragem determinando a frequência a qual cada amostra deve ser coletada para a realização de determinados testes. Dentro deste contexto, surgiu a necessidade do desenvolvimento de um equipamento que realize estas amostras numa frequência de duas em duas horas para as análises de cor, pH, fluoreto e Cloro residual livre (CRL), como determinado pela portaria. A fim de solucionar este problema, foi proposto a criação do projeto de um protótipo que atenda a estas necessidades, envolvendo um baixo custo de produção comparada à realização manual dessa tarefa. Para o controle deste processo foi utilizado o microcontrolador PIC18F4550 que controla a posição de um sistema de movimentação linear do tipo parafuso de avanço, com acionamento por motor de passo que dispõe os frascos na posição de preenchimento, realizando a coleta de água por meio do acionamento de válvulas. Este trabalho engloba o desenvolvimento dos circuitos envolvidos, programação do microcontrolador em linguagem C, o dimensionamento dos componentes, a criação da estrutura do protótipo e análise da viabilidade dos custos.

**Palavras-chave:** PIC 18F4550. Portaria MS nº 518/2004. Amostragem de água. Plano de amostragem. Parafuso de avanço.

## ABSTRACT

The automation of processes aimed at ensuring excellence in implementing the procedures of a process. When this involves a natural resource essential for life, like water, do not measure efforts to make the best possible quality. MS Ordinance n<sup>o</sup>. 518/2004 seeking this quality by establishing procedures and responsibilities concerning the monitoring control of water quality for human consumption and pattern of potability. To verify that the characteristics of water consumption are sent to ideal, this Ordinance defines a sampling plan determines the frequency at which each sample should be collected to perform certain tests. Within this context, emerged the need to develop a device that performs these samples at a frequency of every two hours for the color analysis, pH, fluoride, and free residual chlorine (CRL), as determined by ordinance. In order to solve this problem, was proposed the creation of a prototype project that meet those needs, involving a low production cost compared to manual execution of this task. To control this process was used the PIC18F4550 microcontroller, which controls the position of a linear drive system of the type lead screw, driven by stepper motor which provides the jars in a position to fill, making the collection of water through the valve actuation. This work encompasses all the development of circuits involved, microcontroller programming in C, the design of components, creating the structure of the prototype and analyze the feasibility of the costs.

**Keywords:** PIC 18F4550. MS Ordinance n<sup>o</sup> 518/2004. Water sampling. Sampling plan. Lead Screw.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Pinagem do PIC 18F4550.....	10
FIGURA 2– Diagrama de blocos do PIC18F4550.....	11
FIGURA 3 – Exemplo de um rede I <sup>2</sup> C.....	15
FIGURA 4 – Comunicação com endereçamento de 7 bits e envio/leitura de um pacote de dados.....	16
FIGURA 5 – Pinagem do DS1307.....	18
FIGURA 6 – Diagrama de blocos do DS1307.....	18
FIGURA 7 – Exemplo do interior de um motor de passo.....	23
FIGURA 8 – Esquema dos três tipos de motor de passo.....	24
FIGURA 9 – Representação dos motores unipolar e bipolares.....	26
FIGURA 10 – Reed switch.....	28
FIGURA 11 – Exemplo de magnetização correta do reed switch.....	29
FIGURA 12 – Vista frontal do protótipo.....	32
FIGURA 13 – Vista lateral do protótipo.....	32
FIGURA 14 – Válvula solenóide convencional 127V.....	33
FIGURA 15 – Vista lateral do sistema de movimentação.....	34
FIGURA 16 – Vista superior do sistema de movimentação e detalhes do mancal....	34
FIGURA 17 – Layout do circuito da fonte de alimentação.....	39
FIGURA 18 – Layout do <i>driver</i> do motor de passo.....	40
FIGURA 19 – Circuito do <i>driver</i> das válvulas.....	41
FIGURA 20 – Circuito do sistema de controle.....	43
FIGURA 21 – Diagrama de blocos do sistema.....	44
FIGURA 22 – Fluxograma que representa a inicialização do programa.....	50
FIGURA 23 – Varredura de botões de configuração e o tratamento do botão INICIALIZAR.....	51
FIGURA 24 – Fluxograma que representa a varredura de botões principal.....	53
FIGURA 25 – Fluxograma da rotina Trata INICIALIZAR principal.....	54
FIGURA 26 – Fluxograma do tratamento dos botões UP e DOWN.....	55
FIGURA 27 – Fluxograma de representação da função principal do botão ENTER.....	56

FIGURA 28 – Fluxograma que representa a interrupção externa do pino RB0.....	57
FIGURA 29 – Tela do software ISIS® Professional em simulação .....	60
FIGURA 30 – Placa do sistema de controle em circuito impresso .....	60
FIGURA 31 – Placa de circuito impresso da fonte de alimentação .....	61
FIGURA 32 – Placa de circuito impresso do driver do motor de passo.....	61
FIGURA 33 – Placa de circuito impresso do driver das válvulas.....	62

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento, para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial..	8
TABELA 2 - Relação dos endereços dos registradores e suas respectivas funções.....	21
TABELA 3 - Configuração dos bits do registrador de controle e efeito na saída do pino. ....	21
TABELA 4 - Sequencial de acionamento para 4 passos no modo <i>full step</i> para 1 e 2 bobinas por vez. ....	25
TABELA 5 - Sequencial de acionamento para 4 passos no modo <i>half step</i> . ....	25
TABELA 6 - Orçamento de custos do protótipo.....	63

## LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS

ACK – *Acknowledge.*

ALU – *Arithmetic Logic Unit.*

BCD – *Binary-coded decimal.*

CC – *Corrente Contínua.*

CCP – *Capture/Compare/PWM.*

CI – *Circuito Integrado.*

CRL – *Cloro Residual Livre.*

ECCP – *Enhanced Capture/Compare/PWM.*

EEPROM – *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory.*

EUSART – *Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter.*

HLVD – *High/Low-Voltage Detect.*

I<sup>2</sup>C – *Inter-Integrated Circuit.*

IHM – *Interface Homem-Máquina.*

LCD – *Liquid Cristal Display.*

MS – *Ministério da Saúde.*

PIC – *Programmable Interface Controller.*

RAM – *Random Access Memory.*

RISC – *Reduced instruction set computing.*

RTC – *Real Time Clock.*

SCL – *Serial Clock.*

SDA – *Serial Data.*

SPI – *Serial Peripheral Interface.*

SQW – *Square Wave.*

THM – *Trihalometanos.*

USB – *Universal Serial Bus.*

## SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE SIGLAS E ABREVEATURAS.....	x
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA.....	1
<b>1.1.1 Relevância científica do trabalho.....</b>	<b>2</b>
1.2 OBJETIVOS.....	3
<b>1.2.1 Objetivo Geral.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>
1.3 ESTRUTURA.....	4
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
2.1 PORTARIA MS nº 518/2004.....	5
2.2 PIC 18F4550.....	8
2.2.1 <b>Introdução.....</b>	<b>9</b>
2.2.2 <b>Estrutura do microcontrolador.....</b>	<b>10</b>
2.2.3 <b>Funções.....</b>	<b>13</b>
2.3 DS1307.....	17
2.3.1 <b>Introdução e características gerais.....</b>	<b>17</b>
2.3.2 <b>Funcionamento.....</b>	<b>18</b>
2.4 MOTOR DE PASSO.....	22
2.4.1 <b>Características.....</b>	<b>22</b>
2.4.2 <b>Funcionamento.....</b>	<b>24</b>
2.5 REED SWITCH.....	28
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO.....	30
3.1.1 <b>Descrição geral do protótipo.....</b>	<b>30</b>
3.1.2 <b>Movimentação Linear.....</b>	<b>33</b>
3.1.3 <b>Sistema de alimentação.....</b>	<b>38</b>

<b>3.1.4 Drivers</b> .....	39
<b>3.1.5 Sistema de controle</b> .....	42
<b>3.2 ESTRUTURA DE PROGRAMAÇÃO</b> .....	45
<b>3.2.1 Descritivo funcional do protótipo</b> .....	45
<b>3.2.2 Programação</b> .....	48
<b>4 RESULTADOS</b> .....	59
4.1 TESTES E LAYOUTS .....	59
4.2 VIABILIDADE DE CUSTOS .....	62
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	68
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	70
<b>ANEXO A</b> .....	72

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 IMPORTÂNCIA DO TEMA

Dentre as várias vantagens que a automatização de processos pode trazer, garantir a excelência do processo que passa a ser automatizado é uma das mais importantes. A automação atua em processos críticos para tornar mínimo o fator “erro humano”, projetando um sistema robusto o suficiente para minimizar ou anular as falhas. Como exemplo no caso de produtos alimentícios, fatores como o controle da concentração de um elemento tóxico no processo é de fundamental importância na garantia da qualidade do produto final, onde uma falha neste controle pode acarretar sérios problemas de saúde para os consumidores.

Ao abranger esta idéia para o controle de qualidade de um recurso essencial para a vida do ser humano, como é o caso da água, as companhias de saneamento e o Ministério da Saúde não devem medir esforços para garantir que este recurso natural que chega às casas da população esteja em perfeitas condições de consumo.

Para garantir que as companhias de saneamento mantenham a qualidade da água, o Ministério da Saúde, em 26 de março de 2004, publicou no diário oficial da união a Portaria nº. 518/2004 que estabelece os procedimentos relacionados ao monitoramento da qualidade e potabilidade da água enviada para o consumo da população, sob pena judicial no caso de seu descumprimento pelos órgãos ou instituições às quais essa legislação se aplica. Para cumprir os regimentos dessa portaria, as companhias de saneamento procuram meios eficientes que executem amostragens periódicas de água, necessárias para a realização dos diversos testes exigidos.

A idéia central deste trabalho é desenvolver um sistema que atenda às companhias de saneamento neste processo de amostragem para análise em laboratório, fazendo a coleta na frequência mínima estipulada pela Portaria MS nº. 518/2004. Como a maioria desses sistemas tem um custo alto, este modelo alternativo, proposto neste estudo, visa o desenvolvimento do projeto de um protótipo eficiente e de baixo custo.

Processos repetitivos, como nesse caso, podem ocasionar uma grande fadiga em um funcionário que o realize manualmente, induzindo-o ao erro. Esse problema se agrava quando o funcionário realiza o trabalho no período noturno. Já um sistema eletrônico dedicado a essa função, minimiza drasticamente ou anula os possíveis erros no tempo dessas amostragens pois o sistema não entra em fadiga. Realizando as manutenções necessárias o sistema sempre estará de prontidão para realizar as amostras no momento exato.

### **1.1.1 Relevância científica do trabalho**

Como não existem muitos sistemas desenvolvidos para a solução deste problema e as informações sobre os existentes são escassas ou não divulgadas, este trabalho contribuirá com uma alternativa inédita e de baixo custo para as companhias de saneamento. No âmbito científico, representa a criação de um novo protótipo, explorando as capacidades do microcontrolador *Programmable Interface Controller* (PIC) 18F4550 em uma nova aplicação, colocando em prova sua versatilidade e eficiência no controle de pequenos sistemas.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal desenvolver o projeto de um sistema para a coleta de água automatizada, o qual deverá colher amostras periodicamente de acordo com uma parametrização prévia do usuário.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Esquematizar o sistema de acordo com as necessidades das companhias de saneamento para atender os requisitos de frequência mínima de amostragem, determinado pela Portaria MS nº. 518/2004, dos sistemas de abastecimento de água para os parâmetros de cor, pH, fluoreto e CRL<sup>1</sup>;
- Projetar um protótipo controlado pelo microcontrolador PIC 18F4550, sua programação na linguagem C e o desenvolvimento de todo o hardware necessário para o seu funcionamento;
- Inserir no protótipo um meio de parametrização e visualização dos horários das amostragens no sistema, com interface por *display* e botões;
- Desenvolver um sistema com baixo custo de produção, fazendo um comparativo entre os custos do protótipo projetado e a realização manual deste processo.

---

<sup>1</sup> CRL - Cloro residual livre.

### 1.3 ESTRUTURA

Este trabalho é dividido em 5 capítulos sendo estes introdução, revisão bibliográfica, materiais e métodos, resultados e conclusão.

Na Introdução é feita a contextualização do problema, determinando a importância do tema para a sociedade e a relevância científica do trabalho, tanto como a sua estrutura física. Neste capítulo também são definidos os objetivos do trabalho.

A Revisão Bibliográfica trata sobre os conhecimentos relevantes para o entendimento do trabalho, descrevendo os pontos importantes da Portaria MS nº 518/2004 para este trabalho, as características principais e funções utilizadas do PIC 18F4550 e do Circuito Integrado (CI) DS1307, o funcionamento do motor de passo e *reed switch* que foi utilizado como sensor.

Em Materiais e Métodos consta o desenvolvimento do trabalho, descrevendo o protótipo, especificando os periféricos e circuitos do sistema e detalhando sua programação por meio de fluxogramas.

No capítulo Resultados são descritos os testes feitos nos circuitos envolvidos no protótipo e seu comportamento final, como também a viabilidade de custos do protótipo perante a realização manual da tarefa proposta ao sistema.

Posteriormente, tem-se a Conclusão, onde são abordadas as dificuldades encontradas durante o trabalho, a análise do cumprimento dos objetivos e sugestões para trabalhos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 PORTARIA MS nº 518/2004

Trata-se de uma revisão da Portaria da GM n.º 36/19 90 e sua instituição visou superar as limitações da antiga norma que era focada apenas na garantia da potabilidade da água. Deixava a desejar nos aspectos de critérios e procedimentos complementares para a promoção de práticas corretas para todo o sistema de abastecimento de água brasileiro, incorporando um sistema determinante no controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano. Foi necessária também para a realização de um enfoque epidemiológico na vigilância da qualidade da água, avaliando os riscos e determinando as medidas preventivas e corretivas, em caso confirmado de risco à saúde pública. A motivação geral da criação desta nova portaria pode ser resumida na seguinte citação,

a adoção de limites de presença de substâncias e organismos potencialmente nocivos à saúde humana na água consumida, embora necessária, não é suficiente para garantir a desejável proteção à saúde (HELLER, 2001 apud BRASIL, 2005).

Segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2005), por intermédio de consulta pública, foi possível que a proposta original desta portaria fosse adequada à realidade nacional, às necessidades e possibilidades dos setores de saúde e saneamento, respeitando também as demandas do código de defesa do consumidor.

Então, pode se dizer que, esta portaria tem como objetivo adequar uma norma obsoleta à atualidade, cobrindo suas falhas e acrescentando novos fatores a serem abrangidos pela mesma, sistematizando o processo de vigilância da qualidade da água e do controle epidemiológico.

A Portaria MS nº 518/2004 dispõe de 6 artigos e um anexo que é a norma de qualidade de água para consumo humano, contendo por sua vez 32 artigos,

dispostos em sete capítulos. Dentre esses capítulos o que condiz com a proposta deste trabalho é o capítulo V “dos planos de amostragem” onde são determinados todos os passos para a realização deste procedimento, incluindo os números mínimos de amostragens e a frequência na qual devem ser feitas.

Dentre os vários parâmetros necessários para a avaliação da qualidade da água existem os determinantes de cor, pH, fluoreto e CRL. Esses devem ser analisados numa frequência de duas em duas horas, de acordo com a TAB. 1 e serão as análises feitas nas amostras coletadas pelo sistema proposto neste trabalho.

O teste de cor está relacionado à diminuição que a intensidade de luz sofre ao atravessar a água devido à presença de partículas sólidas, como materiais em estado coloidal orgânico e inorgânico. Esse teste é importante para verificar o aspecto da água, pois quando a mesma apresenta coloração provoca uma repulsa psicológica no consumidor por fazer associação com a descarga de esgotos. Os métodos mais utilizados para o tratamento deste parâmetro são a floculação e a coagulação.

O controle do pH na água é extremamente importante pois, de acordo com Vasconcelos (2009) grande parte das reações entre a atmosfera, água e sedimento é controlada pelo pH do sistema. Pela monitoração deste parâmetro pode-se controlar a solubilidade da água, que é a taxa de dissolução dos minerais, o equilíbrio ácido-base, e diversos fatores que determinam parâmetros químicos ideais da água.

Para a diminuição da cárie dentária em termos populacionais, o fluoreto é adicionado a água. O controle deste parâmetro é importante, pois em concentrações altas pode ser prejudicial a saúde causando, como exemplo, a fluorose dental que é, segundo Catani (2007) uma deficiência na mineralização do esmalte (dentário) devido a ingestão diária de fluoreto durante o desenvolvimento dental. O teor de fluoreto “ótimo” para a prevenção das cáries deve ser em torno de 0,7mg de íon fluoreto por litro(BRASIL, 2006).

O CRL é adicionado na água por ter uma elevada eficiência da desinfecção da água, provocando a inativação de bactérias e vírus, efeito residual estável, grande disponibilidade no mercado com baixo custo e por apresentar um manuseio simples. Sua concentração deve ser controlada para evitar a formação de subprodutos tóxicos, como os trihalometanos (THM) que são compostos orgânicos derivados do metano (CH<sub>4</sub>), no qual três átomos de hidrogênio são substituídos por três átomos de halogênio (cloro, bromo e/ou iodo). O THM de maior frequência neste contexto é o clorofórmio, formado pela reação química entre o cloro aplicado, como oxidante ou desinfetante, os ácidos húmicos e fúlvicos, que é uma substância cancerígena entre 90 a 447 miligramas por grama de peso (SOUZA, 2008). Após a desinfecção, a água deve conter um teor mínimo de CRL de 0,5 mg/L, sendo obrigatória a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede de distribuição (BRASIL, 2008).

A Portaria MS nº 518/2004/GM pode ser vista no ANEXO A. Sua versão completa pode ser adquirida no site [http://www.abes-sporg.br/arquivos/portaria\\_518\\_2004.pdf](http://www.abes-sporg.br/arquivos/portaria_518_2004.pdf).

**TABELA 1**

Frequência mínima de amostragem para o controle da qualidade da água de sistema de abastecimento para fins de análises físicas, químicas e de radioatividade, em função do ponto de amostragem, da população abastecida e do tipo de manancial.

Parâmetro	Tipo de manancial	Saída do tratamento (frequência por unidade de tratamento)	Sistema de distribuição (reservatórios e rede)		
			População abastecida		
			< 50.000 hab.	50.000 a 250.000 hab.	>250.000 hab
Cor, turbidez, pH e Fluoreto	Superficial	A cada 2 horas	Mensal	Mensal	Mensal
	Subterrâneo	Diária			
CRL <sup>1</sup>	Superficial	A cada 2 horas	(Conforme §3.º do artigo 18)		
	Subterrâneo	Diária			
Cianotoxinas	Superficial	Semanal (Conforme §5º do artigo 8)	-	-	-
Trihalometanos	Superficial	Trimestral	Trimestral	Trimestral	Trimestral
	Subterrâneo	-	Anual	Semestral	Semestral
Demais parâmetros <sup>2</sup>	Superficial ou Subterrâneo	Semestral	Semestral <sup>3</sup>	Semestral <sup>3</sup>	Semestral <sup>3</sup>

Fonte: Portaria MS nº 518, 2004, p.15.

Onde:

- 1 - Cloro residual livre;
- 2 - Apenas será exigida obrigatoriedade de investigação dos parâmetros radioativos quando da evidência de causas de radiação natural ou artificial;
- 3 - Dispensada análise na rede de distribuição quando o parâmetro não for detectado na saída do tratamento e/ou, no manancial, á exceção de substâncias que potencialmente possam ser introduzidas no sistema ao longo da distribuição.

## 2.2 PIC 18F4550

### 2.2.1 Introdução

O *Programmable Interface Controller* (PIC) é um microcontrolador desenvolvido pela empresa MICROCHIP®, versátil, multifuncional e de baixo custo. É uma grande alternativa para o controle de pequenos sistemas, como o desenvolvido neste trabalho, por ser eficiente e flexível.

O modelo utilizado foi o 18F4550, principalmente por possuir uma memória de programa expandida e um número de entradas e saídas que atendem o sistema proposto. O projeto foi iniciado com o modelo 16F877A por ter sido alvo de estudos ao longo do curso de Engenharia de Automação Industrial, mas como a memória de programa oferecida não foi suficiente, foi necessária a transição para um modelo com maior capacidade de armazenamento de dados.

O PIC 18F4550 é baseado na arquitetura *Harvard*, operando com instruções do tipo *Reduced instruction set computing* (RISC - Computador com conjunto de instruções reduzido). Trabalha com o sistema de 8 bits e possui uma memória de programa de 32kbytes, memória *Random Access Memory* (RAM) de 2048bytes e memória não volátil *Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory* (EEPROM) de 256bytes.

