

LUÍS FERNANDO GARCIA

CONTROLADOR ELETRÔNICO PARA IRRIGAÇÃO

FLORIANÓPOLIS, 2011

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E
TECNOLOGIA DE SANTA CATARINA
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO *LATU-SENSU*
ESPECIALIZAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS
ELETRÔNICOS**

LUÍS FERNANDO GARCIA

CONTROLADOR ELETRÔNICO PARA IRRIGAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do Certificado de Conclusão do Curso de Pós Graduação *Latu-Sensu* em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

Orientador – Flávio Alberto Bardemarker Batista,
Dr. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2011

G216c Garcia, Luís Fernando
Controlador eletrônico para irrigação [monografia] / Luís
Fernando Garcia ; orientador, Flávio Alberto Bardemaker
Batista. – Florianópolis, SC, 2011.

1 v. : il.

Ciência Monografia de especialização (Desenvolvimento de
Produtos Eletrônicos) – Instituto Federal de Educação,
e Tecnologia de Santa Catarina. Especialização em
Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

Inclui referências.

I. 1. Sistemas eletrônicos - desenvolvimento. 2. Controlador
eletrônico - sistema de irrigação. 3. Controlador de irrigação.
Batista, Flávio Alberto Bardemaker. II. Título.

CDD: 621.38101

Sistema de Bibliotecas Integradas do IFSC
Biblioteca Dr. Hercílio Luz – Campus Florianópolis
Catalogado por: Augiza Karla Boso CRB 14/1092
Rose Mari Lobo Goulart CRB 14/277

CONTROLADOR ELETRÔNICO PARA IRRIGAÇÃO

LUÍS FERNANDO GARCIA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do Título de Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 15 de dezembro de 2011

Banca Examinadora:

Flávio Alberto Bardemaker Batista, Dr. Eng.
Presidente da Banca

Charles Borges de Lima, Dr. Eng.

Mauro Tavares Peraça, Dr. Eng.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela força e por ser algo em que eu possa acreditar.

Aos meus Familiares.

Ao Professor Flávio Alberto Bardemaker Batista pela orientação.

Ao Professor Antonio Augusto Alves Pereira pelo apoio.

Ao Professor Cleidir Salvato da Silva pelo apoio.

Aos colegas do SENAI/SC pela motivação e apoio.

A todos os Professores do Departamento Acadêmico de Eletrônica pela orientação no decorrer da graduação e especialização.

Enfim agradeço a todos aqueles que indireta ou diretamente me ajudaram na conclusão dessa etapa.

RESUMO

Pesquisas apontam que o uso da água pela agricultura representa cerca de 60% do consumo total de água doce do Brasil e que boa parte dos sistemas de irrigação não possuem controle do uso da água para essa atividade. O presente trabalho teve por objetivo apresentar resultados obtidos a partir do desenvolvimento de um controlador eletrônico para aplicação em sistemas de irrigação que utilizam o método de irrigação por aspersão. A proposta desta pesquisa é demonstrar todas as etapas de desenvolvimento do controlador eletrônico, apresentando as principais características e interfaces projetadas, assim como os problemas que envolvem o desenvolvimento de um produto. Esse controle possibilita ao sistema uma economia de energia elétrica, água e mão-de-obra, aumentando a qualidade da rega. O controlador atendeu em partes aos objetivos propostos, pois o sensor de pressão sofreu avarias e não foi possível substituí-lo até o encerramento deste trabalho. Foram realizados diversos testes com a estrutura real de irrigação, testes de resposta do sensor

e também de variação de velocidade. Em princípio toda a estrutura foi validada, incluindo os componentes definidos para utilização no protótipo.

Palavras-chave: Microcontrolador. Motobomba.
Controlador de irrigação.

ABSTRACT

Research shows that water use by agriculture represents about 60% of the total freshwater consumption in Brazil and much of the irrigation systems have no control of water use for this activity. This paper aims at presenting results from the development of an electronic controller for use in irrigation systems that use the sprinkler irrigation. The purpose of this research is to demonstrate all stages of development of the electronic controller, showing the main features and interfaces designed, as well as problems involving the development of a product. This control enables the system to an energy saving, water and manpower, increasing the quality of irrigation. The controller responded in part to the proposed objectives, since the pressure sensor has suffered damage and could not be replaced until the end of this work. We made several tests with the actual structure of irrigation, testing the sensor response and also a variable speed. In principle the entire structure has been validated, including the components defined for use in the prototype.