Sobre sua estrutura, possui 40 pinos, sendo que 35 destes podem ser configurados como entradas ou saídas. O dispositivo pode ser alimentado com tensões entre 4V e 5,5V, podendo operar em frequências de até 48MHz, sendo alimentado diretamente por um oscilador dentro desta magnitude ou por um cristal associado a um conjunto de capacitores. Possui também um oscilador interno de até 8MHz, podendo derivar esta oscilação entre 8MHz e 31KHz, de acordo com os valores estipulados no manual. Este PIC possui diversos periféricos, que são:

- Quatro *Timers*, sendo um de 8 bits (Timer0) e três de 16 bits (Timer 1, 2 e 3);

- Módulo *Capture/Compare/PWM* (CCP) e *Enhanced Capture/Compare/PWM* (ECCP);
- Módulo de comunicação *Serial Peripheral Interface* SPI e *Inter-Integrated Circuit* I<sup>2</sup>C;
- Treze conversores analógico/digital com 10 bits de resolução;
- Dois comparadores analógicos;
- Comunicação *Enhanced Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter* (EUSART);
- Módulo Universal Serial Bus (USB) 2.0 capaz de operar em 1,5Mbps e 12Mbps.

Dos periféricos e funções do microcontrolador, serão utilizados neste trabalho as funções de interrupção externa, comunicação I<sup>2</sup>C para troca de informações com o relógio de tempo real DS1307, três *timers* (*timer0*, *timer1* e *timer2*) e a memória EEPROM para guardar os horários das coletas. Cada um desses periféricos e funções será descrito mais a diante.

## 2.2.2 Estrutura do microcontrolador

A FIG. 1 representa a estrutura do microcontrolador.

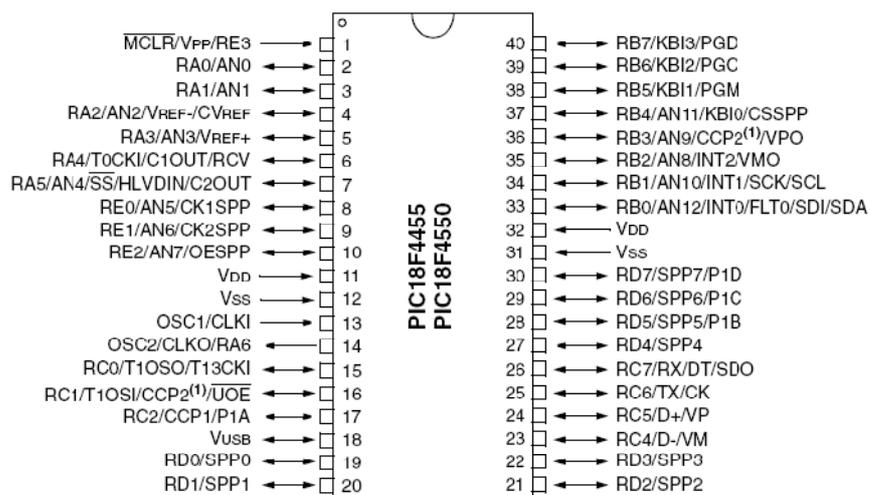


FIGURA 1 – Pinagem do PIC 18F4550  
Fonte: PIC18F2455/ 2550 / 4455 / 4550 Data Sheet.

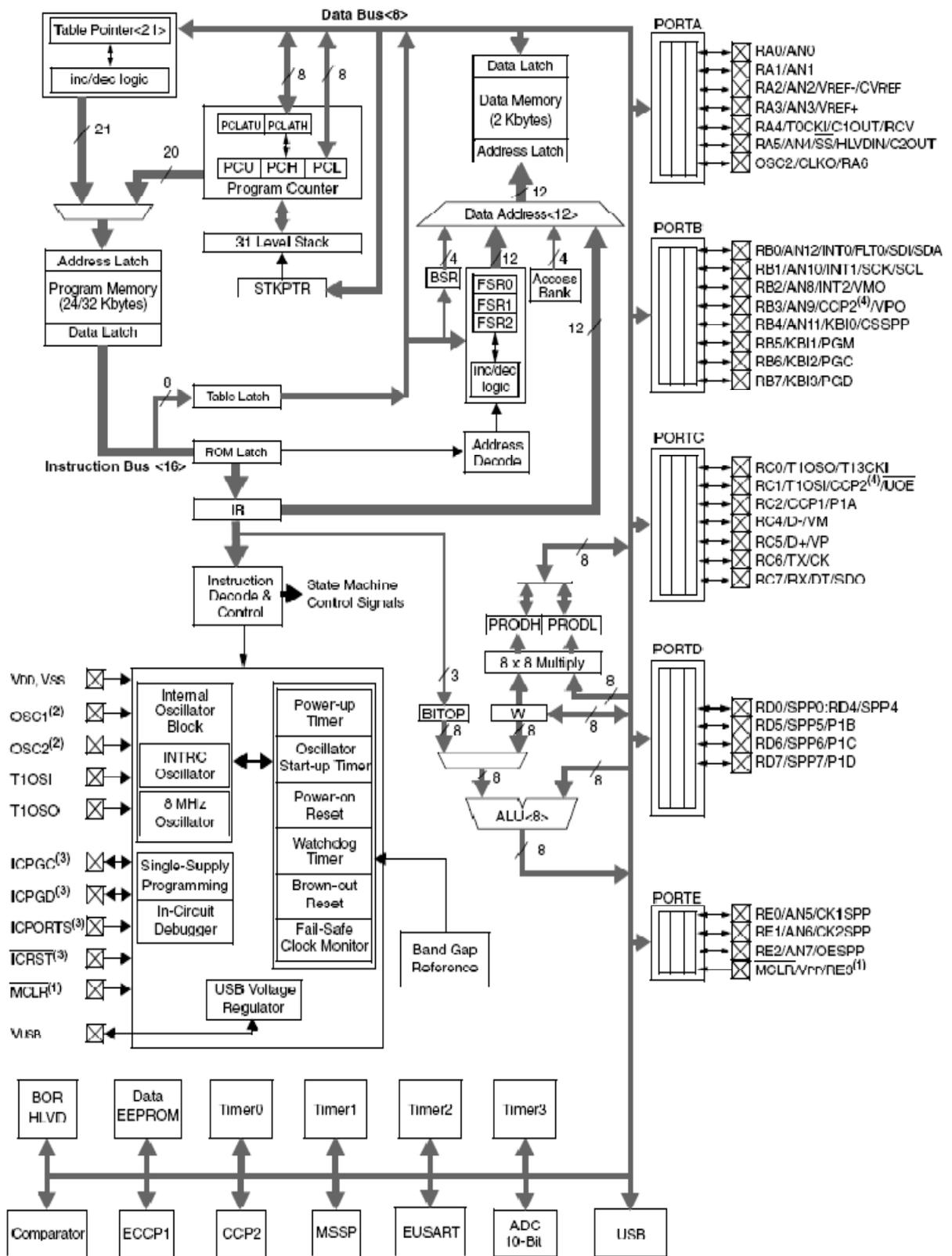


FIGURA 2– Diagrama de blocos do PIC18F4550  
 Fonte: PIC18F2455/ 2550/ 4455/ 4550 Data Sheet.

A FIG. 2. é um diagrama de blocos que representa a estrutura interna do PIC 18F4550. Ao lado direito do diagrama, mais ao centro, temos a *Arithmetic Logic Unit* (ALU) ou Unidade Lógica Aritmética (ULA), onde são executadas todas as operações lógicas e aritméticas do sistema. Fazem parte desta unidade o *8x8 multiplier*, responsável pelas operações de multiplicação e o *work register* representado no diagrama pela letra “W”, que é um vetor que armazena temporariamente as operações feitas pela ULA, para a utilização de acordo com a lógica do programa.

À esquerda da ULA temos a representação dos circuitos internos do PIC, que são o bloco do oscilador interno, o bloco de programação e regulador de tensão para a comunicação USB.

Na parte superior da FIG. 2 temos a representação das memórias do tipo *Flash* de 32Kbytes, destinada a guardar as informações de programa e endereçada pelo ponteiro de 21 bits denominado *program counter*. Logo abaixo do ponteiro está a pilha (*stack*), que tem a função de guardar a posição de execução do programa quando acontece uma instrução de desvio ou interrupção. Observa-se que o seu limite é de 31 posições, sendo que se for realizada uma quantidade de chamadas sequenciais maiores que esse número, os novos endereços não serão registrados e o programa não voltará à sua posição de origem.

Tem-se também a memória de dados de 2Kbytes, memória RAM, que é uma memória volátil com a função de guardar os dados processados temporariamente durante a execução do programa.

Do lado direito do diagrama estão representadas as portas *input/output* (I/O) do microcontrolador, definidas como PORTA, PORTB, PORTC, PORTD e PORTE. As portas utilizadas no trabalho serão elucidadas durante a definição das funções.

Na parte inferior são representados os periféricos do PIC que são o *High/Low-Voltage Detect* (HLVD), o comparador analógico, a memória de dados EEPROM, os

módulos ECCP1 e dois módulos *Capture/Compare/PWM* (CCP), os *timers* (*Timer* 0, 1,2 e 3), os módulos *Master Synchronous Serial Port* (MSSP), EUSART, conversor analógico/Digital (A/D) de 10 bits e USB.

### 2.2.3 Funções

Como citado anteriormente, neste trabalho não se utilizou todas as funções e periféricos disponibilizados pelo PIC, sendo assim, a seguir será feito um estudo mais profundo sobre cada função utilizada. Inicialmente será introduzido o conceito de interrupção.

#### 2.2.3.1 Interrupções

A interrupção em sistemas microcontrolados é uma função que interrompe a execução do programa principal para realizar uma rotina designada ao tratamento do tipo de interrupção acionado. Após a finalização desta rotina, é dada a continuidade da execução do programa principal a partir do ponto onde se parou. O PIC 18F4550 possui diversos tipos de interrupções que são as interrupções de colisão de barramento, recepção e transmissão da EUSART, falha do oscilador, interrupções externas (INT0 para o pino B0, INT1 para o pino B1 e INT2 para o pino B2), transmissão/recepção das portas seriais (SPI e I<sup>2</sup>C), escrita na EEPROM/FLASH, utilização do módulo CCP1 e CCP2, utilização do módulo comparador, conversão A/D, detecção de Alta/Baixa voltagem, utilização do módulo USB, mudança de estados nos pinos RB4 a RB7, escrita/leitura do Streaming Parallel Port (SPP) e interrupção de estouro dos *timers* 0, 1 e 3, sendo o *timer* 2 por combinação com seu valor atual e o valor registrado no vetor PR2.

A execução de cada interrupção depende do acionamento de seu bit de ativação (*enable bit*) determinado para cada fonte de interrupção. Outros bits associados às

interrupções são os de sinalização (*flag bit*), que indica a ocorrência da respectiva interrupção e o de prioridade (*priority bit*), que define o nível de prioridade entre cada fonte de interrupção.

Dentre as interrupções citadas as utilizadas neste trabalho foram a interrupção externa INT0, detectada pelo pino B0 e a INT1, detectada pelo pino B1. Também foi utilizada a interrupção do *timer 1*.

As interrupções externas têm a função de acionar uma rotina de interrupção a partir de uma excitação externa ao respectivo pino. São acionadas por detecção de borda de descida ou subida.

As interrupções dos *timers* realizam a rotina de interrupção no momento do estouro de sua contagem predefinida. Cada *timer* possui suas peculiaridades de configuração, como registradores que recebem o início e o fim da contagem para obter uma maior precisão, como no *timer 1*. Pode-se usar a rotina de interrupção dos *timers* para funções que necessitem de temporização, como neste trabalho, que foi utilizado o *timer 1* para a temporização de saída nos *menus* selecionados na IHM.

#### 2.2.3.2 Comunicação I<sup>2</sup>C

O protocolo de comunicação I<sup>2</sup>C, desenvolvido pela empresa PHILIPS, é uma alternativa simples e eficiente para a comunicação entre dispositivos eletrônicos. É uma comunicação serial síncrona com controle de acesso Mestre/Escravo (Master/Slave), possibilitando a comunicação com vários escravos e mestres (multi-master), interligados ao seu barramento.

O protocolo possui um barramento que se comunica através de duas linhas de sinais, sendo uma linha de transmissão de dados *Serial data* (SDA) e a outra para a transmissão do sinal de *clock Serial Clock* (SCL) para sincronização. A linha SCL é sempre controlada por um mestre de cada vez, sendo que, no momento do envio do

signal de *clock*, todos os dispositivos devem estar configurados como escravo. Já a linha SDA é *half-duplex*, caracterizando uma comunicação bidirecional, podendo transmitir e receber os dados pelo mesmo meio, mas não simultaneamente.

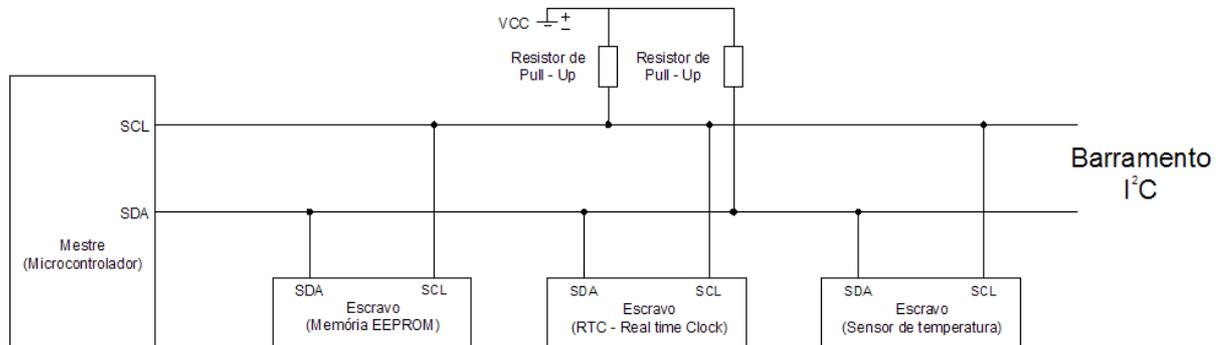


FIGURA 3 – Exemplo de um rede I<sup>2</sup>C  
Fonte: Adaptação do autor (MIYADAIRA, 2009, p. 291).

Na comunicação I<sup>2</sup>C, para indicar que o barramento esta disponível deve-se enviar nível alto (VCC) para as linhas de comunicação. Os resistores de *pull-up*, como ilustrado na FIG. 3, têm a função de garantir que nas entradas das portas lógicas dos circuitos integrados seja enviado um nível alto conhecido, no caso do PIC 18F4550 5V, para que não ocorra flutuação de sinal e, conseqüentemente, erros na comunicação. Esses resistores são normalmente utilizados na faixa de 1k $\Omega$  á 10k $\Omega$ , dependendo da tensão de alimentação.

O funcionamento do protocolo I<sup>2</sup>C é simples e objetivo. Para a inicialização da comunicação feita pelo mestre é enviado um sinal de nível baixo pela linha SDA. Esta condição de inicio (*START*) é detectada quando a linha de dados SDA passa para o nível lógico baixo e a linha de *clock* SCL estiver em nível alto contínuo. Em seguida é iniciada a geração de pulsos de *clock* pela linha SCL e o envio do endereço do dispositivo escravo (representado na FIG. 4 pelos bits com a letra "E"), seguido de um bit que define o tipo de operação que pode ser escrita ou leitura (R/W). Este primeiro pacote de bits, dependendo da configuração, pode ser composto por 8 ou 10 bits. No caso deste trabalho, será utilizado o pacote de 8 bits. Posteriormente, os escravos conectados ao barramento conferem o endereço enviado e o componente correspondente àquele endereço retorna um sinal de confirmação denominado *acknowledge* (ACK), impondo nível baixo na linha SDA

antes do nono pulso de *clock* enviado pelo mestre. Caso nenhum dos componentes do barramento reconheçam o endereço, este permanece em nível alto no nono pulso de *clock* e o componente mestre deve enviar um sinal de parada (STOP) que é identificado quando a linha SDA passa para nível lógico alto e a linha SCL se encontra em nível lógico alto contínuo, conforme ilustrado na FIG.4.

Se houver a resposta de um sinal de ACK por um dispositivo do barramento, em seguida será feita a leitura ou a escrita de dados. Esta determinação é feita de acordo com o bit de operação (R/W) enviado no primeiro pacote de dados. Caso o bit R/W seja igual a “1” o mestre realizará a leitura dos dados presentes na linha SDA, com início pelo bit mais significativo, sincronizada com o envio de 8 pulsos de *clock* pela linha SCL. Após a leitura dos 8 bits de dados (representado na FIG. 4 pelos bits com a letra “D”) o mestre deve enviar um sinal de ACK para confirmar a leitura dos dados. Caso o bit R/W seja igual a “0”, o mestre irá enviar 8 bits de dados, também partido do bit mais significativo, sincronizados com 8 pulsos de *clock* enviados pela linha SCL. No final do envio, o escravo correspondente à chamada deve responder enviando um sinal de ACK.

Ao longo das operações de escrita ou de leitura podem ser enviados ou recebidos vários pacotes de dados sendo que para finalizar o processo de comunicação deve-se enviar um sinal de STOP.

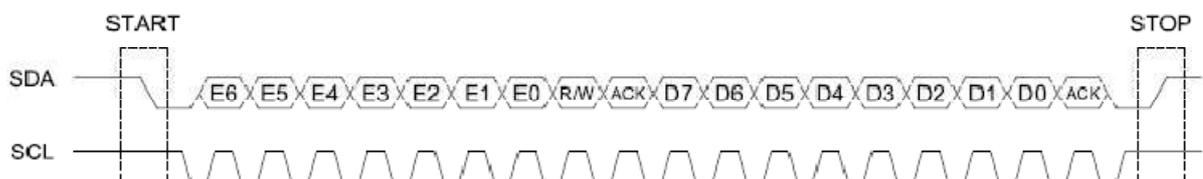


FIGURA 4 – Comunicação com endereçamento de 7 bits e envio/leitura de um pacote de dados  
Fonte: Adaptada pelo autor (MIYADAIRA, 2009, p. 293).

No PIC18F4550 os pinos SDA e SCL são configurados respectivamente nos pinos RB0 e RB1. Essa é a configuração *default* do microcontrolador, mas estes pinos podem ser configurados de acordo com a necessidade do usuário, via *software*. Neste trabalho, foi configurado como SDA o pino RB2, e como SCL o pino RB3. Essas mudanças foram necessárias pois serão utilizadas as interrupções externas

dos pinos RB0 e RB1, uma para a entrada de sinal do sensor e outra para a entrada de um sinal de frequência de 1Hz para atualização do relógio.

O *data sheet* do PIC 18F4550 pode ser encontrado no site <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010300>.

## 2.3 DS1307

### 2.3.1 Introdução e características gerais

Para o sistema proposto neste trabalho é de grande importância que seja realizado o monitoramento do tempo para que as amostras sejam feitas nos horários estipulados, que estes sejam registrados para checagens posteriores e que, no caso de queda de energia, a contagem do tempo não se reinicie. Para que isto seja possível é necessário um dispositivo que comunique constantemente com o microcontrolador, fornecendo esta contagem de tempo para que seja armazenada e atualizada de minuto a minuto no *Liquid Cristal Display* (LCD) do protótipo e que tenha um sistema de alimentação auxiliar. Para realizar estas funções foi utilizado o circuito integrado (CI) DS1307 que é um relógio de tempo real ou *Real Time Clock* (RTC) que também tem a função de calendário, contando segundos, minutos, horas, dias, meses e anos.

Possui uma memória RAM de 56 bits com escritas ilimitadas e entrada para bateria auxiliar de 3V que garante a manutenção dos dados desta memória e a continuidade da contagem na falta da alimentação principal. Para que esta continuidade seja possível, o DS1307 possui internamente um circuito de detecção de falha na alimentação e, automaticamente, faz a transição para a alimentação auxiliar, sem que haja a desenergização do componente. As operações de leitura, escrita e configurações são feitas pela comunicação I<sup>2</sup>C.

Na contagem, o CI leva em consideração os meses que tenham menos de 31 dias, tanto quanto os anos bissextos. O relógio opera no formato de 24 ou 12 horas (AM/PM) dependendo da configuração realizada pelo usuário. O componente provê também um sinal pulsado que pode ser configurado em 1Hz, 4,096kHz, 8,192kHz e 32,768kHz. A frequência utilizada neste trabalho foi a de 1Hz, para efetuar a atualização do relógio no *display* de LCD, por intermédio da interrupção externa do pino RB1 do PIC18F4550.

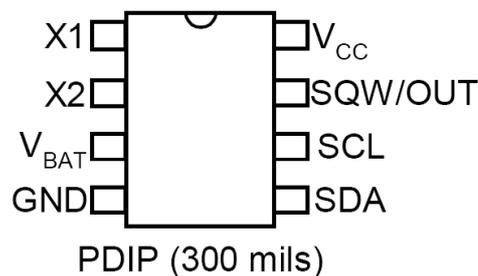


FIGURA 5 – Pinagem do DS1307

Fonte : MAXIM DS1307 64x8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock data sheet.

### 2.3.2 Funcionamento

Para uma maior elucidação do funcionamento do CI DS1307, pode-se extrapolar o seu circuito em um diagrama de blocos, como explicitado na FIG. 6.