Keywords: Microcontroller. Pump. Irrigation controller.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IFSC	–	Instituto Federal de Santa Catarina
SENAI/SC	–	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial / Santa Catarina
CCA	–	Centro de Ciências Agrárias
UFSC	–	Universidade Federal de Santa Catarina
RTC	–	<i>Real Time Clock</i>
ANA	–	Agência Nacional de Águas
IHM	–	Interface Homem Máquina
VAC	–	Tensão Alternada
VCC	–	Tensão Contínua
M.C.A	–	Metro de Coluna d`água
MIPS	–	Milhões de instruções por segundo
LCD	–	<i>Liquid Crystal Display, Display de Cristal Líquido</i>
LED	–	<i>Light Emitter Diode, Diodo Emissor de Luz.</i>
CV	–	Cavalo Vapor = 735 Watts
CPU	–	Unidade Central de Processamento
TRIAC	–	<i>Triode for Alternating Current</i>
V	–	Tensão
I	–	Corrente

R	–	Resistor
W	–	Watts
C	–	Capacitor
I/O	–	Entrada/Saída
AP	–	Aspersor Pequeno
AG	–	Aspersor Grande

SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	7
1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa	15
1.2 Definição do Problema	17
2 OBJETIVO	18
2.1 Objetivo Geral.....	18
2.2 Objetivos Específicos	19
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Irrigação.....	21
3.1.1 Controlador de Irrigação	24
3.1.2 Válvulas	29
3.1.3 Motobomba	32
3.1.4 Aspersores	35
4 METODOLOGIA	38
4.1 Materiais e Métodos	39
4.2 O Projeto.....	40
4.2.1 Passo 1 a 4 - Componentes Principais e Protocolo de Comunicação.....	45
4.2.2 Passo 5 a 7 – Montagem do Sistema Hidráulico e Testes Iniciais.....	62

4.2.3	Passo 8 – Resposta do Sensor de Pressão	69
4.2.4	Passo 9 – Equação de Controle	93
4.2.5	Passo 10 – Programação do Microcontrolador	94
4.2.6	Passo 11 – Desenvolvimento dos Esquemas Elétricos.....	114
4.2.7	Passo 12 – Desenvolvimento de Placa de Circuito Impresso.....	125
4.2.8	Passo 13 e 14 – Montagem do protótipo final e Testes.	128
5.	RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	130
	REFERÊNCIAS.....	136
	BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	140

1 INTRODUÇÃO

Esse trabalho trata da continuidade de um trabalho iniciado no Curso de Graduação em Sistemas Eletrônicos – Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC).

A irrigação exerce papel fundamental na agricultura. É ela quem possibilita cultivar diversas culturas em áreas diferentes, em climas diferentes, o ano inteiro.

Nas últimas décadas, a irrigação tem desempenhado papel indispensável ao incremento da produtividade de culturas básicas, possibilitando o desenvolvimento econômico de muitas regiões, e ao mesmo tempo incorporando novas áreas ao processo produtivo, garantindo com isso, o abastecimento interno e ampliando as exportações de produtos agrícolas. Ao mesmo tempo em que a pressão mundial pelo combate a fome tem estimulado a prática da agricultura irrigada, a crescente competição pelo uso da água e do solo e a degradação ambiental tem imposto sérios limites ao seu pleno crescimento em diversas regiões.” (SAMPAIO, 2006, p. 1).

Segundo ITABORAHY et al.(2004, p.13), há muitas razões para se utilizar a irrigação. Destacam-se:

- a) balanço hídrico desfavorável, onde se leva em conta as entradas e as saídas de água no sistema;
- b) produção na entressafra, onde se garante uma maior estabilidade nos preços dos produtos além de uma garantia de produtos sempre frescos;
- c) garantia de produção em regiões onde a ocorrência de chuvas é irregular e a frequência de veranicos é grande;
- d) qualidade do produto, onde a irrigação propicia uma distribuição uniforme da água por toda região cultivada, além de distribuir apenas a quantidade certa para cada cultura plantada.

O uso racional da água vem ao encontro das políticas públicas que estão criando ações a fim de regularizar e fiscalizar o devido manejo da irrigação. Tanto o poder público como os fabricantes de equipamentos para irrigação, bem como pesquisadores e usuários em geral são responsáveis pelo uso sustentável do ponto de vista social, econômico e ambiental.

A fim de elevar a eficiência no uso da água e evitar possíveis problemas com excesso de pressão em linhas de irrigação, é necessário que seja feito um controle nos sistemas de irrigação, mantendo a moto bomba trabalhando com a pressão adequada, podendo dessa forma, distribuir a água uniformemente.

Tendo em vista as considerações precedentes, este trabalho foi desenvolvido buscando, a partir de um sistema de controle comum para irrigação, desenvolvido para defesa de um trabalho de conclusão de curso de graduação, aprimorá-lo quanto às funcionalidades, a fim de agregar valor ao produto e facilidade de manuseio da rega para o produtor rural. O sistema inicial conta com uma motobomba fornecendo água para quatro linhas de irrigação com controle de abertura individual, utilizando válvulas solenóides. Cada linha conta ainda com um aspersor para distribuição da água. O trabalho tem por objetivo a pesquisa e o desenvolvimento de um controlador eletrônico capaz de realizar diversas funções que facilitem o processo de irrigação e que serão apresentadas ao longo do trabalho.