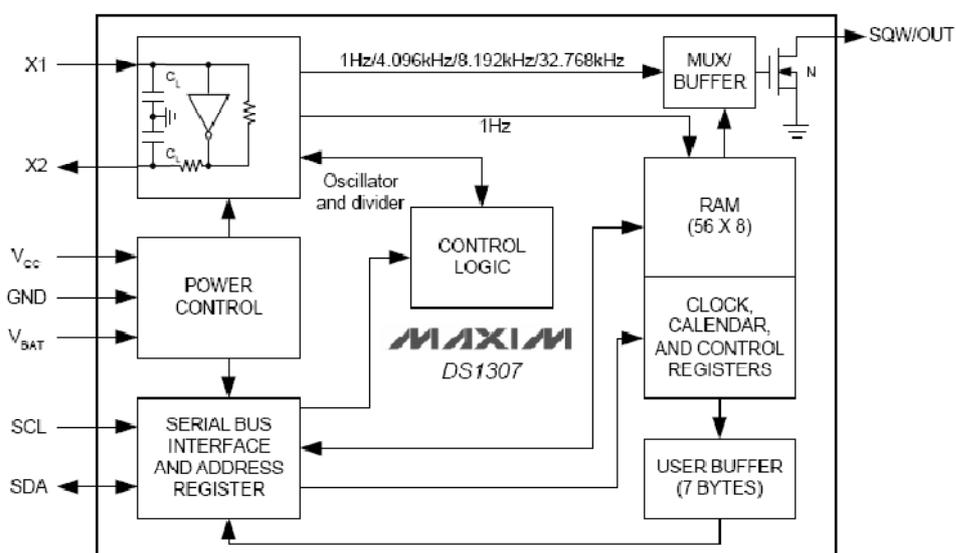


FIGURA 6 – Diagrama de blocos do DS1307

Fonte: MAXIM DS1307 64x8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock data sheet.

No canto superior esquerdo da figura tem-se o bloco do circuito de oscilação, que recebe o sinal pulsante de um cristal oscilante de 32,768kHz e deve ser conectado aos pinos X1 e X2. Este bloco divide e distribui os sinais de frequência para o *Mux/buffer*, o bloco da memória RAM e registradores. O circuito de oscilação troca informações com o bloco de controle lógico, ao centro da figura, para realizar a divisão da frequência de acordo com a configuração feita pelo usuário.

No canto inferior esquerdo está o bloco de comunicação I<sup>2</sup>C, onde também se encontra o registrador de endereço utilizado para realizar o reconhecimento ou envio do endereço para o mestre pelo pino SDA. O recebimento do sinal de *clock* é feito pelo pino SCL. O bloco I<sup>2</sup>C troca informações com a memória RAM para a leitura e escrita dos registradores de controle, tanto para configurar o modo de trabalho do relógio e ajustes de horário e calendário, quanto para pegar o valor atual da contagem e enviar para o mestre.

No bloco da memória RAM, ao canto direito da figura, é onde todas as informações de configuração e *status* atual do relógio e do calendário são armazenados. Ele também recebe um sinal oscilatório na frequência de 1Hz para incremento dos segundos na contagem do tempo.

O Mux/Buffer organiza o envio do sinal para a saída *square wave/output* (SQW/OUT) de acordo com as configurações do usuário.

O *user buffer*, representado no canto inferior direito da figura tem a função de, quando está sendo realizada uma operação de leitura ou escrita, guardar os dados durante o tempo de operação para evitar que se repita o processo caso o *status* da informação manuseada mude durante este tempo.

Para acessar a informação do *status* de temporização, configurar e inicializar, os registradores devem ser acessados e modificados apropriadamente. Na TAB. 2 estão todos os registradores e seus respectivos endereços e bits. As informações contidas nos registradores estão no formato *Binary-coded decimal* (BCD), sendo

assim, as operações com os registradores devem ser realizadas neste formato. Caso seja enviado um formato desconhecido ou um valor de tempo ilógico esta operação será considerada indefinida. O bit 7 do endereço 00h é o bit de parada do relógio (CH), sendo que quando este bit está em nível lógico 1 o RTC está parado e, em nível lógico 0 o RTC é posto em funcionamento. O componente também faz a representação dos dias da semana pelo registrador 03h. São representados por números de 1 a 7, podendo ser entendidos pelo usuário da forma que lhe convenha, desde que siga uma sequência (como exemplo, o número 1 corresponde a segunda-feira, o 2 a terça-feira e assim em diante). Este registrador é incrementado a cada vez que o relógio alcança as 00:00 horas.

Em sua primeira inicialização o RTC tem seus registradores configurados na data de 01/01/00, dia da semana 01 e nas horas de 00:00. Como citado anteriormente, o relógio pode trabalhar no formato de 12 ou 24 horas e isto é definido pelo bit 6 do registrador 02h. Quando está em nível alto a contagem está no formato de 12 horas e o bit 6 passa a definir a informação AM/PM, cuja representação para o nível lógico "1" é PM e para o nível lógico "0" é AM. Quando o bit 6 está em nível baixo, o formato esta configurado para 24 horas, configurando o bit 5 para um segundo bit auxiliar das dezenas para representar os horários entre 20 e 23 horas. Quando o formato das horas for modificado, o valor das horas deve ser reconfigurado.

No endereço 07h se encontra o registrador de controle, que tem a função de determinar o funcionamento da saída SQW/OUT de acordo com a configuração de seus bits. O bit 7 OUT determina a condição de saída do pino quando a função de geração de sinal pulsado (SQW) não está habilitada, sendo que quando o bit OUT está configurado em "1" a saída permanece contínua em nível "1", configurado em "0" a saída vai para nível "0". O bit 4 SQWE determina a ativação da saída pulsada e, quando está em nível "1" a saída oscilatória é ativada, em "0" desativada. Os bits 1 e 0, respectivamente RS1 e RS0, configuram a frequência de saída de acordo com os valores enviados pelo usuário para o registrador de controle. A configuração de cada bit e seus efeitos está representados a TAB. 3.

**TABELA 2**

Relação dos endereços dos registradores e suas respectivas funções.

ENDEREÇO	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNÇÃO	RANGE
00h	CH	Dezenas Segundos			Segundos			Segundos	(00 - 59)	
01h	0	Dezenas Minutos			Minutos			Minutos	(00 - 59)	
02h	0	12	Dezenas horas	Dezenas horas	Horas			Horas	(1 - 12 +AM/PM) (00-23)	
		24	PM/AM							
03h	0	0	0	0	0	Dia da Semana		Dia da Semana	(01 - 07)	
04h	0	0	Dezenas Data		Dia			Dia	(01 - 31)	
05h	0	0	0	Dezenas Mês	Mês			Mês	(01 - 12)	
06h	Dezenas Ano				Ano			Ano	(00 - 99)	
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Controle	-
08h-3Fh								RAM 56x8	(00h - FFh)	

Fonte: Adaptado de MAXIM DS1307 64x8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock data sheet.

**TABELA 3**

Configuração dos bits do registrador de controle e efeito na saída do pino.

RS1	RS2	SQW/OUT SAIDA	SQWE	OUT
0	0	1Hz	1	x
0	1	4.096kHz	1	x
1	0	8.192kHz	1	x
1	1	32.789kHz	1	x
x	x	0	0	0
x	x	1	0	1

Fonte: Adaptado de MAXIM DS1307 64x8, Serial, I<sup>2</sup>C Real-Time Clock data sheet.

O funcionamento da comunicação I<sup>2</sup>C já foi elucidada na seção 2.2.3.2, sendo este protocolo idêntico em qualquer aplicação.

O *data sheet* do RTC DS1307 pode ser encontrado no site <http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/DS1307.pdf>

## 2.4 MOTOR DE PASSO

### 2.4.1 Características

Em aplicações onde é necessária certa precisão na realização de posicionamentos, o motor de passo é um dos dispositivos mais indicados para esta tarefa. Esse motor tem seu movimento realizado através de pulsos elétricos controlados, sendo que a cada pulso dado aos fios motor, na sequência correta, é gerado um deslocamento mínimo (ou passo), que nada mais é do que o menor deslocamento angular. É um motor que proporciona grande estabilidade e a sua velocidade é diretamente proporcional à frequência dos pulsos enviados aos fios do motor. Pelo seu baixo custo, tamanho pequeno e versatilidade, esse motor tem grande popularidade quando falamos de precisão em posicionamentos.

Criado em 1936 por um engenheiro francês chamado Marius Lavet, o motor de passo é um motor elétrico acionado por corrente contínua (CC) caracterizando-se por ser um transdutor de energia elétrica para energia mecânica. Os motores CC são conhecidos pela facilidade e precisão no controle de velocidade e seu ajuste fino e são vastamente utilizados quando estas características são necessitadas.

As estruturas principais do motor de passo são o estator e o rotor. O estator é uma estrutura ferromagnética que possui pólos onde são enroladas as bobinas que geram um campo magnético quando excitadas por uma corrente elétrica. O rotor é a parte móvel do motor, ao centro da FIG. 7, e consiste no conjunto eixo-imã que gira livremente em resposta aos pulsos elétricos enviados aos pólos.

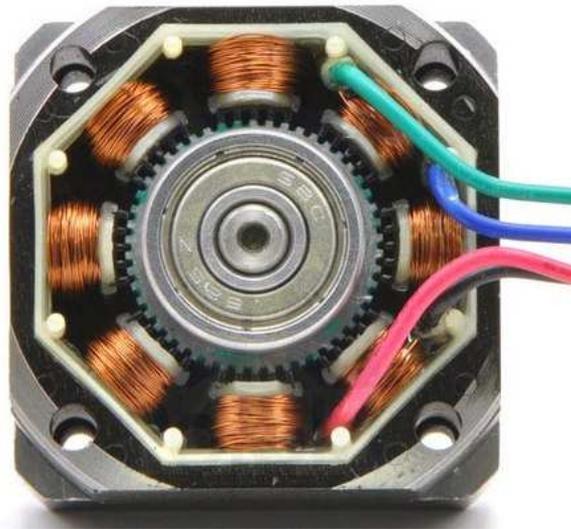


FIGURA 7 – Exemplo do interior de um motor de passo

Fonte: <http://multilogica-shop.com/motor-de-passo-bipolar-200-passosvolta-35x28mm-10v-500ma>.

Existem três tipos de motores de passo, que são os de relutância variável, imã permanente e híbridos. O tipo relutância variável apresenta diversos pólos fabricados a partir de tipos de ferro doce, apresentando também um estator laminado. O rotor e o estator possuem ranhuras denominadas “dentes” devido ao seu aspecto e, sendo que cada dente corresponde a um pólo saliente, a quantidade desses pólos é proporcional ao número de passos do motor em uma volta completa. Como não possui um imã seu torque estático é nulo quando energizado, fator que provoca uma baixa inércia do rotor, desqualificando seu uso em processos que exigem uma carga inercial grande.

O motor de passo do tipo imã permanente não possui dentes como o do tipo relutância variável, tem baixo custo e baixa resolução. Seu rotor é construído com materiais como alnico ou ferrite, caracterizando um imã permanente magnetizado radialmente. Devido a essa magnetização o torque estático não é mais nulo, possibilitando que o motor mantenha a sua última posição, mesmo quando não energizado.

O tipo híbrido é uma fusão dos dois tipos descritos anteriormente, tem um custo maior mas possui boa resolução, apresenta torque estático e atinge grandes velocidades. Estas características são alcançadas pois é multidentado como o tipo

relutância variável que proporciona a resolução e possui um ímã permanente ao redor de seu eixo, criando um torque estático. A disposição diferenciada de seus dentes provê um caminho melhor para o fluxo magnético, melhorando seu desempenho.

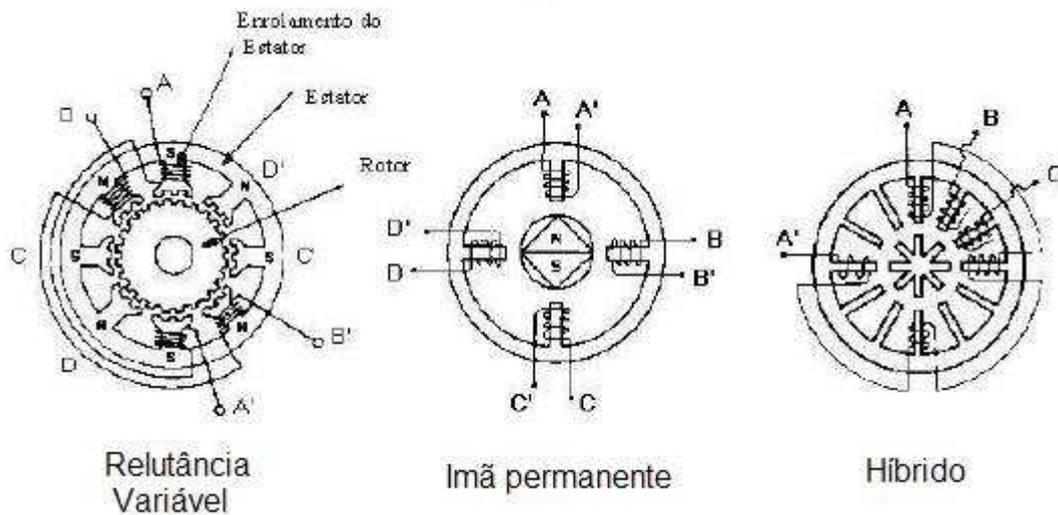


FIGURA 8 – Esquema dos três tipos de motor de passo  
Fonte: Adaptado pelo autor (BRITES e SANTOS, 2008, p. 6-7).

### 2.4.2 Funcionamento

O funcionamento básico do motor de passo consiste na energização de solenóides alinhadas de duas a duas, fazendo com que o rotor se alinhe de acordo com o conjunto de solenóides acionado pelo princípio da magnetização. Realizando este acionamento na sequência certa, a cada momento que o rotor se alinha com o conjunto de bobinas acionada, o mesmo tem um deslocamento angular, o qual é denominado passo ou deslocamento angular mínimo. Existem dois modos de operação para os motores de passo: *Full step* (Passo inteiro) e *half step* (Meio Passo).

No modo *full step* o motor realiza um “passo inteiro”, ou seja, desloca o rotor do alinhamento com uma bobina para a outra ou do espaço entre duas para o próximo espaço, dependendo se 1 ou 2 bobinas são energizadas por cada passo.

Energizando uma bobina por vez (TAB. 4) o rotor irá girar sempre alinhando com as bobinas, com uma velocidade alta, pouco consumo de energia, mas um torque reduzido. Na energização de duas bobinas por vez o rotor gira se alinhando entre as duas energizadas, consumindo mais energia comparada à utilização de uma bobina, mas em contra partida, com um torque mais elevado e na mesma velocidade.

**TABELA 4**

Sequencial de acionamento para 4 passos no modo *full step* para 1 e 2 bobinas por vez.

Passo	<i>Full step 1 bobina por vez</i>				<i>Full step 2 bobinas por vez</i>			
	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4
1	1	0	0	0	1	1	0	0
2	0	1	0	0	0	1	1	0
3	0	0	1	0	0	0	1	1
4	0	0	0	1	0	0	0	1

Fonte: Adaptado pelo autor (BRITES e SANTOS, 2008, p. 10).

No modo *half step* o motor realiza o giro alternando a energização entre uma ou duas bobinas no mesmo passo. O acionamento para tal feito é uma mistura dos métodos *full step* com 1 e 2 bobinas, de acordo com a TAB. 5. Este método consome mais energia que todos os métodos citados e trabalha em velocidades menores, mas proporciona maior resolução e tem um torque comparado ao *full step* com duas bobinas.

**TABELA 5**

Sequencial de acionamento para 4 passos no modo *half step*.

Passo	<i>Half step</i>			
	Bobina 1	Bobina 2	Bobina 3	Bobina 4
1	1	0	0	0
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	0	0	0	1

Fonte: Adaptado pelo autor (BRITES e SANTOS, 2008, p. 10).

Os motores de passo também podem ser classificados pelo estilo de ligação de suas bobinas, podendo ser unipolares ou bipolares. Os unipolares possuem uma derivação central em cada uma de suas duas bobinas, permitindo que a comutação do sentido da corrente seja feita de forma mais prática, apenas invertendo o sentido de energização. Geralmente, estas derivações são interligadas, formando o quinto fio do motor que pode ser ligado diretamente ao terra ou ao +Vcc, dependendo da lógica aplicada pelo usuário.

Os motores de passo bipolares têm um único enrolamento por fase, o que dificulta o controle por necessitar de inverter o sentido da corrente para também inverter o pólo magnético. Para este fim, é usado um arranjo ponte H, que é um circuito constituído por 4 chaves que comutam entre si para inverter o sentido da corrente. Como o motor utilizado neste trabalho será unipolar, o estudo sobre o funcionamento do circuito ponte H não será aprofundado.

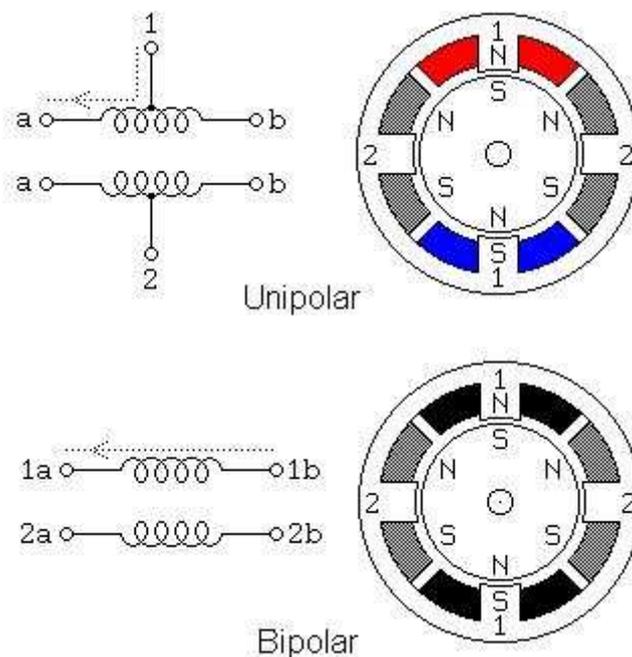


FIGURA 9 – Representação dos motores unipolar e bipolares  
 Fonte: Adaptado pelo autor (<http://www.electronica-pt.com/index.php/content/view/139/37/>).

Este estudo sobre o motor de passo foi baseado nos textos de Brites (2008) e Leite (2008), citados nas referências bibliográficas deste trabalho.

## 2.5 REED SWITCH

O *reed switch*, também conhecido como interruptor de lâmina, é um dispositivo simples que possui duas lâminas ferromagnéticas flexíveis próximas uma da outra e que fecham contato na presença de um campo magnético próximo. Essas lâminas são encapsuladas em vidro, juntamente com um gás inerte para evitar efeitos como deformação mecânica e oxidação, como ilustra a FIG. 9.

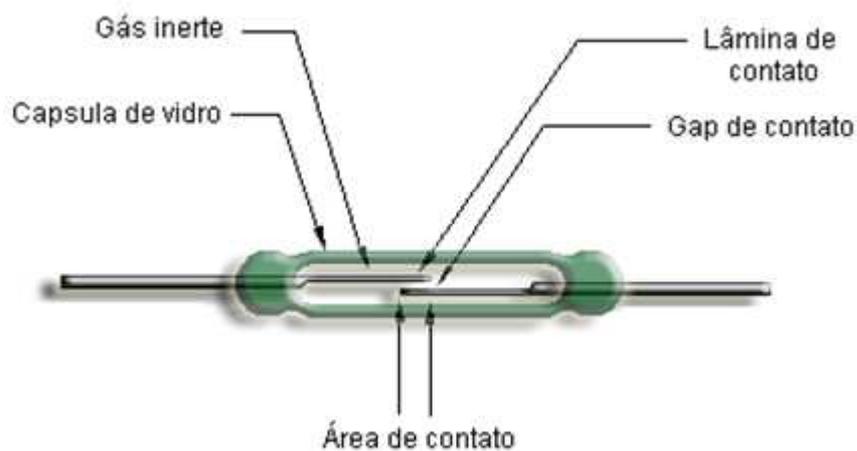


FIGURA 10 – Reed switch.

Fonte: Adaptada pelo autor (<http://icdusergroup.blogspot.com/2010/07/when-your-icds-reed-switch-fails.html>).

Para realizar seu acionamento, basta aproximar algum material magnético, sejam ímãs permanentes ou eletroímãs. O campo magnético irá unir as lâminas, fechando o contato. Para que isto aconteça, o campo magnético incidido no dispositivo em questão deve ser corretamente orientado, de forma que os contatos se atraiam, como mostra a FIG 10.

O *reed switch* tem uma vasta gama de aplicações, como no acionamento de alarmes, trancas elétricas, utilizado como sensor em controle de rotação de peças, ou até na detecção da passagem de objetos em uma linha de produção. A maioria desses componentes tem a especificação para trabalhar com correntes baixas, sendo que em aplicações que requisitam altas potências, seria necessária a confecção de circuitos de proteção. É um dispositivo de funcionamento simples, de

custo baixo e facilmente encontrado no mercado, mas é um componente frágil que exige certos cuidados em seu manuseio.