Para esse trabalho, a metodologia utilizada foi a pesquisa qualitativa do tipo exploratória, onde no primeiro capítulo é apresentada uma introdução junto

com a justificativa do projeto, no segundo capítulo são apresentados os objetivos deste trabalho, no terceiro capítulo é apresentada uma revisão de literatura e as tecnologias utilizadas, no quarto capítulo são apresentadas a metodologia contendo os materiais e métodos da pesquisa e os métodos aplicáveis. No quinto e último capítulo são apresentadas os resultados e considerações finais.

1.1 Justificativa

O trabalho possui um foco voltado diretamente ao mercado consumidor. Depois de realizado um estudo de mercado, foi constatada uma série de possíveis melhorias nos produtos voltados a irrigação de culturas orgânicas, que são necessárias para elevar a eficiência da rega e ao mesmo tempo proporcionar ao produtor rural uma possibilidade de automatizar o sistema de irrigação, a fim de diminuir custos, elevar a eficiência e o controle sobre o processo.

Há a necessidade do aumento da eficiência de todos os setores da economia globalizada para manter a competitividade. Para a agricultura, não poderia ser diferente. A evolução das tecnologias está proporcionando à agricultura uma nova forma de se enxergar a propriedade, tornando o produtor rural um empresário rural, por controlar cada vez mais a linha de produção. (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002, p.01).

Essas características vêm ao encontro das novas leis que o governo está criando através da Agência Nacional de Águas (ANA) e das novas políticas ambientais de redução no consumo de água.

Este trabalho se justifica devido á importância do desenvolvimento de um produto capaz de elevar a eficiência na produção agrícola, disponibilizando novos recursos de controle para a irrigação, aliando tecnologia e desenvolvimento, monitorando variáveis envolvidas no processo de irrigação, auxiliando os profissionais na hora de obter um produto de melhor qualidade.

1.2 Definição do Problema

Atualmente os controladores de irrigação não possuem controle em relação ao uso da água. Com isso muitos sistemas acabam desperdiçando água ou energia elétrica, já que a solução empregada atualmente é o estrangulamento da saída de água. Com base nesse contexto, o problema está no desenvolvimento de um controlador para irrigação, capaz de controlar a passagem de água nas linhas de irrigação, com o monitoramento em tempo real da pressão do sistema. Como manter uma rega uniforme em cada aspersor através da abertura de diferentes áreas de irrigação?

2 OBJETIVO

Para o desenvolvimento do projeto é necessário à determinação de objetivos a serem alcançados. A seguir será apresentado o objetivo geral e os objetivos específicos.

2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um controlador para irrigação, capaz de controlar a passagem de água em diferentes linhas de irrigação, monitorar e variar a pressão que a motobomba gera a partir da abertura de diferentes linhas de irrigação, e disponibilizar uma interface de monitoramento e controle para um operador, seguindo metodologia de desenvolvimento de projetos, apresentada no Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

2.2 Objetivos Específicos

Com o propósito de atingir-se o objetivo geral, foram elaborados os seguintes objetivos específicos:

- a) Estudar as etapas necessárias para desenvolver um produto a partir de uma idéia/necessidade.
- b) Montar escopo e validar cronograma para desenvolvimento do projeto.
- c) Especificar um aspersor adequado que permita variação de pressão a partir de dados coletados da motobomba e conforme a abertura das linhas de irrigação.
- d) Montar estrutura de irrigação em tamanho real para testes do protótipo.
- e) Verificar resposta do sensor de pressão para obter a equação de controle.
- f) Desenvolver esquema elétrico, lista de materiais e leiaute dedicado para um controlador.

g) Programar o microcontrolador para executar as funções de controle e atuação a partir dos comandos da interface homem máquina (IHM).

3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo será apresentado uma breve descrição dos itens que foram utilizados na montagem do projeto, e também um material referente à pesquisa realizada sobre irrigação.

3.1 Irrigação

Agricultura é um conjunto de técnicas desenvolvidas e utilizadas pelo homem com o objetivo de produzir alimentos de origem vegetal ou animal.

A produção de alimentos de origem vegetal possui diversas áreas de exploração, como a preparação do solo, semeadura, irrigação, fertilização, colheita, separação da colheita, entre outras.

Uma constante instabilidade climática tem afetado diretamente a produção de alimentos, tornando a agricultura um investimento de grande risco e com

visíveis reflexos para a economia, principalmente na região semi-árida (SAMPAIO, 2006, p. 5).

Uma maneira de minimizar esse risco é implantando um sistema de irrigação adequado, onde a rega possa ser controlada, independente do clima.

Segundo Daker (1970 apud Barreto et al, 2009, p.2), a irrigação é uma técnica milenar que tem por objetivo fornecer a quantidade necessária de água à planta no momento em que ela necessita e na quantidade exata.

“A irrigação é uma prática agrícola que permite manter o suprimento regular de água para as plantas e associando às demais práticas agrícolas torna-se um fator de garantia da produção agrícola, um seguro para a colheita.[...] A irrigação garante aos produtores uma safra uniforme “(BARRETO et al, 2009, p.2).

De acordo com o Banco Mundial (1990 apud Barreto et al, 2009, p.5) o potencial de irrigação do Brasil é estimado em cerca de 29 milhões de hectares, excluídas as bacias do Amazonas e do Tocantins, sendo que desse total, em 1998, apenas 2,87 milhões de hectares são irrigados (TESTEZLAF et al.,2002 apud BARRETO et al, 2009, p.2).

A Figura 1 mostra um sistema irrigando um campo de grama.



FIGURA 01 - Irrigação em gramado.

Fonte: <http://www.guarapuava.pr.gov.br/noticiaimagem>

A Figura 2 apresenta uma plantação sendo irrigada.



FIGURA 02 - Irrigação com aspersores.

Fonte:<http://www.aceav.pt/blogs/rogerfernandes/Lists/Fotografias/AGRICULTURA/Irrigação.gif>

3.1.1 Controlador de Irrigação

A automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade nos últimos anos, principalmente em função do surgimento de equipamentos apropriados que acompanham a

modernização crescente da agricultura, visando diminuir o desperdício de insumos.

Segundo Suzuki e Hernandez(1999), o mercado brasileiro está se abrindo às importações de produtos tecnológicos desenvolvidos para a agricultura, principalmente com relação à irrigação localizada, liderada por empresas americanas, israelenses e européias.

Suzuki e Hernandez (1999) apresentam as vantagens em automatizar os sistemas de irrigação, dentre elas destacam-se:

- a) diminuição de mão-de-obra, pois não há mais necessidade de acompanhamento, desde que o sistema seja programado para funcionar em modo automático;
- b) possibilidade de irrigar no período noturno, sem necessidade de acompanhamento (modo automático);
- c) diminuição da potência de acionamento. Dividindo a plantação por setor, através do comando de válvulas com controle elétrico (solenóide), é possível diminuir a capacidade

da motobomba, pois cada setor é irrigado seguindo a abertura/fechamento das válvulas, e não todos ao mesmo tempo;

e) diminuição dos custos de bombeamento.

Com a vazão do sistema menor, menor diâmetro de tubulação, capacidade de filtragem menor, potência de acionamento menor, o consumo de energia e a pressão sobre as linhas de irrigação são menores, economizando energia e água;

f) precisão nos tempos e turnos de irrigação.

Com um controle de acionamento através de um relógio de tempo real, em inglês *real time clock* (RTC), o controle da irrigação se torna preciso, pois não depende mais do acionamento manual de um operador;

g) eficiência na aplicação de água. Com uma diminuição da pressão de água sobre as linhas, a ocorrência de possíveis vazamentos diminui. Além disso, por possuir um controlador por RTC, os horários da irrigação são respeitados, pois são controlados eletronicamente.

Por essas vantagens, pode-se ver que uma simples automação supre muitas das necessidades de exploração racional e rentável, tais como otimização dos recursos produtivos e redução de custos (SUZUKI; HERNANDEZ, 1999).

O controlador eletrônico em um sistema de irrigação é considerado o "gerente" da irrigação. É ele que armazena e processa todas as informações nele embutidas e faz o equipamento trabalhar de forma ordenada e eficaz. Portanto, basta saber lançar as informações e deixar por conta dele. Em geral os controladores apresentam uma fonte de alimentação de 110 ou 220V, com saída para as válvulas de 24 VAC, possuem de 2 a 4 programas independentes, programação dos dias da semana, 3 a 16 horários de partida ("start"), tempo programado em minutos e horas, mantém a hora, data e programação em caso de queda de energia utilizando pilha alcalina 9 volts, programação individual semi-automática ou manual e admitem o acoplamento de sensor de chuva, ou outros sensores de

controle da irrigação. Vários são os fabricantes destes controladores. (SUZUKI; HERNANDEZ, 1999, p.01).

Na Figura 3 segue um exemplo de um controlador fabricado nos Estados Unidos pela Indústria Hunter.



FIGURA 03 - Controlador de irrigação Hunter.

Fonte: (SUZUKI; HERNANDEZ, 1999, p.01).