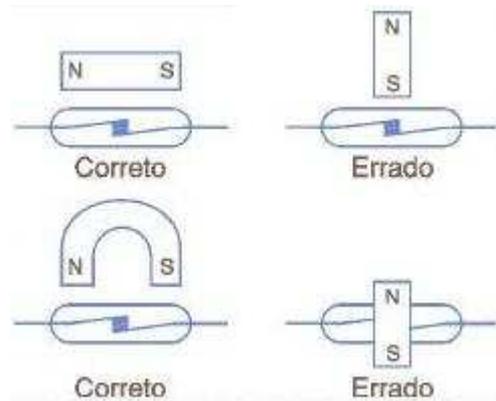


FIGURA 11 – Exemplo de magnetização correta do reed switch  
Fonte: Adaptado pelo autor (<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/51>).

As informações supracitadas sobre o reed switch foram estudadas a partir do artigo Reed Switch de Brites (2007) publicado na revista Mecatrônica Atual.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO PROTÓTIPO

##### 3.1.1 Descrição geral do protótipo

O equipamento dispõe de um sistema de movimentação linear que sustenta um carro de movimentação com oito pissetas de plástico de 15,5 cm de altura e 6,5 cm de diâmetro, dispostas em duas fileiras de quatro pissetas, onde, de acordo com o tempo estipulado, este sistema se movimenta por intermédio do acionamento de um motor de passo, alternando as pissetas destampadas na posição de enchimento. O posicionamento é feito por um *reed switch* posicionado na área de coleta. O enchimento é feito por duas válvulas solenóide convencionais de 127V (FIG. 14), que se alternam no acionamento, fixas no centro da câmara de coleta. Serão coletados 300ml de água por amostragem. Antes de cada amostragem será feito um escape de água por uma válvula idêntica à de preenchimento para que o resíduo de água da tubulação seja descartado, garantindo que todas as amostragens sejam feitas com a água que está sendo enviada para consumo naquele momento.

Este número de pissetas foi escolhido para suprir as necessidades na ausência de um operador noturno por 16 horas, atendendo às determinações da Portaria nº. 518/2004. Tais características foram escolhidas a partir desta necessidade, pois foi a partir daí que surgiu a idéia para o desenvolvimento deste projeto, mas o protótipo pode ser adaptado para outra parametrização ou quantidade de frascos de acordo com a necessidade de implementação.

O sistema de movimentação linear é feito por um sistema de parafuso de avanço, constituído por um fuso de 10mm de diâmetro situado ao centro e acoplado a rolamentos e duas guias paralelas, de mesmo diâmetro do fuso, sendo este conjunto suportado por dois mancais. O motor de passo se acopla ao fuso e imprime o

movimento rotacional no mesmo. Nos extremos esquerdo e direito do sistema existem chaves de fim de curso que têm a função de acusar que o carro de movimentação está no limite de curso.

O sistema eletrônico do protótipo pode ser dividido em três tipos de circuitos: Sistema de controle, Alimentação e *Drivers*. O sistema de controle é constituído pelo microcontrolador PIC 18F4550, o RTC DS1307 e a Interface Homem-Máquina (IHM) composta por um *display* de LCD e um conjunto de quatro botões. O circuito de alimentação recebe a entrada de 127V e disponibiliza saídas de 5V, para a alimentação do circuito do sistema de controle e, 12V, para a alimentação do motor de passo. Como as válvulas utilizadas tem tensão nominal equivalente à 127V não foi necessária a transformação de tensão para o seu acionamento. O circuito dos *drivers* pode ser dividido entre o *driver* do motor e o *driver* para as válvulas. Esses circuitos serão elucidados com mais detalhes ao longo deste capítulo.

Todo este sistema é suportado por uma estrutura de metal, feita com chapas de metalon fixadas umas as outras por rebites. Todo o sistema é lacrado por placas de material plástico, para proporcionar uma proteção mínima contra impurezas do ambiente que possam contaminar as amostras a serem realizadas e separar o sistema eletrônico da câmara de amostragem, protegendo o circuito da umidade que será gerada. A placa frontal do protótipo é móvel, por intermédio de duas dobradiças, para que seja possível a retirada dos frascos da câmara, como ilustra a FIG. 11.

O carro de movimentação é afixado a uma porca soldada á uma chapa de metal e um parafuso. A chapa de metal tem a função de prover estabilidade à fixação do carro ao sistema e o parafuso tem o papel de acoplar o carro à placa, dando firmeza à fixação com a ajuda de uma porca borboleta, que pode ser visto com detalhes na FIG. 12.

Todos os desenhos foram desenvolvidos pelo autor através do software de desenho AutoCAD® 2006.

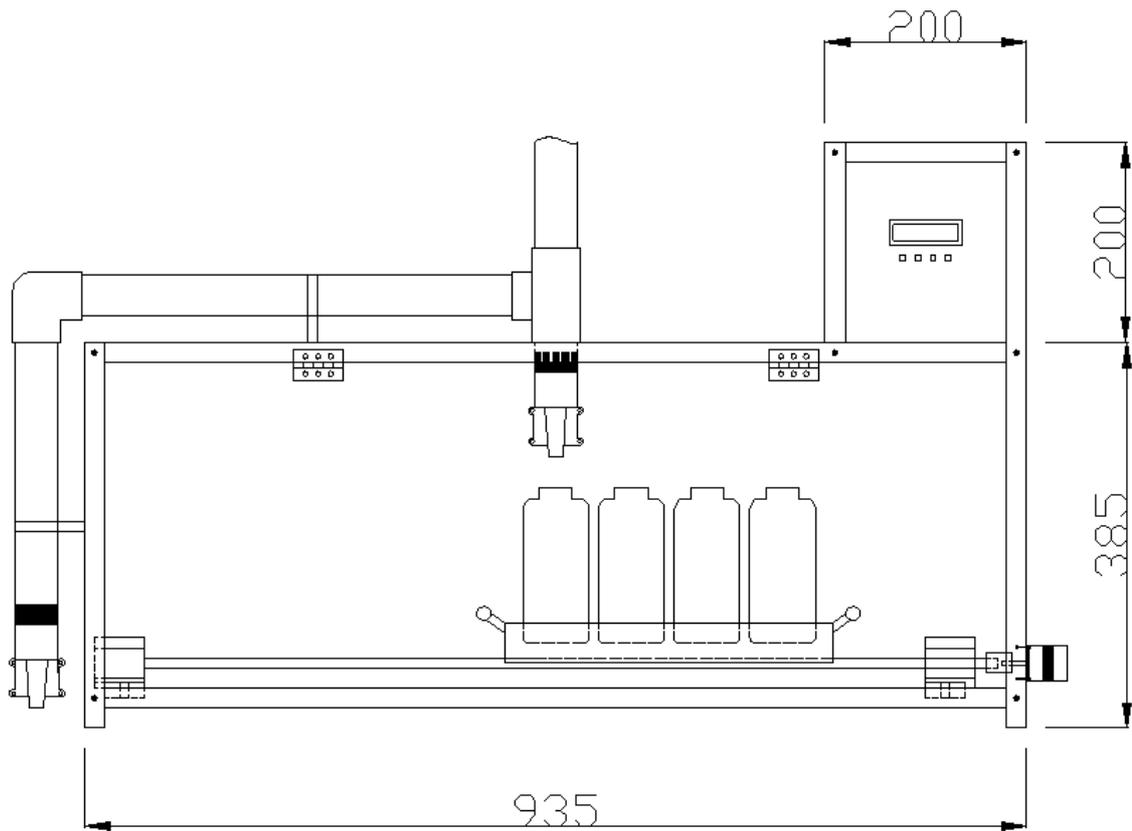


FIGURA 12 – Vista frontal do protótipo  
Fonte: Elaboração do autor.

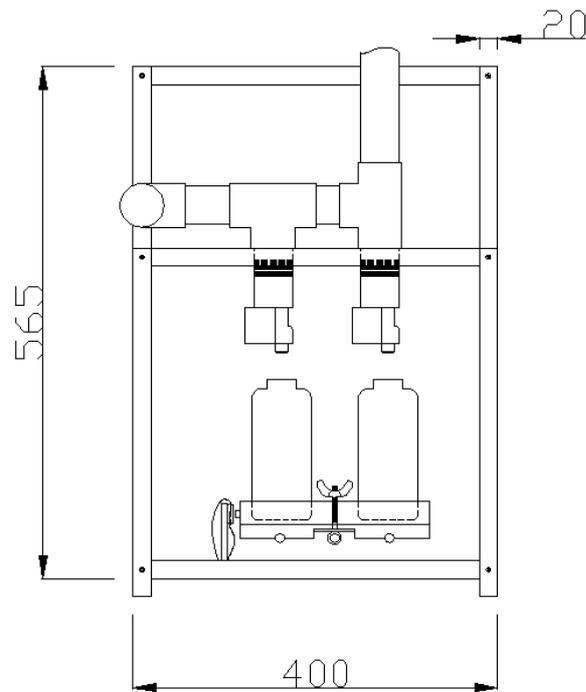


FIGURA 13 – Vista lateral do protótipo  
Fonte: Elaboração do autor.



FIGURA 14 – Válvula solenóide convencional 127V  
Fonte: [http://img2.mlstatic.com/s\\_MLB\\_v\\_O\\_f\\_143306782\\_3976.jpg](http://img2.mlstatic.com/s_MLB_v_O_f_143306782_3976.jpg).

### 3.1.2 Movimentação Linear

Para a realização da movimentação das pissetas foi escolhido o método parafuso de avanço, utilizado em processos que necessitam de uma movimentação precisa e com ajuste fino. Este método é geralmente usado em mesas Computer Numeric Control (CNC) pela precisão requisitada no processo. Para sua montagem, são necessárias duas guias, paralelas ao fuso, acopladas ao carro de movimentação (FIG 16). O fuso é colocado entre as duas guias e acoplado ao carro de movimentação por intermédio de uma porca soldada a uma chapa. Em ambas as extremidades, o conjunto do parafuso e guias é acoplados a mancais que realizam o suporte do sistema e permitem que o parafuso seja acoplado a rolamentos, ao centro de ambos os mancais, possibilitando o movimento rotativo do parafuso. Em uma das extremidades do sistema, o parafuso é acoplado ao motor de passo, que imprime o movimento rotativo ao parafuso. A tendência desse movimento seria

transferir a rotação para o carro, que giraria em conjunto com o parafuso. A função das guias é a solução desse problema, pois como as guias estão acopladas ao mesmo carro que o parafuso, que se localiza no centro, impedem que o carro gire em conjunto com o parafuso, em ambos os sentidos, e esse movimento é convertido em movimento linear. Para inverter o sentido de movimentação, basta inverter o sentido do giro do motor. Estas características estão ilustradas nas FIG. 15 e 16.

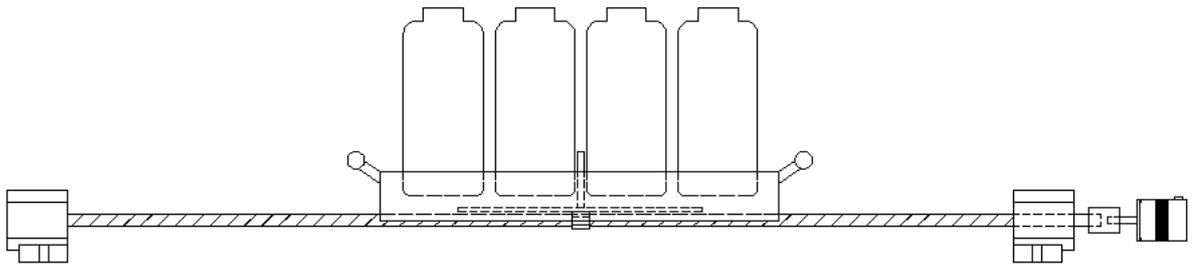


FIGURA 15 – Vista lateral do sistema de movimentação  
Fonte: Elaboração do autor.

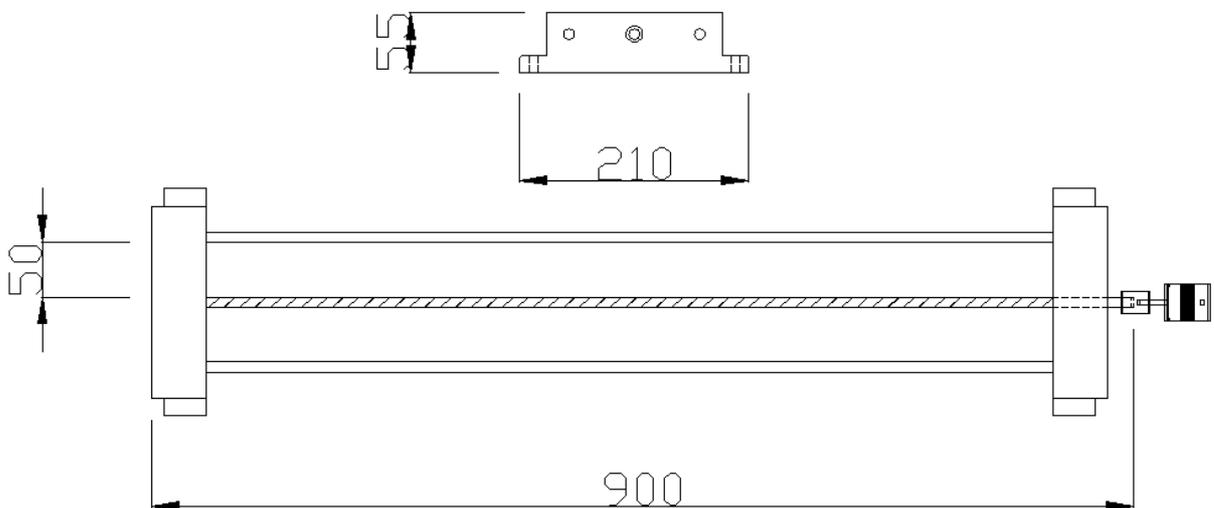


FIGURA 16 – Vista superior do sistema de movimentação e detalhes do mancal  
Fonte: Elaboração do autor.

### 3.1.2.1 Especificação do motor de passo

Para a especificação de um motor que atenda o sistema em questão, foi utilizado o método proposto no artigo “Sistema de controle de velocidade e posição para mesa coordenada cartesiana utilizada em máquinas ferramenta” (SANTANA, 2008), adequando os cálculos e considerações para a especificação deste trabalho.

Para a inicialização dos cálculos foram especificados o conjunto carro, fuso e guias da seguinte forma:

- Massa dos frascos ( $m_{fr}$ ): 0,2 – 2,4kg;
- Massa do carro ( $m_c$ ): 0,5kg;
- Comprimento do fuso ( $C_f$ ): 900mm;
- Diâmetro do fuso ( $d_f$ ): 10mm;
- Massa do fuso ( $m_f$ ): 1 kg;
- Passo do fuso ( $p_f$ ): 3mm/volta;
- Coeficiente de fricção dos rolamentos do fuso ( $\mu_f$ ): 0,005;
- Comprimento da guia linear ( $C_g$ ): 900mm;
- Coeficiente de fricção das guias ( $\mu_g$ ): 0,05;
- Força de pré-carga no fuso ( $F_p$ ): 2500N;
- Tempo de subida do motor de passo ( $t_r$ ): 100ms;
- Velocidade de deslocamento do carro ( $V_L$ ): 0,1m/s.

Alguns valores foram considerados superdimensionados para análise no pior caso e avaliados da mesma forma que Santana (2008), pois não foi possível a realização de testes para a determinação de valores como a força de pré carga, o coeficiente de fricção das guias e o tempo de subida do motor de passo.

Em seguida tem-se a modelagem do sistema, seguindo os passos descritos por Santana (2008). Nesta modelagem, analisam-se as cargas estáticas e dinâmicas para determinar o torque dinâmico do motor a ser utilizado. O torque dinâmico representa o máximo valor de torque que o motor poderá sofrer durante o

funcionamento. Como os motores de passo giram em uma dada velocidade, com qualquer carga que não ultrapasse o seu limite especificado, definindo a carga pico, pode-se dimensionar um motor que garanta o funcionamento pleno.

Inicia-se a modelagem pelo cálculo do torque estático refletido no eixo do fuso devido à fricção nas guias, que é:

$$T_g = \frac{p_f}{2\pi} \mu_g (m_c + m_{fr}) = \frac{0,003}{2\pi} 0,05(0,5 + 2,4) = 6.9232 \times 10^{-5} [Nm] \quad (1)$$

Em seguida, calcula-se o torque estático refletido no eixo do fuso devido à pré-carga do fuso da seguinte forma:

$$T_{pf} = \mu_f \frac{d_f}{2} F_p = 0,005 \frac{0,01}{2} 2500 = 0,0625 [Nm] \quad (2)$$

Então, o torque estático total refletido no fuso devido à fricção é:

$$T_e = T_g + T_{pf} = 6.9232 \times 10^{-5} + 0,0625 = 6,250069232 \times 10^{-2} [Nm] \quad (3)$$

Como o valor de  $T_g$  é muito pequeno, considera-se o valor de  $T_e = 0,0625 Nm$ .

O próximo passo é calcular as cargas dinâmicas suportadas pelo motor e inicia-se pelo cálculo do momento de inércia refletido no eixo pela massa do carro e dos frascos, dado pela seguinte fórmula:

$$J_{cf} = (m_c + m_{fr}) \left( \frac{p_f}{2\pi} \right)^2 = (2,4 + 0,5) \left( \frac{0,003}{2\pi} \right)^2 = 6.6111 \times 10^{-7} [Kgm^2] \quad (4)$$

Posteriormente calcula-se o momento de inércia do fuso, representado pela equação:

$$J_f = \frac{1}{2} m_f \left( \frac{d_f}{2} \right)^2 = \frac{1}{2} 1 \left( \frac{0,01}{2} \right)^2 = 1.25 \times 10^5 [Kgm^2] \quad (5)$$

Assim, o momento de inércia total refletido no eixo do motor, considerando o momento de inércia do rotor ( $J_r$ ) nulo, fica sendo:

$$J_t = J_{cf} + J_f + J_r = 6.6111 \times 10^{-7} + 1.25 \times 10^5 + 0 = 1.3161 \times 10^{-5} [Kgm^2] \quad (6)$$

Pode-se obter a velocidade angular do rotor através do passo do fuso e a velocidade linear estipulada, da seguinte forma:

$$\omega = \frac{V_L}{(p_f/2\pi)} = \frac{2\pi V_L}{p_f} = \frac{2\pi \times 0.1}{0.003} = 209,43 [rad/s] \quad (7)$$

Para definir a aceleração linear aproximada do sistema, divide-se a velocidade linear pelo tempo de subida do motor de passo, ou seja:

$$a_L = \frac{V_L}{t_r} = \frac{0,1}{0,1} = 1 [m/s^2] \quad (8)$$

Então, a aceleração angular fica sendo:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{a_L}{(p_f/2\pi)} = \frac{2\pi a_L}{p_f} = \frac{2\pi \times 1}{0,003} = 2094,4 [rad/s^2] \quad (9)$$

Considerando que o atrito viscoso ( $B$ ) inicial é nulo, o torque dinâmico total pode ser definido da seguinte forma:

$$T_d = J_t \frac{d\omega}{dt} + B\omega + T_e = 1.3161 \times 10^{-5} \times 2094,4 + 0 \times 209,43 + 0,0625 = 0,0901 [Nm] \quad (10)$$

As cargas dinâmicas correspondem à multiplicação do momento de inércia total do sistema pela aceleração angular do motor. Isto quer dizer que, o máximo torque que o motor de passo deve suportar para movimentar o sistema especificado equivale a 0,0901Nm ou 0,9187kgf.cm.

Baseando-se neste resultado, o motor de passo existente no mercado que atende a função de movimentação do sistema tem as seguintes características:

- Torque dinâmico: 1,1Kgf.cm;
- Tensão: 12V;
- Corrente: 0,1A/fase;
- Passo: 1,8°;
- Unipolar.

Foi escolhido um motor unipolar operando em modo *full step* pois estas características simplificam o acionamento do motor e tem um custo reduzido.

### 3.1.3 Sistema de alimentação

Durante o desenvolvimento do projeto foi constatada a necessidade do desenvolvimento de uma fonte de alimentação que disponibilizasse dois níveis de tensão, sendo estes 5V e 12V.

O nível de tensão de 5V é necessário para a alimentação dos componentes eletrônicos, que são o PIC18F4550, o RTC DS1307 e o *display* de LCD. Também é utilizado para o fornecimento dos sinais de entrada para o microcontrolador por intermédio dos botões de parametrização, chaves de fim de curso, o *reed switch*, e bem como o nível de tensão alto para as linhas de comunicação I<sup>2</sup>C.

O nível de tensão de 12V é necessário para o acionamento do motor de passo, que realiza o movimento de posicionamento do sistema. Esta tensão é fornecida diretamente à entrada comum do motor de passo.

O circuito da fonte de alimentação é relativamente simples, partindo de um transformador de 127/12V e uma ponte de diodos para a retificação do sinal. Foram utilizados também os circuitos integrados KA7805 e KA7812, que são reguladores de tensão respectivamente para 5V e 12V e, trabalham com correntes de até 1A, combinados com capacitores de 470µF e 100nF para a filtragem do sinal.