3.1.2 Válvulas

Para irrigação, as válvulas são utilizadas principalmente para setorizar diferentes áreas de irrigação e/ou aumentar a pressão utilizando diferentes bombas. Existem diversos tipos de válvulas que podem ser utilizadas em irrigação. As características principais que diferenciam os modelos de válvula são:

- a) prevenção de contra fluxo de água;
- b) resistência a diferentes pressões;
- c) material construtivo, que pode ser construída com material plástico ou metálico;
- d) filtro interno autolimpante;
- e) regulador de pressão;
- f) dimensões;
- g) perdas;
- h) acionamento.

O acionamento das válvulas pode ocorrer basicamente de quatro formas:

- a) manual;
- b) elétrico;
- c) hidráulico;
- d) pneumático.

As válvulas com controle elétrico possuem sua abertura ou fechamento controlados através de acionamento elétrico, por corrente ou pulsos, com diferentes tensões. Esse acionamento é feito por um solenóide.

A Figura 4 apresenta uma válvula com prevenção de contra fluxo, acionamento em 24 VCC e regulador de pressão.



FIGURA 04 - Válvula solenóide, visão interna.

Fonte: <http://www.hunterrega.com/Produtos/Valvulas/asvfb.html>

A Figura 5 apresenta o mecanismo de abertura e fechamento da válvula.

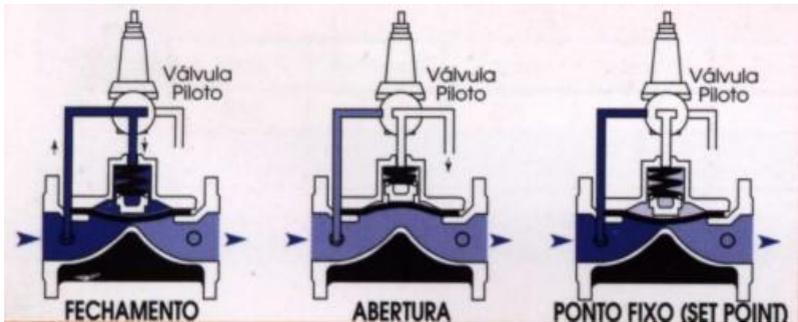


FIGURA 5 – Mecanismo de abertura e fechamento da válvula e regulador de pressão (*SET POINT*).

Fonte: <http://www.irrigaterra.com.br/automacao.php>.

3.1.3 Motobomba

Motobomba é um dos equipamentos principais na irrigação. É a responsável por pressurizar as linhas de irrigação e também fornecer água para regar as plantas. Para irrigação, em geral, são utilizadas motobombas centrífugas de eixo horizontal.

Motobomba é o conjunto de um motor elétrico ou a combustão acoplada a uma bomba mecânica, como pode ser visualizado na Figura 6 (SCHNEIDER MOTOBOMBAS, 2009, p.03).



(a)



(b)



FIGURA 06 - (A) Motobomba com motor a combustão. (B) Motobomba com motor elétrico. (C) Bomba mecânica com mancal.
Fonte: Tabela para seleção de bombas e motobombas.

O conjunto motobomba possui duas funções:

- a) captar a água de uma fonte de suprimento: cisterna, caixa d'água, rio, lago, poço, etc;
- b) suprir as linhas de irrigação com a água sob pressão.

A potência de sucção e recalque da água pela bomba é fornecida pelo motor.

A unidade de medida para dimensionamento da bomba é o metro de coluna d'água (M.C.A.). Segundo Silva, Folegatti e Duarte (2009), a altura de elevação da água, desde o manancial até a área irrigada, constitui um dos principais fatores envolvidos no consumo de energia. Quanto maior for a altura de elevação de água, maior deve ser a eficiência dos sistemas de irrigação.

A seleção do conjunto motobomba é feita com base na vazão a ser recalçada e na altura manométrica requerida pelo sistema, que é a soma das alturas de sucção e de recalque.

3.1.4 Aspersores

Os aspersores são as peças principais nos sistemas de irrigação. São os responsáveis pela distribuição da água sob o terreno na forma de chuva.

Os aspersores podem ser rotativos com giro completo (360°), ou do tipo setorial, sendo estes últimos utilizados em áreas periféricas do campo, ou sob

condições especiais (SILVA; FOLEGATTI; DUARTE, 2009).

Seu funcionamento acontece de acordo com a pressão de água que recebem.

A pressão de funcionamento pode ser classificada em três níveis:

1. Baixa pressão: menor que 2,5 BAR.
2. Média pressão: entre 2,5 BAR e 5,0 BAR.
3. Alta pressão: maior que 5,0 BAR.

Segundo Silva, Folegatti e Duarte (2009), os aspersores mais utilizados são os de média pressão, com um alcance que varia de 12 a 36 metros.

A escolha dos aspersores é baseada, principalmente, na precipitação por eles fornecida, em função da pressão, do diâmetro do bocal e do espaçamento (CASTRO, 2003).

A Figura 7 apresenta um modelo de aspersor rotativo 360°.



FIGURA 7 - Aspersor rotativo.

Fonte: http://www.agrocac.com.br/irrig_tigre_02.html

4 METODOLOGIA

Segundo Jung (2003, p.59), metodologia é o conjunto de técnicas e processos utilizados pela ciência para formular e resolver problemas de aquisição objetiva do conhecimento de maneira sistemática.

Neste trabalho, será aplicado o método de pesquisa qualitativa do tipo exploratória.

Segundo Deslandes, Minayo e Gomes (1994) a pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares. Os autores complementam que a fase exploratória de uma pesquisa é, sem dúvida, um dos momentos mais importantes.

A pesquisa qualitativa do tipo exploratória compreende várias fases da construção de uma trajetória de investigação:

- a) a escolha do tópico de investigação;
- b) a delimitação do problema;
- c) a definição do objetivo e dos objetivos;
- d) a construção do marco teórico conceitual;

- e) a escolha dos instrumentos de coleta de dados;
- f) a exploração de campo.

4.1 Materiais e Métodos

O presente trabalho trata da pesquisa e desenvolvimento de um controlador eletrônico para irrigação.

Para o desenvolvimento do projeto foi necessária à busca de informações a respeito de sistemas de irrigação. Através de uma pesquisa, foi levantada uma série de necessidades que o produtor rural possui para irrigação, como as características de funcionamento dos sistemas de irrigação atuais, as formas de controle existentes e também foram realizadas análises de produtos comerciais e de trabalhos acadêmicos que utilizaram os inversores de frequência como método de controle de motobombas.

A partir da coleta de dados, foi possível definir a metodologia de trabalho. Para iniciar a pesquisa e o

desenvolvimento do projeto, foram elaborados um escopo e um cronograma.

4.2 O Projeto

Visando alcançar os objetivos específicos, iniciou-se a pesquisa de tecnologias necessárias para o desenvolvimento do projeto.

Com o objetivo de construir um controlador eletrônico para irrigação, o primeiro passo foi desenhar o diagrama de um sistema de irrigação. O esquema apresentado na Figura 8 possui uma motobomba B1 responsável pela captação da água no reservatório e o envio da mesma para as linhas de irrigação. Cada linha de irrigação possui uma saída de água, conhecida por aspersor, localizada pelo nome de V1, V2, V3 e V4.

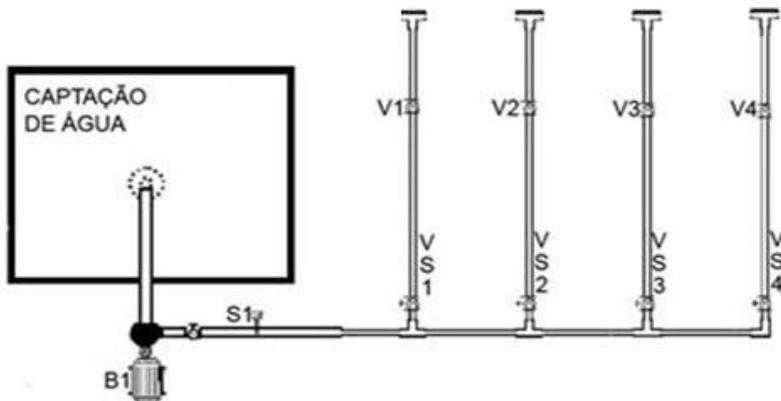


FIGURA 8 - Diagrama esquemático de um sistema de irrigação.

O controlador irá atuar na motobomba, nas válvulas VS1, VS2, VS3 e VS4, e no sensor de pressão S1.

Através de uma IHM desenvolvida especialmente para o controlador, será possível ligar/desligar as válvulas solenóides. Caso as quatro válvulas sejam ligadas, a motobomba deve ser capaz de manter uma pressão suficiente para que a rega seja realizada uniformemente.

Se o operador desligar uma ou mais válvulas, o controlador eletrônico, através da leitura do sensor de pressão S1, deve diminuir automaticamente a velocidade

da moto bomba até chegar novamente à pressão de referência.

O diagrama de controle do sistema é apresentado na Figura 9.