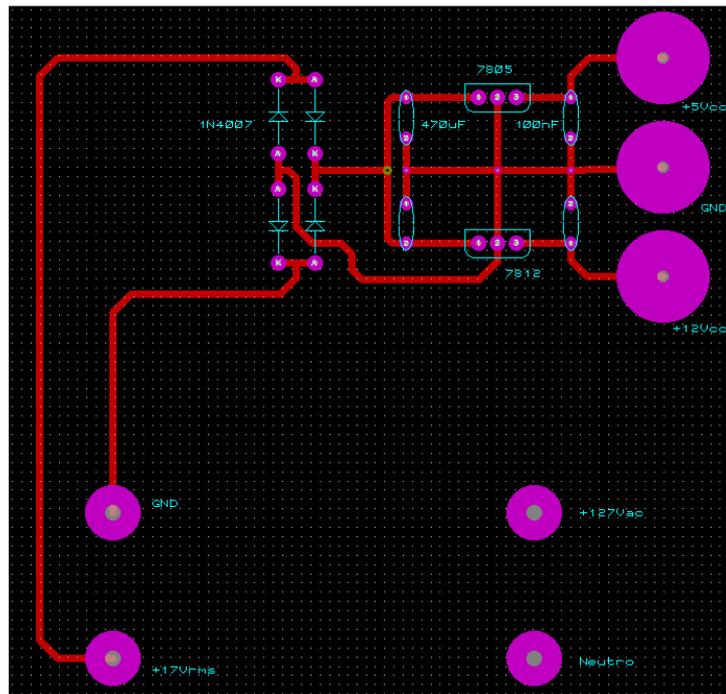


FIGURA 17 – Layout do circuito da fonte de alimentação  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.4 Drivers

Os *drivers* são circuitos para interligar circuitos de diferentes potências. Neste trabalho os *drivers* foram desenvolvidos para estabelecer o acionamento seguro das válvulas e do motor de passo pelo sistema de controle. O PIC trabalha numa tensão de 5V e correntes de até 300mA, características insuficientes para o acionamento das válvulas, que são acionadas por 127V de entrada e, o motor de passo que trabalha em 12V. Como também as válvulas e o motor têm características distintas, houve a necessidade da criação de um *driver* para cada tipo de periférico.

#### 3.1.4.1 Driver do motor de passo

O *driver* do motor consiste em um circuito de potência para cada bobina, formado pelo CI 74125, que tem a função de *buffer* e um resistor de 1K $\Omega$  em série com a

saída deste *buffer* ligado à base de um transistor TIP122, sendo que este tem em seu coletor a bobina em paralelo a um diodo de roda livre (1N4007), enquanto que seu emissor está ligado ao terra, a fim de fechar a malha do circuito.

O *buffer tri-state* foi utilizado para isolar as bobinas que não estão em uso do acesso ao barramento, de modo a evitar que uma possível corrente de retorno afete o funcionamento do protótipo. Seu *data-sheet* pode ser encontrado no site [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/7/4/1/2/74125.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/7/4/1/2/74125.shtml).

Os resistores atuam como limitadores de corrente e são fundamentais para o chaveamento do TIP122 que, por sua vez habilita cada uma das bobinas com corrente superior a 200mA. Seu *data-sheet* pode ser encontrado no site [http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets\\_pdf/T/I/P/1/TIP122.shtml](http://www.datasheetcatalog.net/pt/datasheets_pdf/T/I/P/1/TIP122.shtml)

O diodo de roda-livre serve para a desenergização da bobina (analogia ao indutor), para que não ocorra sobretensão e possível falha no regulador da fonte, ou no próprio transistor do módulo do *driver* do motor. O *layout* da placa pode ser visualizado na FIG. 18.

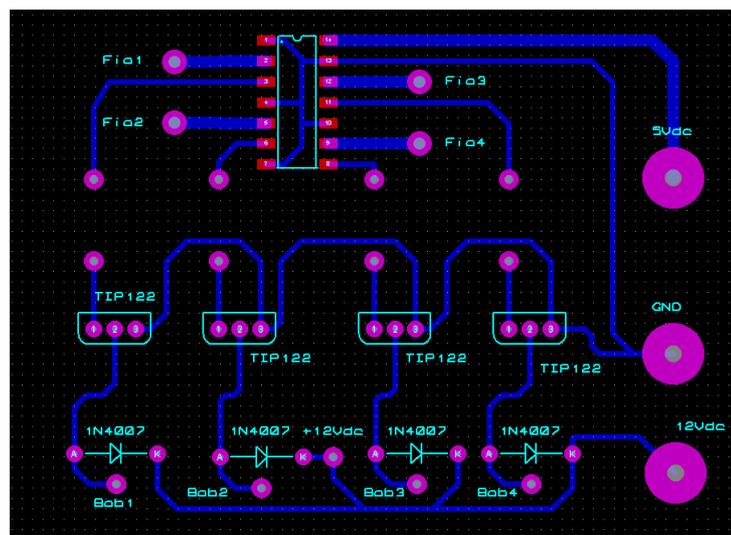


FIGURA 18 – Layout do *driver* do motor de passo  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.4.2 Driver das válvulas

Para o acionamento de cada válvula é necessário um circuito de acionamento composto por transistores BD135 ligados aos pinos RE0, RE1 e RE2 do PIC por intermédio de resistores de  $100\Omega$ . Ao acioná-lo uma corrente passará pela bobina comutando o relé, energizando a bobina da válvula e realizando sua abertura. Em paralelo com a bobina do relé temos um diodo de roda livre para evitar sobretensão nos terminais do transistor devido à indutância da bobina. Nas válvulas temos um filtro RC paralelo às bobinas das mesmas, para amenizar as interferências eletromagnéticas provenientes da bobina da válvula.

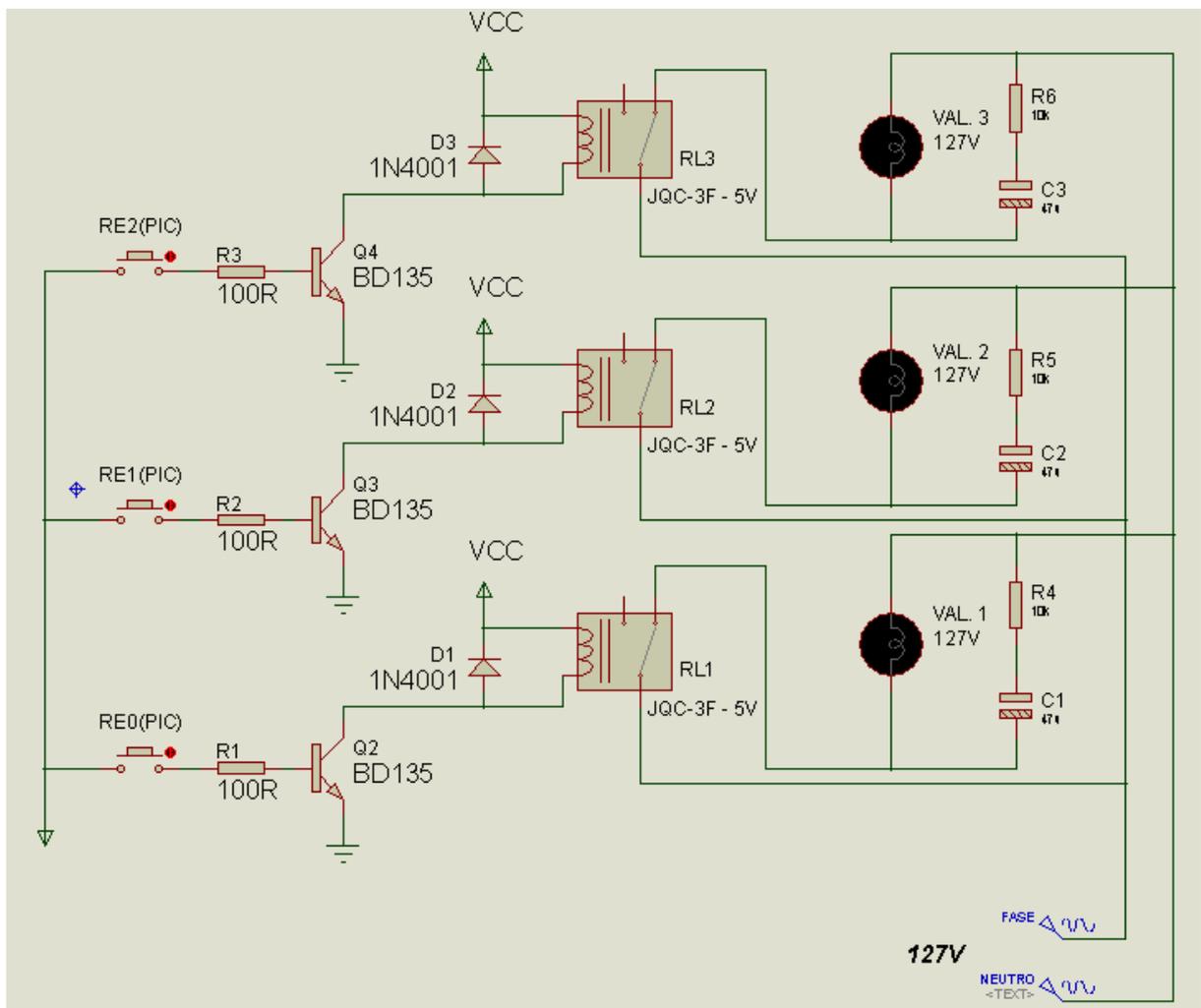


FIGURA 19 - Circuito do *driver* das válvulas  
Fonte: Elaborado pelo autor.

### 3.1.5 Sistema de controle

Este é o principal circuito do protótipo, pois é através dele que as decisões são tomadas a partir dos dados de entrada e os sinais de saída são enviados para o controle dos periféricos do sistema.

O sistema de controle é composto pelo microcontrolador 18F4550, interligado ao relógio de tempo real DS1307 por comunicação I<sup>2</sup>C. Também faz parte do circuito um sistema de IHM que possui um *display* de LCD GDM1602B interligado ao PIC e quatro *push buttons* para a interação do usuário com o sistema.

A alimentação de todo esse circuito é feita pela saída 5V da fonte de alimentação, sendo que o PIC recebe esta tensão nos pinos 11 e 32 (VDD), que são interligados externamente. Da mesma forma, os pinos 12 e 31 (VSS) recebem o neutro e também são interligados. O CI DS1307 recebe 5V no pino 8 (VCC) e o neutro em seu pino 4 (GND). O *display* GDM1602B recebe 5V em seu pino 1(VDD) e o neutro em seu pino 2 (VSS).

Todos os botões do sistema são ligados diretamente ao terra, trabalhando por lógica inversa (ao invés de enviar sinal alto para o pino do PIC, o botão envia sinal baixo), sendo que, os pinos A0 a A3 recebem constantemente 5V interligados a esta tensão por intermédio de um resistor de 10KΩ.

Do restante de ligações existentes ao PIC 18F4550, se interligam o sensor de posicionamento (*reed switch*) no pino 33 (RB0), para acionar a interrupção externa que realiza a parada do sistema de movimentação linear. Sua lógica também é inversa, da forma descrita anteriormente para os botões.

São também ligadas ao sistema as saídas de acionamento para o *driver* das válvulas, onde foi definido o pino 8 (E0) para o acionamento da válvula de escape e o pino 9 (E1) para o acionamento da válvula de preenchimento.

O sistema também é interligado aos quatro fios de acionamento do motor de passo, dispostos entre os pinos C1, C2, C4 e C5, alternando o acionamento das saídas de acordo com a frequência estipulada no programa.

O CI DS1307 é interligado ao PIC pela comunicação I<sup>2</sup>C e duas saídas SCL e SDA são respectivamente os pinos 6 e 5. Em ambas as trilhas de conexão de comunicação são conectados um resistor de 5K1Ω ligado à fonte de 5V, mantendo as portas C6 e C7 sempre em nível alto, de acordo com as especificações desta comunicação. O componente também possui uma entrada para a tensão de uma bateria de 3V para manter o circuito do relógio em funcionamento, mesmo em uma possível queda de energia, possibilitando que o PIC possa comunicar com o RTC e recarregar a hora certa, mesmo depois da queda de energia, e continue o processo de onde parou.

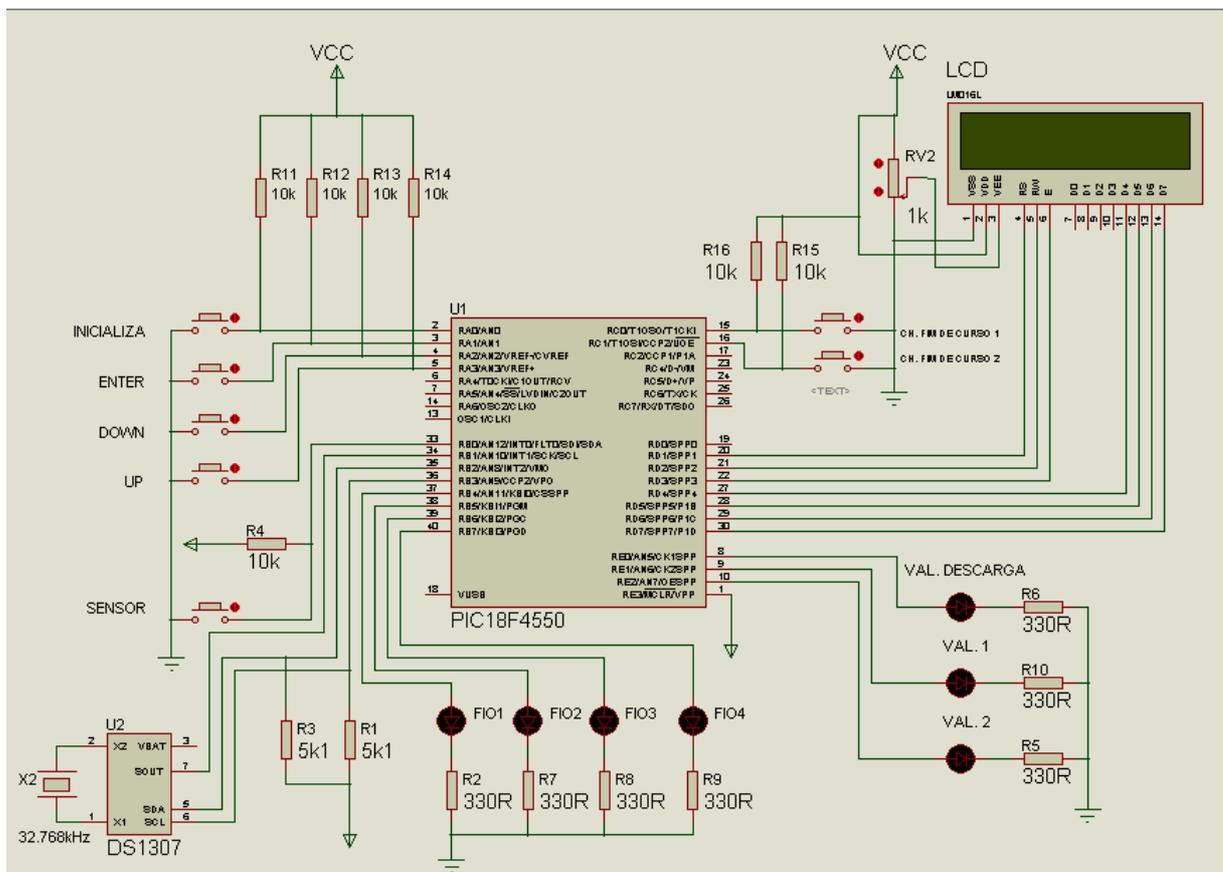


FIGURA 20 – Circuito do sistema de controle  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Na FIG. 21, podemos visualizar as interligações entre os circuitos supracitados, representado em um diagrama de blocos.

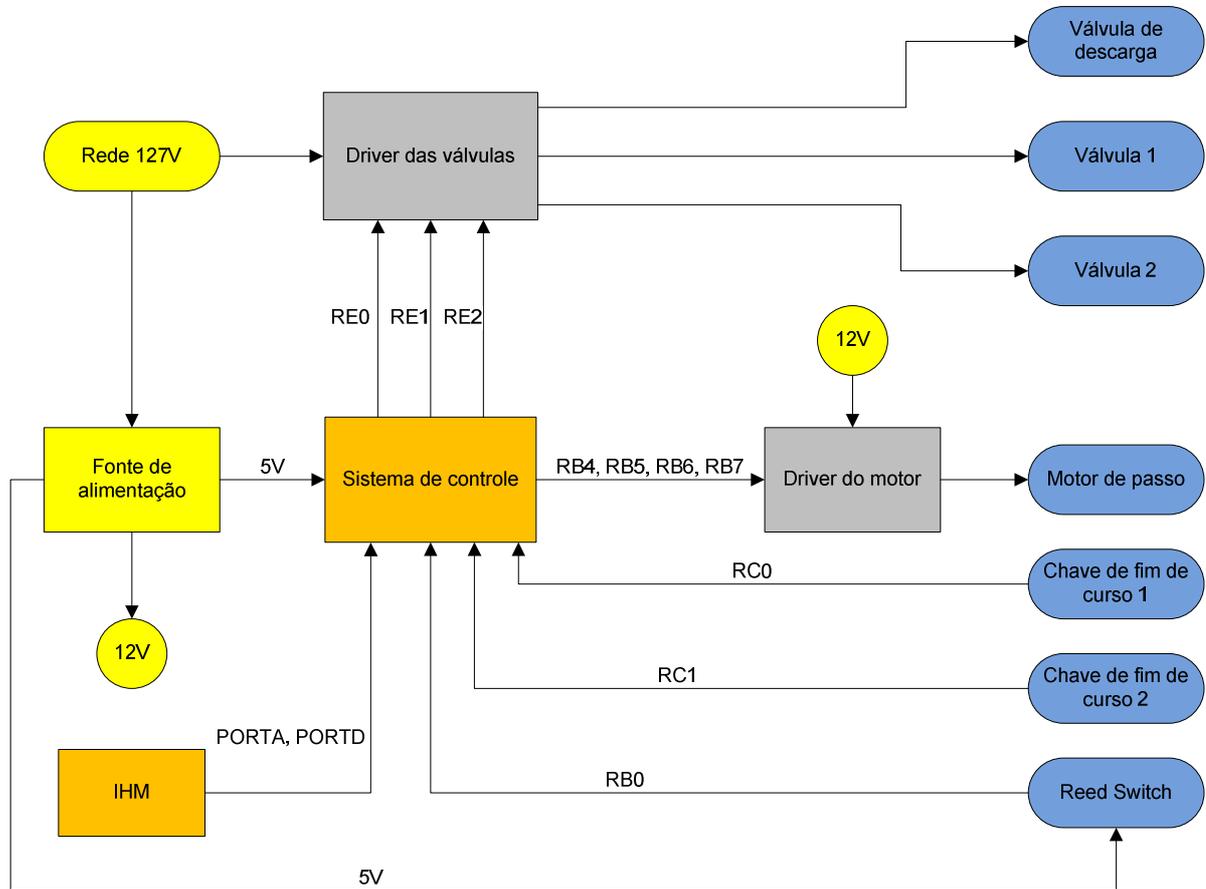


FIGURA 21 – Diagrama de blocos do sistema  
Fonte: Elaborado pelo autor.

## 3.2 ESTRUTURA DE PROGRAMAÇÃO

### 3.2.1 Descritivo funcional do protótipo

É na programação do sistema de controle que se define como serão processadas as entradas de dados ao microcontrolador e que tipo de resposta deve ser retornada aos seus periféricos controlados. Neste momento devem ser definidas todas as ações diretas de cada periférico como também proteções contra ações que possam desviar o componente de seu funcionamento ideal. O programador deve conhecer profundamente o funcionamento do sistema para que seja possível a definição de todas as ações que possam ser enviadas para o controlador, a fim de que estas não entrem em conflito, definindo as prioridades de ação e intertravamentos entre elas.

Outra função importante do programador é criar o programa de forma mais “limpa” possível, evitando redundâncias, sendo objetivo em suas lógicas, para que o controlador tenha uma resposta rápida, realizando as ações no tempo necessitado pelo processo.

Para conseguir atender a estes requisitos, o descritivo funcional é de extrema importância na criação do programa, detalhando cada parte do processo. A seguir serão definidos os comportamentos necessários perante cada momento do sistema e cada entrada de dados, a forma de interação entre o operador, o equipamento e seus periféricos controlados.