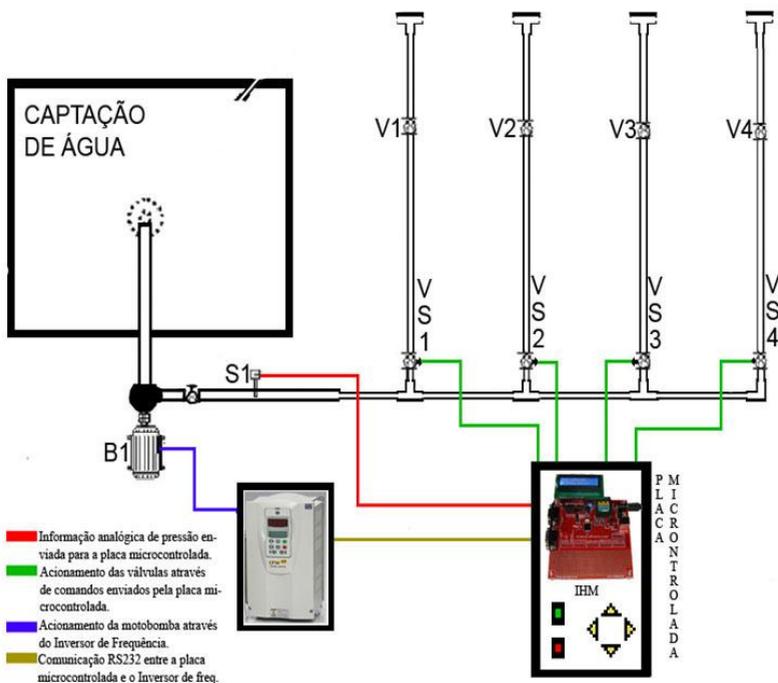


FIGURA 9 - Diagrama esquemático do sistema de irrigação com controlador eletrônico

Com a definição da arquitetura, o próximo passo foi definir as etapas de desenvolvimento que seriam utilizadas no projeto. A seguir a lista de etapas a serem cumpridas para alcançar êxito no desenvolvimento do produto final.

1. Especificar materiais para montagem de uma estrutura real de irrigação, contendo motobomba, aspersores, válvulas, tubos e conexões e reservatório de água.
2. Especificar, definir e adquirir dispositivo para leitura de pressão das linhas de irrigação.
3. Especificar, definir e adquirir dispositivo para controlar a variação de velocidade da motobomba.
4. Definir dispositivos eletrônicos para as interfaces e também o microcontrolador.
5. Montar sistema de irrigação em ambiente propício.
6. Inserir dispositivo para leitura de pressão entre a saída da motobomba e a entrada das válvulas solenóides.
7. Acionar a motobomba a partir de um dispositivo que permita a variação de

velocidade a partir de comandos enviados pelo microcontrolador.

8. Verificar a resposta do dispositivo para leitura de pressão.

9. Calcular equação de controle em malha fechada.

10. Programar o microcontrolador, com as funções básicas de acionamento de válvula, troca de velocidade da motobomba e com funções avançadas de controle em malha fechada.

11. Desenvolver esquemas elétricos de todo sistema.

12. Desenvolver leiaute de placa de circuito impresso.

13. Montar protótipo de controlador para irrigação.

14. Testar e validar o controlador Eletrônico para Irrigação.

A partir da definição das etapas foi que o projeto iniciou na prática.

4.2.1 Passo 1 a 4 - Componentes Principais e Protocolo de Comunicação

O passo 1 trata da definição dos materiais para a montagem de um sistema de irrigação real. Com o auxílio e orientação de um especialista em irrigação e drenagem, Professor Antonio Augusto Alves Pereira, Supervisor do Laboratório de Agricultura Irrigada do Centro de Ciências Agrárias (CCA), na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), foi possível dimensionar um sistema de irrigação real.

O laboratório cedeu três itens para os testes, sendo uma motobomba, quatro válvulas e uma caixa d'água.

A motobomba é a modelo BC92 da fabricante SCHNEIDER. A motobomba é a responsável por retirar a água do reservatório e enviá-la para as linhas de irrigação.

A motobomba BC92 possui as seguintes características:

- a) potência de 1 CV;
- b) alimentação trifásica 220/380 VAC;

- c) pressão máxima: 3,34 BAR.;
- d) vazão máxima: 6,9 m³/h;
- e) rotação máxima: 3600 RPM;
- f) diâmetro da sucção e recalque: 1 ”.

Fonte: Manual do fabricante.

Segundo o fabricante, a frequência nominal de trabalho é de 60 Hz, igual à frequência da rede elétrica brasileira. Porém, a frequência mínima de trabalho que a motobomba suporta é 30 Hz.

Variando a frequência da motobomba na faixa de 30 Hz até 60 Hz, é possível variar a vazão e a pressão do sistema.

O segundo item cedido para a pesquisa foram as válvula Solenóide 1” fabricado pela BACCARA.