As funções do sistema de controle deste protótipo que devem ser realizadas pela programação podem ser resumidas da seguinte forma:

- Controlar a posição correta das pissetas, garantindo que sempre estarão no ponto certo de coleta, para que não haja um derramamento de água no equipamento e, conseqüentemente, uma quantidade insuficiente de água para o processo de análise;

- Acionar a válvula de escape no tempo necessário para renovação da água contida na tubulação, proveniente da última coleta e, em seguida, a válvula de preenchimento, no tempo exato para a coleta de 300 ml de água para cada pisseta;
- Realizar a detecção, por intermédio das chaves de fim de curso, da chegada do carro de movimentação a uma das extremidades do percurso de preenchimento, paralisando o sistema de movimentação para que as amostras sejam retiradas para análise;
- Processar o acionamento dos botões da IHM de acordo com suas funções em cada *menu* de acesso ao operador;
- Ordenar as mensagens que são mostradas no *display* de LCD de acordo com o momento do processo e a seleção de *menus* e atuação do usuário;
- Receber os dados de parametrização do usuário, gravá-los na memória EEPROM para que não sejam perdidos em caso de queda de energia e para a visualização posterior;
- Realizar a comunicação com o RTC DS1307 pelo protocolo I<sup>2</sup>C, atualizando constantemente o horário no *display* de LCD;
- Ser capaz de programar os horários de acordo com a parametrização do usuário, recebendo o horário da primeira coleta e o intervalo de tempo entre elas;
- Realizar as coletas nos horários programados.

Após a inicialização do sistema, o posicionamento das válvulas será feito por um *reed switch*, como citado anteriormente, e este envia nível baixo (GND) para o microcontrolador quando detectada a posição correta da pisseta (o *status* inicial do pino que recebe o sinal do sensor é 5V). Em seguida o sistema de movimentação deve parar e as válvulas devem ser acionadas. O tempo de acionamento das válvulas de escape deve ser determinado para cada aplicação, pois depende da metragem de tubulação entre o equipamento e o ponto onde a água é retirada. Já o tempo de acionamento das válvulas de preenchimento depende da pressão que atua na tubulação, e pode ser estipulado por testes empíricos realizados em cada caso. As válvulas de preenchimento devem se alternar de acordo com a frequência estipulada na parametrização sempre acionando primeiro a válvula da direita, de

acordo com a FIG. 13. Quando ambas as válvulas forem acionadas, o motor deve posicionar os próximos dois frascos na posição de preenchimento, respeitando o tempo estipulado entre as amostragens. Este procedimento deve ser repetido para todas as oito coletas.

Ao final das coletas, o sistema irá alcançar o extremo direito da câmara de coleta, acionando uma chave de fim de curso, o que indica que o operador deve retirar os frascos de coleta, realizar as análises necessárias, recolocar todos os frascos vazios na câmara, programar os novos horários de coleta e pressionar o botão INICIALIZAR. Ao pressionar este botão o sistema de movimentação deve guiar o carro de movimentação até o extremo esquerdo da câmara, onde acionará outra chave de fim de curso para indicar que o conjunto de pissetas está na posição inicial, lembrando que neste percurso de retorno o sensor de posicionamento não deve paralisar o sistema. A partir deste momento todo o ciclo de preenchimento das pissetas deve se repetir.

A IHM tem a função de parametrização do tempo de alternância entre as amostragens, programação dos horários, visualização do relógio e dos horários das últimas oito coletas realizadas. O IHM possui quatro botões, sendo estes um ENTER, INICIALIZA, UP e DOWN. O botão ENTER tem a função de validar os valores selecionados e acessar os *menus* do sistema. O botão INICIALIZAR dá o *start up* ao sistema, sendo utilizado também para a finalização dos processos de parametrização. Os botões UP e DOWN têm a função de incrementar e decrementar os valores de parametrização, selecionar os *menus* e os horários de coleta programados.

A tela principal do sistema mostra ao usuário a hora atualizada de minuto em minuto e o horário da próxima coleta. Caso ainda não tenha sido feita a programação dos horários, o *display* indicará a palavra *None* no espaço respectivo ao horário.

O sistema disponibiliza de dois *menus* selecionáveis denominados “Parametrização do sistema” e “Visualização de horários”. No *menu* de parametrização, o usuário

define o tempo entre cada coleta. Para isso, deve-se usar os botões para incrementar ou decrementar os valores com os botões UP e DOWN respectivamente. Para selecionar as casas numéricas a serem editadas deve-se pressionar o botão ENTER. Ao finalizar a escolha, pressiona-se o botão INICIALIZAR para confirmar e registrar o valor estipulado. O próximo passo será definir o horário da primeira coleta que é feito pelo mesmo processo supracitado. Finalizado o processo, o *display* volta a mostrar a tela principal, agora com a indicação do próximo horário de coleta. No caso deste protótipo, a frequência já esta estipulada pela Portaria nº. 518/GM definida para ocorrer de duas em duas horas e este valor será fixado via software.

O *menu* de visualização permite ao usuário que confira todos os horários programados para todos os frascos durante o ciclo de preenchimento e também após a sua finalização. Utiliza-se os botões UP e DOWN para selecionar o horário de cada coleta. Com a realização de uma nova parametrização os valores de visualização serão sobrepostos de acordo com a nova entrada de dados.

Caso o usuário queira sair de qualquer um dos *menus* deve aguardar 7 segundos para o retorno automático à tela principal. O *menu* de parametrização só retorna após a seleção do horário e confirmação.

### **3.2.2 Programação**

A linguagem de programação utilizada na criação do programa para o controle do sistema proposto nesse trabalho foi a linguagem C. Esta linguagem agrupa conjuntos de instruções *assembly* em um único comando, de forma a diminuir o *script* de instruções que é mostrado ao programador, facilitando o entendimento do programa e proporcionando uma maior dinâmica à programação. Esta linguagem foi utilizada também por ter sido alvo de estudos durante o curso Engenharia de

Automação Industrial, o que proporcionou um maior domínio sobre a linguagem e, conseqüentemente, mais dinamicidade à programação.

A programação foi implementada de acordo com o descritivo funcional, englobando todas as funções que o sistema de controle deve realizar. Para o melhor entendimento da programação é de grande utilidade a criação de um fluxograma que represente os estágios, os *loops* e toda a lógica sequencial para a criação do programa de controle. A seguir, será feito o detalhamento de toda a programação, baseado no fluxograma criado.

Ao iniciar o sistema, o programa deve realizar as configurações iniciais como a inicialização dos PORT'S, configuração dos *flags* de programa, inicialização do *display*, inicialização da comunicação I<sup>2</sup>C, configuração das interrupções que serão utilizadas (interrupção externa dos pinos RB0 e RB1, interrupção de estouro do *timer* 1) e configuração do oscilador interno para 4MHz, como mostra a FIG. 22. Isto deve ser feito, pois antes da aplicação dos comandos de programação, o sistema deve estar preparado para todas as chamadas de funções que serão realizadas.

Após as configurações, o programa se dirige para as rotinas de inserção de dados pelo usuário, desligando as interrupções para que estas não interrompam o processo de parametrização. A primeira decisão do programa é verificar se naquele momento ocorre a primeira inicialização ou houve uma queda de energia e o sistema desligou. Caso detectado uma reinicialização por falta de energia, o sistema deve recuperar os dados anteriormente gravados na memória EEPROM e reinicializar todo o processo de onde parou, atualizando o relógio no *display* em seguida. Como o RTC possui uma bateria auxiliar, mesmo com a falta de energia, o relógio não irá perder sua contagem, sendo assim basta apenas ler o valor atual diretamente do RTC e atualizar o *display*. Caso seja a primeira inicialização, o sistema deve solicitar ao usuário que insira a hora certa para que o sistema configure o RTC e inicialize a partir deste horário.

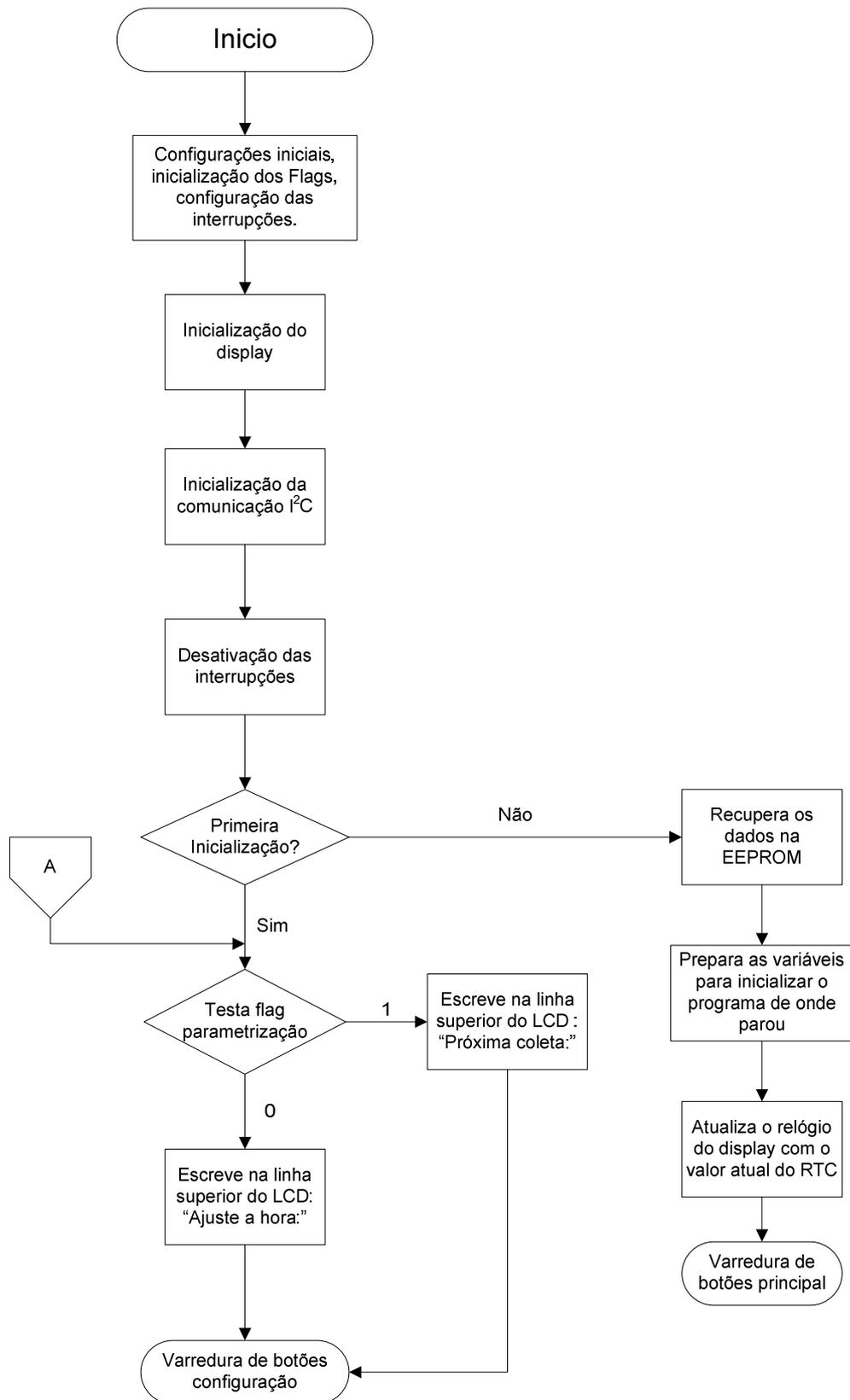


FIGURA 22 – Fluxograma que representa a inicialização do programa  
 Fonte: Elaborado pelo autor.

A varredura de botões é necessária para que seja feita a seleção dos dados pelo usuário detectando qual botão foi pressionado. A varredura consiste em um *loop* infinito que checa constantemente o status de cada botão, no momento em que um desses botões for pressionado o programa deve ser dirigido à rotina que realiza o tratamento deste botão. Outro fator importante a ressaltar é que em diferentes momentos do programa os botões podem ter funções diferentes. A primeira rotina de varredura de botões tem a função de direcionar os botões para as suas respectivas funções na parte da configuração do sistema, como ilustra a FIG. 23.

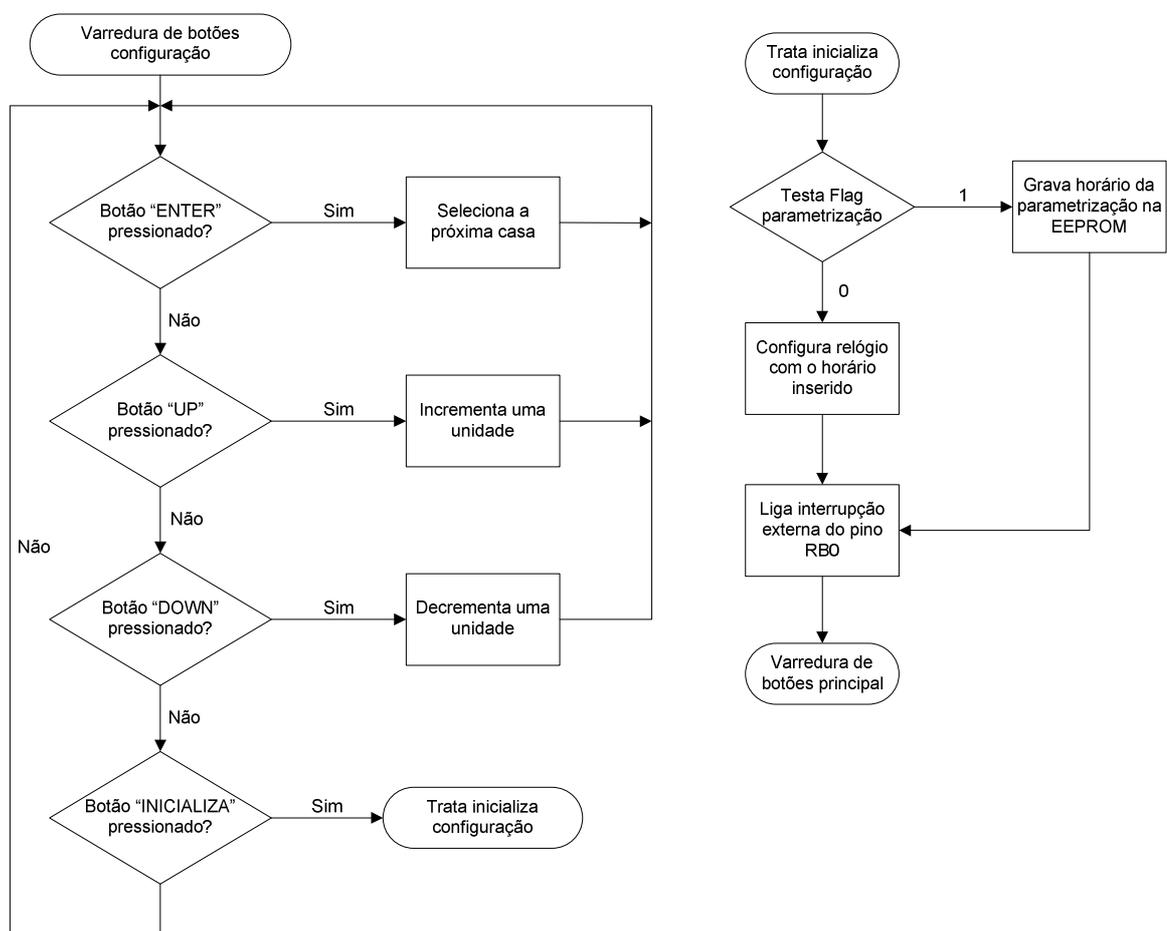


FIGURA 23 – Varredura de botões de configuração e o tratamento do botão INICIALIZAR.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

O botão UP, quando pressionado, deve incrementar uma unidade à casa selecionada. O limite máximo de cada casa segue o formato das horas de 0 a 23, sendo a primeira casa das horas limitada até o valor 2, a segunda casa depende do

valor da primeira de acordo com a seguinte lógica: caso 0 ou 1, o limite da segunda casa é 9; caso 2, o limite passa a ser 3. A primeira casa dos minutos é limitada em 5, e a segunda em 9.

O botão DOWN realiza o decremento de uma unidade à casa selecionada, quando pressionado. Segue os mesmos limites de máximos descritos no para o botão UP.

O botão ENTER, quando pressionado realiza a seleção das casas, sempre “pulando” para a próxima casa no sentido da esquerda para a direita.

O botão INICIALIZAR deve finalizar o processo quando pressionado, verificando se os dados inseridos pelo usuário são destinados a parametrização do horário de coleta ou para a configuração inicial do sistema. No caso de parametrização, o horário inserido pelo usuário deve ser gravado na memória EEPROM juntamente com os outros 7 horários correspondentes à sequência de preenchimento dos 8 frascos. Há uma diferença de 2 horas entre cada horário, frequência pré-definida na programação deste trabalho. Caso seja a primeira inicialização, o horário inserido pelo usuário deve ser enviado para o RTC para que inicialize a contagem a partir deste. No final da realização de uma destas rotinas, as interrupções externas (pinos RB0 e RB1) devem ser ativadas e o programa dirigido para a varredura principal de botões.

No instante em que cada botão for pressionado a ação realizada deve ser atualizada no *display*. No caso de parametrização do tempo das amostras, a linha superior do *display* apresentará a mensagem “Próxima coleta:”, caso seja o ajuste do horário de inicialização, a mensagem na linha superior será “Ajuste a hora:”, como representado na FIG. 22. A linha inferior é onde se apresenta o horário que esta sendo configurado pelo usuário.

A varredura principal de botões é o estágio do programa mais utilizado. Este atualiza na linha superior do *display* a tela principal que apresenta o horário da próxima coleta caso tenha sido parametrizado e, na linha inferior, a hora atual. O tratamento

dos botões, neste estágio, é diferente do formato descrito inicialmente, como mostra a FIG. 24.

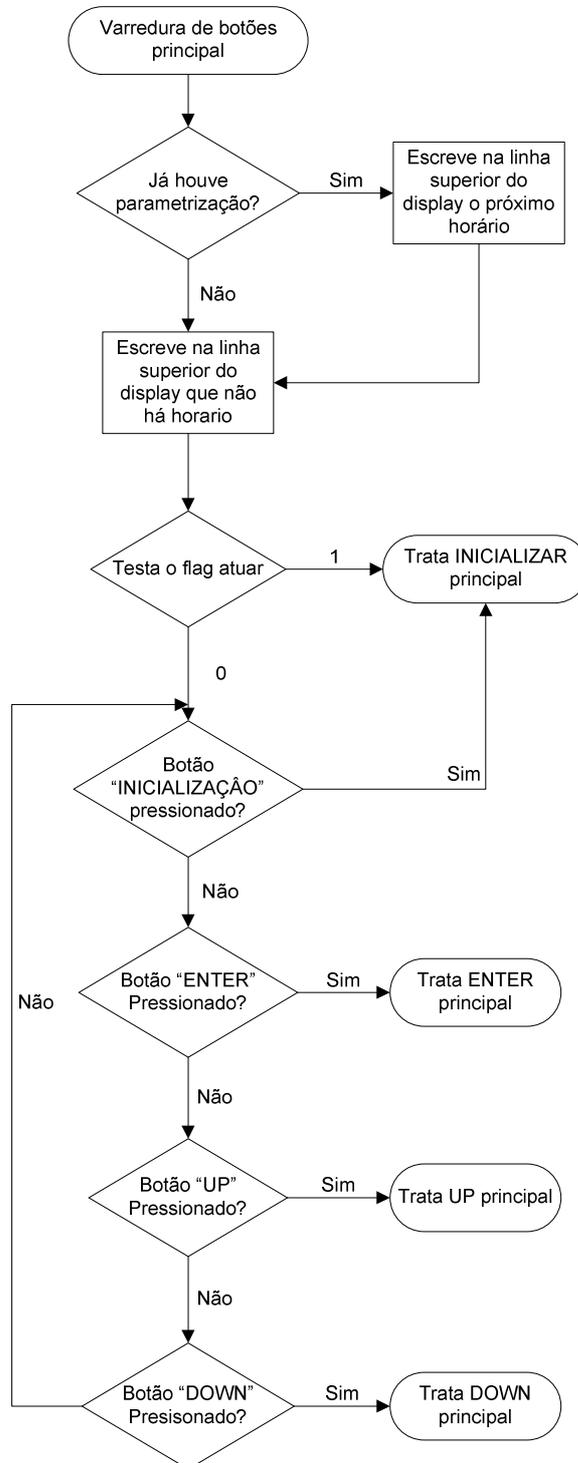


FIGURA 24 – Fluxograma que representa a varredura de botões principal.  
Fonte: Elaborado pelo autor.

O botão INICIALIZAR realiza uma coleta não programada no instante em que é pressionado. O programa é enviado para a rotina “Trata INICIALIZAR principal”, que consiste em um *loop* que realiza a alternância dos pulsos entre os fios do motor de passo até que o sensor acuse a chegada do sistema ao ponto de preenchimento. Quando o sensor detecta que o conjunto está na posição envia um pulso para o pino RB0 que aciona sua interrupção externa. A interrupção paralisa o motor, aciona a válvula de descarte e em sequência a válvula de preenchimento, ambas no tempo necessário que é determinado de acordo com o local de aplicação do equipamento, indicando as operações no *display*. Também aciona um *flag* que permite a saída do *loop* de movimentação após o retorno da interrupção. No final desta operação, o programa volta a seu *loop* principal. Caso seja pressionado alguma das chaves de fim de curso, o programa também sai do *loop* de movimentação imediatamente.

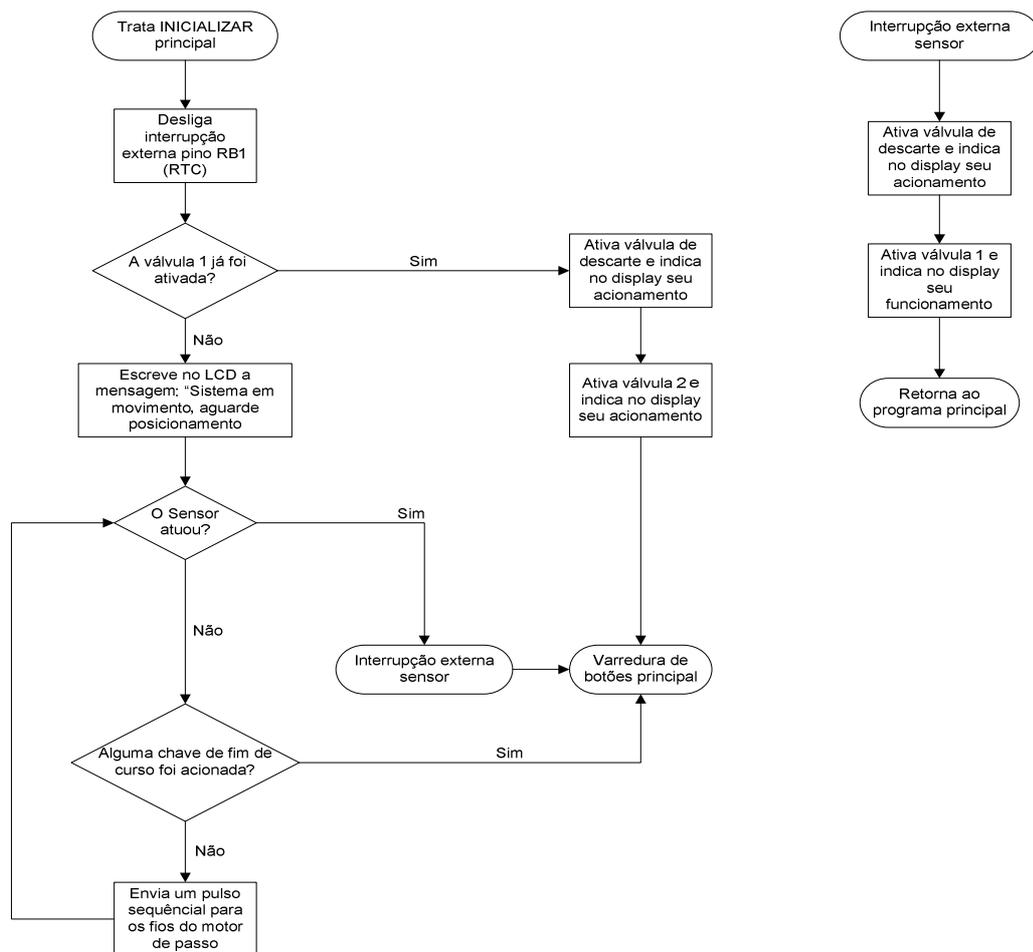


FIGURA 25 – Fluxograma da rotina Trata INICIALIZAR principal.

Fonte: Elaborada pelo autor.

O botão UP e o botão DOWN, neste estágio do programa, realizam a seleção dos *menus*. Quando pressionados alternam entre a seleção do *menu* “Parametrização do sistema” e “Visualização de Horários”, mostrando essas mensagens no *display*. A interrupção do *timer 1* é ativada neste processo de seleção, para realizar o retorno ao *menu* principal após 7 segundos de inatividade nos botões. A função que atualiza o relógio do *display* na interrupção externa do pino RB0 é desativada durante essa operação, pois se essa atualização for executada acontecerá uma colisão de mensagens no *display* durante a seleção dos *menus*. Caso esteja selecionado o *menu* “Visualizar horários”, os botões, pelo *display*, realizarão a seleção para visualização dos oito horários programados para a coleta de cada frasco.

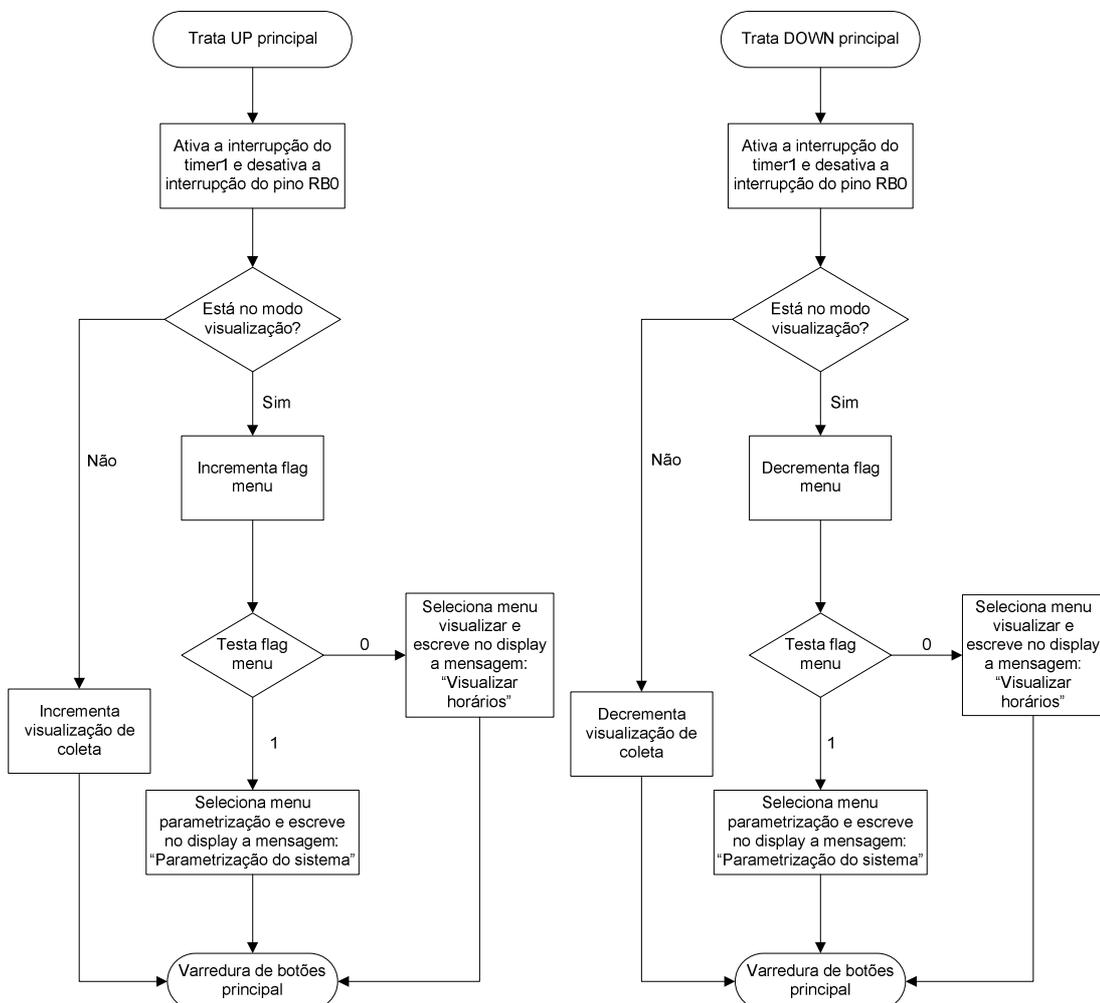


FIGURA 26 – Fluxograma do tratamento dos botões UP e DOWN  
Fonte: Elaborada pelo autor.

O botão ENTER realiza a confirmação da escolha do *menu* selecionado no instante que for pressionado, sendo que quando isso ocorre na tela principal, não tem efeito algum.

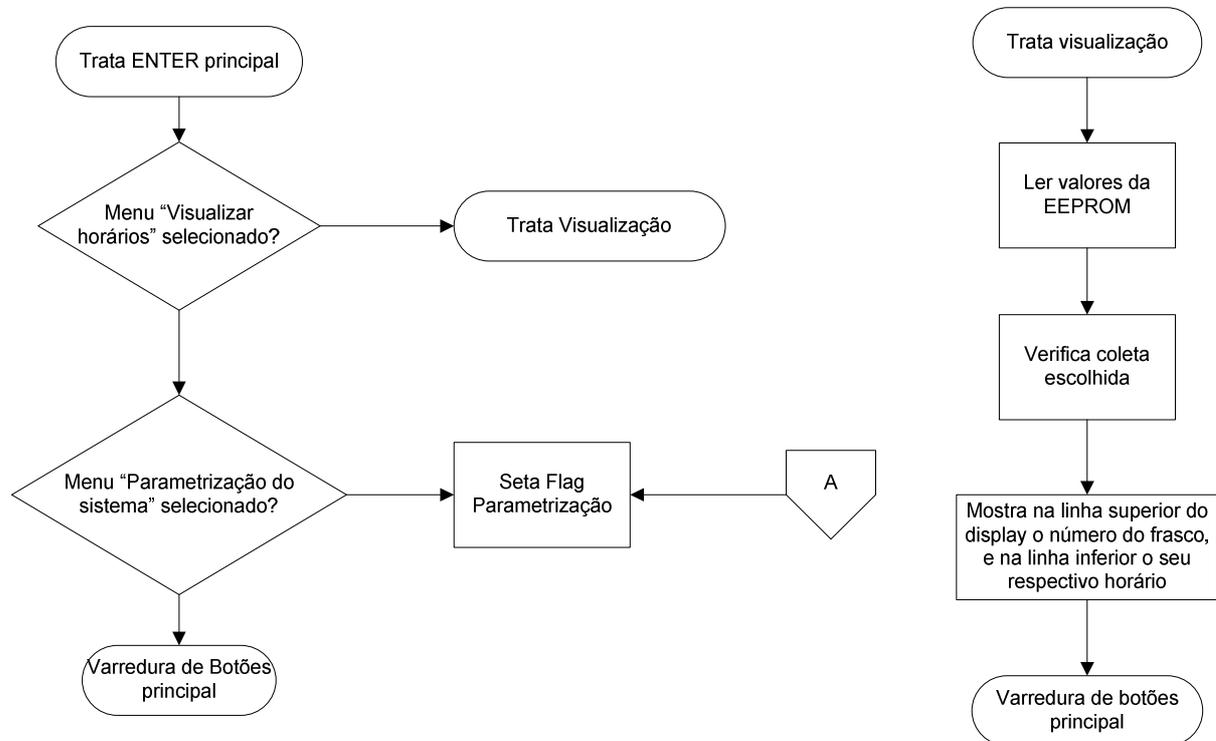


FIGURA 27 – Fluxograma de representação da função principal do botão ENTER  
Fonte: Elaborado pelo autor.

O *menu* “Parametrização do sistema”, seta o *flag*, ou seja, impõe valor “1” indicando a necessidade da realização do processo de parametrização e direciona o programa para o ponto na inicialização do sistema representado pela letra “A” no fluxograma. Este símbolo representa um desvio do programa que retorna ao início na FIG. 22. Ao retornar a este ponto, o *flag* de parametrização é verificado, configurando o *display* para indicar a mensagem correspondente, assim, o usuário realiza a parametrização do tempo de amostragem e o programa volta a seu estágio de varredura de botões “configuração”, já detalhado anteriormente na FIG. 23. Quando pressionado o botão INICIALIZAR para finalizar o processo, o *flag* de parametrização é novamente testado e, neste ponto o programa realiza a gravação dos valores parametrizados na memória EEPROM.

No *menu* “Visualizar horários”, quando acessado, o programa deve ler os valores gravados na memória EEPROM e, em seguida, mostrá-los no *display* de acordo com a seleção do usuário. À medida que os botões UP e DOWN são pressionados a mensagem na tela de LCD se modifica entre as coletas de 1 a 8 e seus respectivos horários. Neste *menu*, o retorno para o *menu* principal também é feito pela interrupção do *timer* 1, depois de 7 segundos de inatividade.

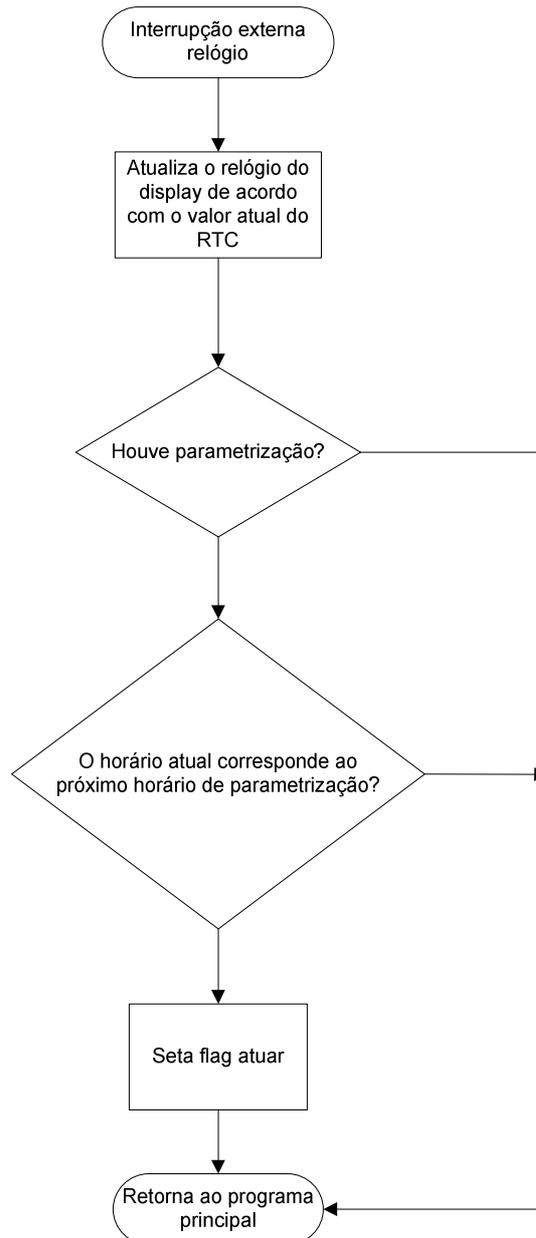


FIGURA 28 – Fluxograma que representa a interrupção externa do pino RB0  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Como dito anteriormente, o RTC gera um pulso na frequência de 1Hz e a cada pulso a rotina de interrupção externa é executada, realizando as funções de acordo com a FIG. 28. Quando a interrupção é chamada, primeiramente a lógica da rotina atualiza o *display* com o horário corrente no RTC por intermédio da comunicação por I<sup>2</sup>C. O próximo passo será identificar se já foi realizada uma parametrização, caso positivo, é feita uma comparação da hora atual com a registrada na memória pela parametrização. Se estes horários forem correspondentes, o *flag* “atuar” é “setado” para indicar que, no retorno da interrupção à varredura de botões principal, o programa deve ser direcionado ao *loop* “trata INICIALIZAR principal”, onde é feita a movimentação do sistema linear e o acionamento das válvulas.

A programação na linguagem C foi desenvolvida a partir do esquema supracitado, detalhando os estágios do programa.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 TESTES E LAYOUTS

Para a obtenção de resultados satisfatórios e cumprir objetivos na implementação de qualquer sistema, é importante um ambiente para testes que seja eficaz e o mais próximo possível da prática. Sendo assim, neste trabalho foi utilizado o ambiente Isis<sup>®</sup> para a simulação e desenho das trilhas para as placas de circuito impresso.

O ambiente Isis<sup>®</sup> proporciona uma simulação gráfica interativa através do PROTEUS VSM, munido de uma vasta biblioteca de componentes. Através deste software foi possível simular todo o circuito com muita proximidade à prática, economizando tempo em testes por montagem em *protoboard*, mais trabalhosa e susceptível a erros que podem danificar os componentes utilizados. A montagem em *protoboard* é necessária mas com um projeto bem estruturado por software os erros são praticamente eliminados, objetivando assim a parte de testes físicos e ganhando tempo na implementação.

O PROTEUS VSM apresenta uma interface amigável, possibilitando um trabalho confortável e eficaz. A FIG. 29 mostra o circuito de simulação do sistema de controle montado por esta ferramenta.

Na simulação por software toda a programação do sistema de controle se comportou como esperado, realizando todas as funções necessárias para a implementação do sistema físico. Fatores como tempo escasso, a necessidade de dedicação a outras disciplinas de final de curso e imprevistos, como o retorno do pedido de componentes ao fornecedor por problemas com os correios, contribuíram para a falta da montagem física do sistema de controle.

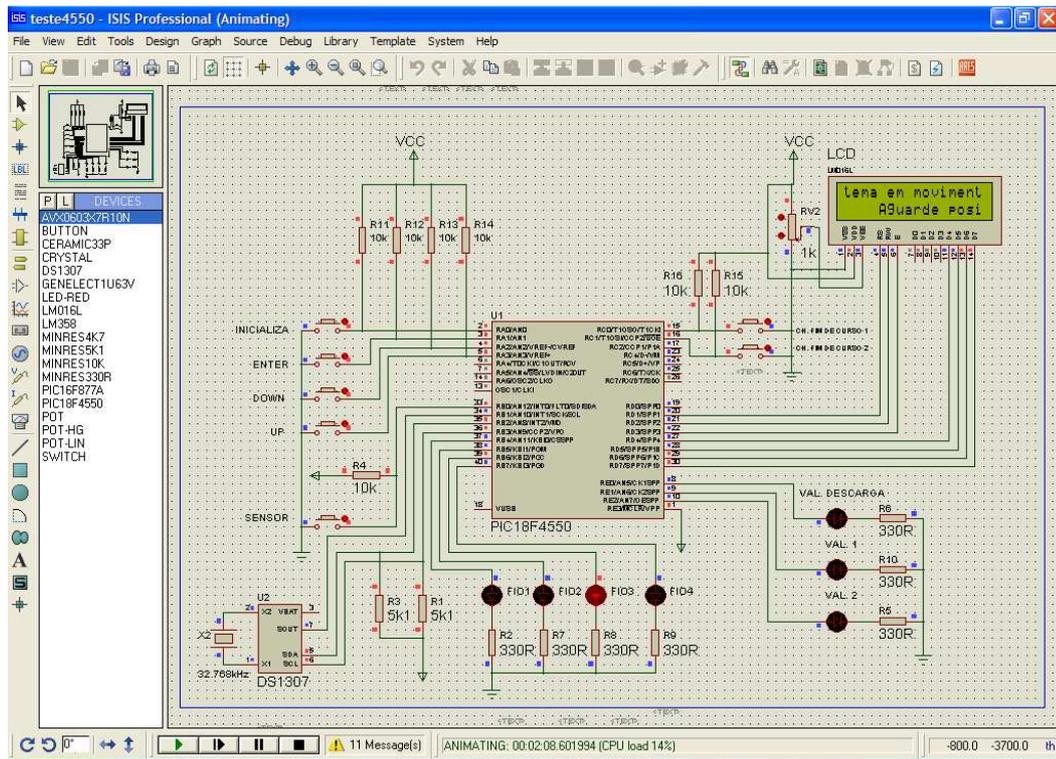


FIGURA 29 – Tela do software ISIS® Professional em simulação  
Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi desenvolvida a placa de circuito impresso para o sistema de controle, por intermédio do software ISIS®. A FIG. 30 mostra o resultado esperado da confecção da placa em visualização 3D.

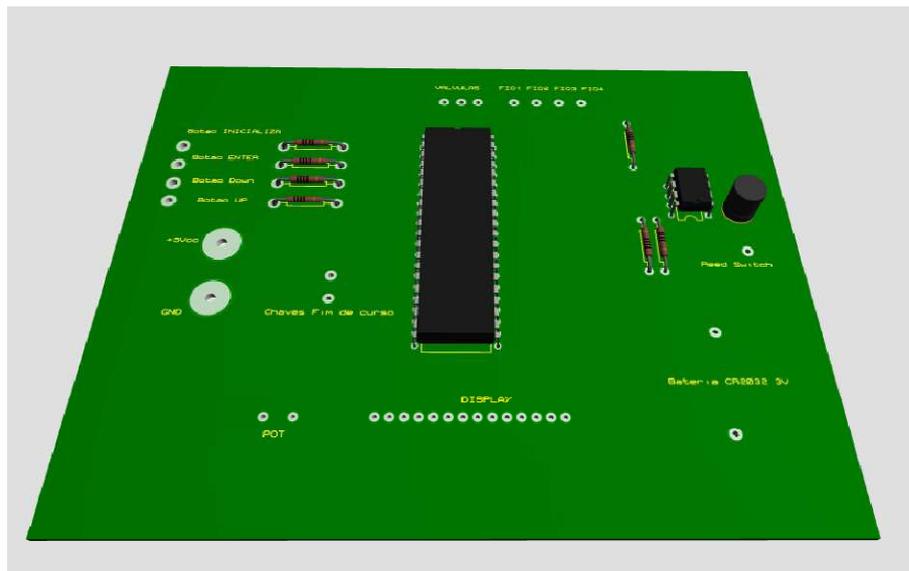


FIGURA 30 – Placa do sistema de controle em circuito impresso  
Fonte: Elaborada pelo autor.

O *driver* do motor e a fonte de alimentação foram testados por software e *protoboard* e posteriormente realizou-se a confecção das placas de circuito impresso. Foram realizados testes no *driver* do motor de passo, por intermédio de uma placa de controle de velocidade de motor de passo confeccionada anteriormente como trabalho de conclusão da disciplina “Microcontroladores”. O funcionamento do *driver* e da fonte de alimentação foi de acordo com o esperado.

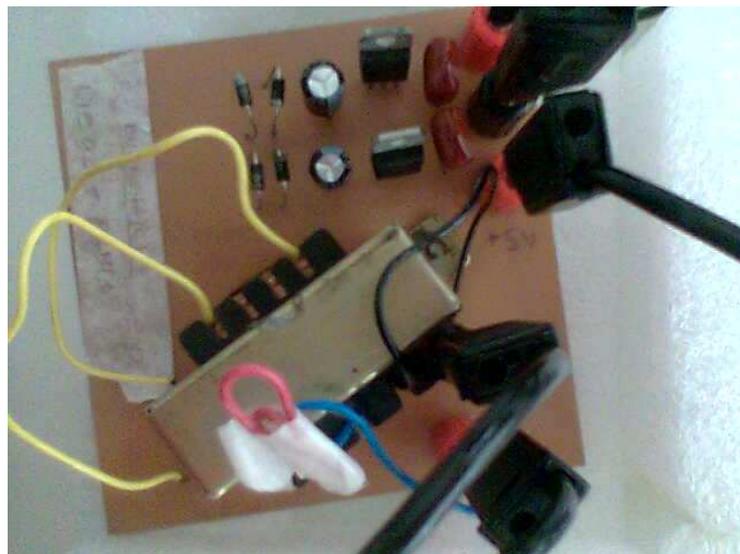


FIGURA 31 – Placa de circuito impresso da fonte de alimentação  
Fonte: Elaborada pelo autor.



FIGURA 32 – Placa de circuito impresso do driver do motor de passo  
Fonte: Elaborada pelo autor.

O *driver* das válvulas foi testado em software e o resultado esperado da confecção de sua placa de circuito impresso está ilustrado na FIG. 33.

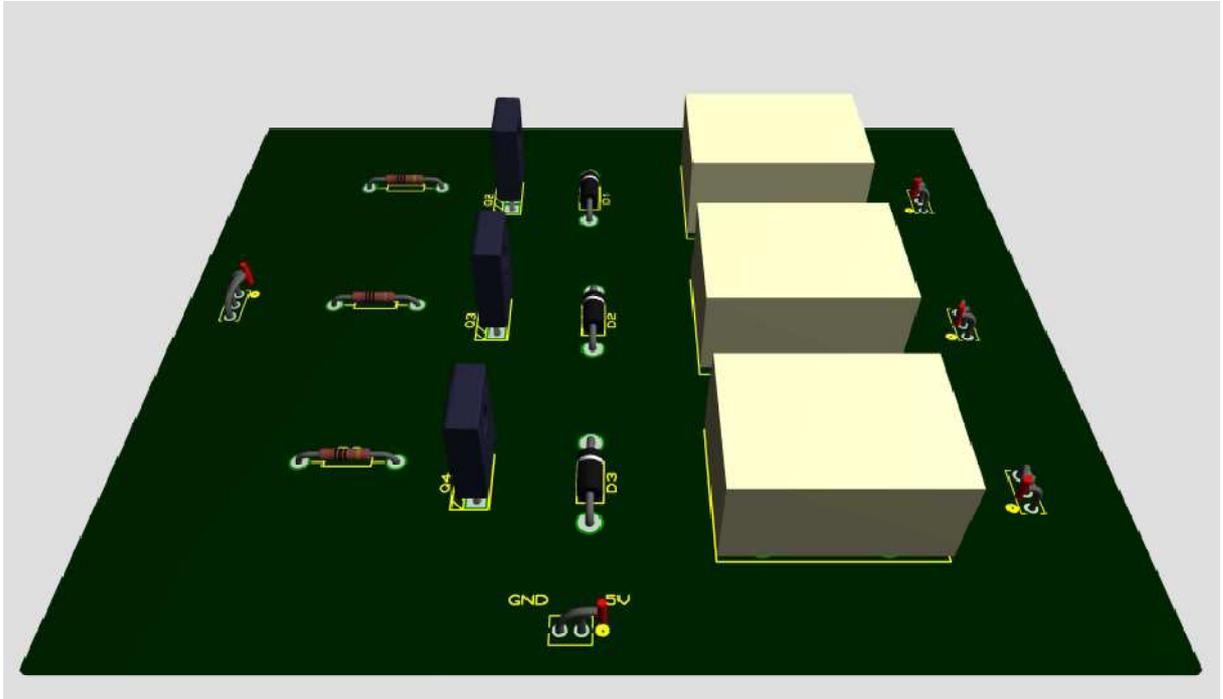


FIGURA 33 – Placa de circuito impresso do driver das válvulas  
Fonte: Elaborado pelo autor.

#### 4.2 VIABILIDADE DE CUSTOS

Como foi proposto o desenvolvimento de um protótipo de baixo custo comparado com a realização manual da operação realizada pelo equipamento, foram levantados os custos relacionados aos componentes necessários para a montagem.

A TAB. 6 apresenta a lista de componentes e materiais a serem usados na implementação física do protótipo de acordo com as especificações decorridas durante o desenvolvimento deste trabalho, como também seus respectivos preços levantados no mercado eletrônico.

**TABELA 6**

Orçamento de custos do protótipo.

<b>Componentes</b>	<b>Quant.</b>	<b>Preço</b>	<b>Total</b>
<b>Fonte de alimentação</b>			
Placa de circuito impresso de 10 x 10 cm	1	R\$ 2,79	R\$ 2,79
Transformador 12+12 500mA - Entrada 110/220VAC	1	R\$ 13,77	R\$ 13,77
Capacitores 470 µF	2	R\$ 0,90	R\$ 1,80
Capacitores 100 nF	2	R\$ 0,90	R\$ 1,80
Diodo 1N4007	4	R\$ 0,15	R\$ 0,60
C.I. LM7805	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
C.I. LM7812	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
Borne KF-103 3T	1	R\$ 1,15	R\$ 1,15
<b>Total</b>			<b>R\$ 23,89</b>
<b>Driver do Motor de passo</b>			
Placa de circuito impresso de 10 x 10 cm	1	R\$ 2,79	R\$ 2,79
Diodos 1N4007	4	R\$ 0,15	R\$ 0,60
Transistores TIP122	4	R\$ 0,89	R\$ 3,56
Resistores 1KΩ (1/4 W)	4	R\$ 0,20	R\$ 0,80
C.I. SN74LS125	1	R\$ 1,10	R\$ 1,10
Borne KF-103 3T	1	R\$ 1,15	R\$ 1,15
<b>Total</b>			<b>R\$ 10,00</b>
<b>Driver das Válvulas</b>			
Relé JQC-3F(T73) Contato: 10A/127V Bobina: 5V.	3	R\$ 2,70	R\$ 8,10
Capacitor de Poliéster X2 100nF x 250V	3	R\$ 0,59	R\$ 1,77
Resistor de 10K Ohms 5W	3	R\$ 0,66	R\$ 1,98
Diodo 1N4007	3	R\$ 0,15	R\$ 0,45
Transistor BD135	3	R\$ 0,59	R\$ 1,77
Borne KF-103 3T	2	R\$ 1,15	R\$ 2,30
<b>Total</b>			<b>R\$ 16,37</b>

Componentes	Quant.	Preço	Total
<b>Sistema de controle e atuadores</b>			
Placa de circuito impresso de 10 x 15 cm	1	R\$ 4,19	R\$ 4,19
Chave Tactil 12x12x5mm 4 Terminais (Chaves de fim de curso)	4	R\$ 0,65	R\$ 2,60
Ampola Reed Prateada NA (Reed switch)	1	R\$ 0,99	R\$ 0,99
Válvula solenóide convencional 127V	3	R\$ 14,00	R\$ 42,00
Resistores 10KΩ (1/4 W)	4	R\$ 0,20	R\$ 0,80
Cristal (32,768 kHz)	1	R\$ 0,39	R\$ 0,39
Potenciômetro 10KΩ	1	R\$ 3,99	R\$ 3,99
PIC16F877A	1	R\$ 24,79	R\$ 24,79
DS1307	1	R\$ 8,99	R\$ 8,99
Soquete de 40 pinos para o PIC	1	R\$ 0,51	R\$ 0,51
Soquete de 14 pinos para o LCD	1	R\$ 0,19	R\$ 0,19
Soquete de 8 pinos para o DS1307	1	R\$ 0,15	R\$ 0,15
Suporte p/ bateria CR2032	1	R\$ 0,59	R\$ 0,59
Bateria 3V CR2032	1	R\$ 0,66	R\$ 0,66
<i>Flat cable</i> de 14 vias para o LCD	1	R\$ 1,69	R\$ 1,69
LCD tipo JHD 162A (2 linhas por 16 colunas)	1	R\$ 15,99	R\$ 15,99
<b>Total</b>			<b>R\$ 108,52</b>
<b>Movimentação Linear</b>			
Tarugo de polipropileno de 90mm de diâmetro e 430mm linear (para confecção dos mancais)	1	R\$ 60,20	R\$ 60,20
Fuso, passo: 3mm, comprimento: 1m	1	R\$ 5,00	R\$ 5,00
Guias	2	R\$ 5,00	R\$ 10,00
Rolamento 10mmx15mm	2	R\$ 22,00	R\$ 44,00
Acoplamento Flexível para motor de passo 6,35mmX10mm	1	R\$ 26,00	R\$ 26,00
Motor de Passo Unipolar - 12V - 0.1A/Fase - 1.1Kgf.cm - 1.8° #23	1	R\$ 52,80	R\$ 52,80
Chave Micro Switch KW11-3Z-5-3T - 18MM	2	R\$ 1,68	R\$ 3,36
<b>Total</b>			<b>R\$ 201,36</b>
<b>Estrutura do protótipo</b>			
Estrutura Metalon Galvanizado 6mt 20x20mm	2	R\$ 14,50	R\$ 29,00
Placa de acrílico 10mm de espessura 1mx1m	2	R\$ 50,00	R\$ 100,00
TEE soldável c/ rosca 3/4	2	R\$ 2,40	R\$ 4,80
Tubo PVC soldável 3/4 1m	1	R\$ 1,75	R\$ 1,75
Conexão soldável 3/4	1	R\$ 2,25	R\$ 2,25
Joelho soldável e rosqueável 3/4	2	R\$ 2,25	R\$ 4,50
<b>Total</b>			<b>R\$ 142,30</b>
<b>Total Geral</b>			<b>R\$ 502,44</b>

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os componentes foram cotados nas localidades e sites a seguir:

- <http://www.soldafria.com.br/>;
- <http://www.lojamestre.com.br/>;
- <http://www.ampliarte.com.br/>;
- <http://loja.multcomercial.com.br/>;
- <http://www.mercadolivre.com.br/>;
- VM Parafusos Ind Com Serv e Rep Ltda;
- Fibratec;
- Agro campo Araxá LTDA.

Considerando que a realização das amostragens fosse feita manualmente e como a Portaria MS nº 518/2004/GM define que estas amostragens devem ser realizadas a cada duas horas, seriam necessários no mínimo 2 funcionários dedicados à função, realizando 4 horas extras por dia e com troca de turno. Definindo a remuneração de R\$545,00 (salário mínimo) mensais por funcionário e horas extras, tem-se as seguintes considerações para a realização do cálculo da remuneração total:

- Início da relação de trabalho: 01/07/2011;
- Período de ocorrência das horas-extras: de 01/07/2011 a 01/08/2011;
- Jornada trabalhada: 220 horas;
- Adicional de hora-extra: 50%;
- Horas-extras diárias ( $H_e$ ): 4 horas.

Considerando o mês trabalhado de 01/07/2011 a 01/08/2011 tem-se:

Mês de julho/2011, a partir do dia 1º:

- Salário: \$ 545,00;
- Salário/hora-extra ( $S_{HE}$ ): R\$ 545,00 / 220 horas x 1,50 = R\$ 3,72;
- Segundas-feiras úteis no período: 4;
- Terças-feiras úteis no período: 4;
- Quartas-feiras úteis no período: 4;
- Quintas-feiras úteis no período: 4;
- Sextas-feiras úteis no período: 5;
- Sábados úteis no período: 5;

- Total de dias úteis do período ( $T_{du}$ ): 26 dias.

O valor das horas-extras ( $V_{HE}$ ) é dado pela seguinte equação:

$$V_{HE} = S_{HE} \times T_{du} \times H_e \quad (11)$$

O que representa a multiplicação do valor de cada hora extra pelo total de dias úteis do período e as horas trabalhadas por dia. Substituindo os valores, tem-se o seguinte resultado:

$$V_{HE} = S_{HE} \times T_{du} \times H_e = 3,72 \times 26 \times 4 = R\$386,88 \quad (12)$$

Calculando o reflexo no descanso semanal remunerado (DSR), considerando os 5 dias de repouso ( $D_r$ ) nesse mês, tem-se:

$$DSR = \frac{V_{HE}}{T_{du}} \times D_r = \frac{386,88}{26} \times 5 = R\$74,40 \quad (13)$$

O valor total referente aos encargos mensais no mês de julho seriam a soma de  $V_{he}$  com DSR que equivale á R\$461,28. Utilizando as mesmas equações para o dia 1º de agosto, tem-se um valor total de R\$17,08. Sendo assim, o valor total mensal dos encargos de horas extras equivale á R\$478,36. Somando ao salário mensal, temos o total da remuneração mensal por funcionário no valor de R\$1023,36, sem contabilizar acréscimo de férias, décimo terceiro e encargos.

Sendo assim, o custo mensal para a companhia de saneamento básico para manter 2 funcionários para realizar as amostragens na frequência de duas em duas horas seria em torno de R\$2046,72. Comparando esse valor ao total do custo estimado para a confecção do protótipo que é de R\$502,44, este representa em torno de 25% dos gastos mensais com dois funcionários, demonstrando que em menos de 10 dias o valor do protótipo já seria compensado.

Vale ressaltar que a tarefa de coleta de água periódica é muito repetitiva e desgastante para um funcionário, mesmo que este realize outras funções na empresa, o que pode gerar uma fadiga mental tornando o funcionário desmotivado.

## 5 CONCLUSÃO

O protótipo foi especificado como proposto neste trabalho, definindo todo o sistema de controle, IHM, fonte de alimentação, drivers, sensores, atuadores e o método de movimentação linear atendendo às determinações da Portaria MS nº 518/2004. Pelo pouco tempo estipulado para a conclusão do trabalho e a falta de recursos financeiros, a fase de construção do protótipo não foi prevista, visando ser desenvolvida em trabalhos futuros.

A programação do microcontrolador respondeu as expectativas realizando o controle das amostras de acordo com a parametrização do usuário, garantindo a integridade dos dados mesmo no caso de quedas de energia. A parametrização e consulta de informações foram corretamente disponibilizadas pela IHM de forma simples e objetiva. Pode-se visar melhorias na programação e interfaces como a implementação da comunicação USB para conexão com um computador, onde pode-se desenvolver um software dedicado à realização de relatórios e otimização do controle das amostragens.

Como proposto, a viabilidade financeira do protótipo foi comprovada pela comparação entre os gastos com a realização manual da tarefa e os custos do protótipo. Para trabalhos futuros, pode-se desenvolver um estudo mais aprofundado sobre os métodos de coleta objetivando redução de custos, como outras alternativas de movimentação linear ou até métodos mais simples utilizando uma válvula para cada frasco.

Outra sugestão para trabalhos futuros seria o desenvolvimento de meios para análises no próprio protótipo, realizando estudos sobre os métodos de análise de cor, pH, fluoreto e CRL.

O desenvolvimento do trabalho mostrou a aplicação de conhecimentos desenvolvidos durante a realização do curso de Engenharia de Automação

Industrial, como programação em C, desenvolvimento de circuitos eletrônicos, estudo da dinâmica do processo, conhecimentos de mecânica, aplicação de desenho técnico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAGA, N. C. Reed-Switches. **Mecatrônica Fácil**, Ano 6, Ed. 36, set./out./07. In: Revista virtual: Mecatrônica Atual – Automação Industrial de Processos e Manufaturas. Disponível em: <http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/51>. Acesso em: 02 jun. 2011.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Boas práticas no abastecimento de água** : procedimentos para a minimização de riscos à saúde. Brasília : Ministério da Saúde, 2006. 252 p. (Série A. Normas e Manuais Técnicos).
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Comentários sobre a Portaria MS nº 518/2004**: subsídios para implementação. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 92 p. (Série E. Legislação em Saúde).
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. **Portaria MS nº 518/2004**. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 92 p. (Série E. Legislação em Saúde).
- BRITES, Felipe Gonçalves e SANTOS, Vinicius Puga de Almeida. **Motor de Passo**. Universidade Federal Fluminense, Centro Tecnológico Escola de Engenharia, Programa de Educação Tutorial, Grupo PET-Tele - Curso de Engenharia de Telecomunicações. Niterói, RJ, jul. 2008.
- CATANI, D. B.; HUGO, F. N.; CYPRIANOI, S.; SOUSA, M. L. R.; CURY, J. A. Relação entre níveis de fluoreto na água de abastecimento público e fluorose dental. **Revista Saúde Pública**, 2007;41(5), p. 732-39. Disponível em: [www.scielo.br/pdf/rsp/v41n5/585](http://www.scielo.br/pdf/rsp/v41n5/585). Acesso em: 31 maio 2011.
- IRAZABAL, Jean-Marc e BLOZIS, Steve. **AN10216-01 - I<sup>2</sup>C MANUAL**. Philips Semiconductors. March 24, 2003. Disponível em: [www.nxp.com/documents/application\\_note/AN10216.pdf](http://www.nxp.com/documents/application_note/AN10216.pdf). Acesso em: 23 maio 2011.
- LEITE, B. H. F.; LIMA, E. J. C.; LEÃO, F. L.; PRESTES, R. F. Estudo do Motor de Passo e seu controle digital. Trabalho de Sistemas Digitais. Universidade do Rio de Janeiro. Última modificação em 05/05/2008. Disponível em: <http://www2.eletronica.org/artigos/outros/estudo-do-motor-de-passo-e-seu-controle-digital>. Acesso em: 27 abr.2011.
- MIYADAIRA, A. N. **Microcontroladores PIC 18**: aprenda e programe em linguagem C. São Paulo: Érica, 2009.
- SANTANA, D.; SILVA, P.; OLIVEIRA, A. L. Sistema de controle de velocidade e posição para mesa coordenada cartesiana utilizada em máquinas ferramenta.

**Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, Brasil, v. 3, n. 3, p. 7-26, 2008.  
Disponível em: <<http://sare.unianhanguera.edu.br/index.php/rcext/article/view/411/417>>. Acesso em: 12 jun. 2011.

SOUZA, A. L. P.; KAWANO, M.; MARTINS, M. L.; HANDA, R. Toxicologia dos trihalometanos formados em águas de abastecimento. In: Semana de Estudos da Engenharia Ambiental. 6. 2-5 jun. 2008. Universidade estadual do Centro-oeste, Campus Irati, PR.

VASCONCELOS, F. M.; TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Avaliação da qualidade da água** - Base tecnológica para gestão ambiental. Belo Horizonte: SMEA, 2009.

## ANEXO A

## PORTARIA N.º 518, DE 25 DE MARÇO DE 2004\*

Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

O MINISTRO DE ESTADO DA SAÚDE, no uso de suas atribuições e considerando o disposto no Art. 2.º do Decreto n.º 79.367, de 9 de março de 1977,

RESOLVE:

Art. 1.º Aprovar a Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano, na forma do Anexo desta Portaria, de uso obrigatório em todo território nacional.

Art. 2.º Fica estabelecido o prazo máximo de 12 meses, contados a partir da publicação desta Portaria, para que as instituições ou órgãos aos quais esta Norma se aplica, promovam as adequações necessárias a seu cumprimento, no que se refere ao tratamento por filtração de água para consumo humano suprida por manancial superficial e distribuída por meio de canalização e da obrigação do monitoramento de cianobactérias e cianotoxinas.

Art. 3.º É de responsabilidade da União, dos Estados, dos Municípios e do Distrito Federal a adoção das medidas necessárias para o fiel cumprimento desta Portaria.

Art. 4.º O Ministério da Saúde promoverá, por intermédio da Secretaria de Vigilância em Saúde – SVS, a revisão da Norma de Qualidade da Água para Consumo Humano estabelecida nesta Portaria, no prazo de 5 anos ou a qualquer tempo, mediante solicitação devidamente justificada de órgãos governamentais ou não governamentais de reconhecida capacidade técnica nos setores objeto desta regulamentação.

Art. 5.º Fica delegada competência ao Secretário de Vigilância em Saúde para editar, quando necessário, normas regulamentadoras desta Portaria.

Art. 6.º Esta Portaria entra em vigor na data de sua publicação.

HUMBERTO COSTA

---

\* Publicada no Diário Oficial da União n.º 59, de 26 de março de 2004, seção 1, p. 266-270.