Para o controle de irrigação se tornar setorizado, é necessário que o controle seja realizado através da abertura/fechamento das quatro linhas de irrigação. Para que isso aconteça, foram especificadas quatro válvulas com acionamento através de solenóide, fabricado pela Baccara *Solenoids Valves*. As válvulas são normalmente fechadas e possuem um diâmetro de passagem de água de 1”. Além disso, o acionamento é

feito com 24 VAC e a corrente elétrica necessária para acionar a válvula é de aproximadamente 125 mA. Cada válvula possui ainda um regulador de pressão e uma chave de abertura manual.

O terceiro item cedido foi uma caixa d'água de 1000 litros, responsável por armazenar e fornecer água para as linhas de irrigação.

Para que a irrigação acontecesse, era necessário que na ponta de cada linha de irrigação fosse colocado um aspersor. Para tal função foi realizada uma pesquisa com diversos fornecedores, sendo efetuada uma parceria com a empresa Agropolo Implementos Agrícolas Ltda. A Agropolo forneceu oito aspersores, sendo dois modelos distintos: NY 25 e MV 360L. A característica principal dos dois modelos que interessa para o projeto é a vazão d'água, que no NY 25 é 0,289 m³/h e no MV 360L é 1,58 m³/h.

Através da vazão dos aspersores é que se tem uma variação de pressão maior ou menor nas linhas de irrigação. Quanto maior for a vazão de água, menor será a pressão do sistema e vice-versa, considerando fixa a pressão da motobomba.

Para completar o passo 1, foram adquiridos tubos e conexões de 1" fabricados pela Amanco, que se

encaixam perfeitamente com as válvulas e com a motobomba.

O passo dois foi à pesquisa de um sensor de pressão, capaz de verificar a pressão logo na saída da motobomba, que tivesse compatibilidade para trabalhar com água, e que fosse possível de ser lido por um conversor analógico-digital (AD) de um microcontrolador.

Depois de realizada uma pesquisa com diversos fornecedores, foi escolhido o sensor de pressão modelo PHD.X 100PSI 14N fabricado pela Zürich Industria e Comércio Ltda. O sensor PHD.x atende a todos os requisitos do projeto e possui as seguintes características:

- a) faixa de pressão de 0 a 100 PSI;
- b) material do invólucro inox;
- c) elemento sensor tipo piezorresistivo;
- d) sinal de saída 4 – 20 mA, 2 fios;
- e) excitação de 8 a 28 VCC;
- f) sobrepressão máxima de 30% da faixa;
- g) proteção contra inversão de polaridade;
- h) temperatura máxima do invólucro de 55 ° C.

A Figura 10 apresenta uma foto do sensor retirados do manual do fabricante.



FIGURA 10 - Foto do sensor de pressão PHD.X – Zürich

A Figura 11 apresenta as dimensões e o esquema de ligação, retirados do manual do fabricante.

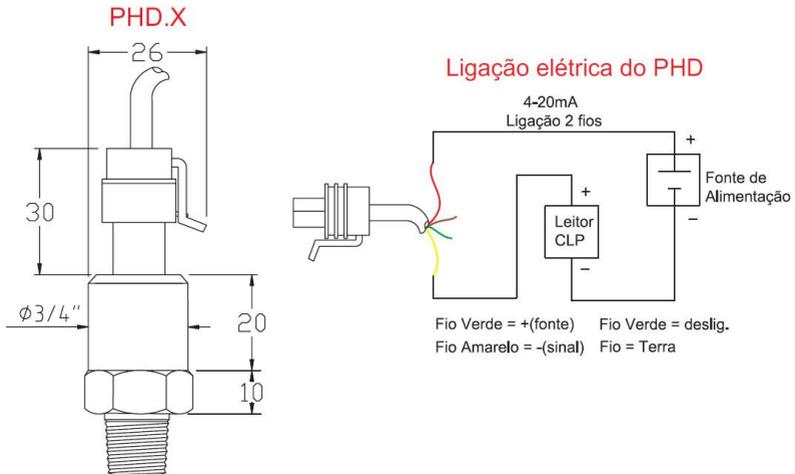


FIGURA 11 - Dimensões e esquema de ligação elétrica do sensor de pressão.

Fonte: Manual do fabricante.

Para cumprir o passo 3, foi necessário localizar um inversor de frequência capaz de ser controlado via interface serial RS 232, interface essa encontrada facilmente nos microcontroladores.

Com o auxílio do Especialista em Automação foi possível definir o inversor de frequência adequado para trabalhar com a motobomba. O inversor escolhido foi o CFW09 fabricado pela WEG. Esse inversor foi disponibilizado pelo SENAI/SC para o desenvolvimento do controlador eletrônico para irrigação.

Para a definição do inversor de frequência foram levados em consideração dois itens principais, que são:

- a) Possuir comunicação serial RS-232 para ser possível ligar/desligar uma motobomba, variar a rotação e monitorar grandezas elétricas para controle e proteção de maneira remota.
- b) Capacidade de acionar motobombas com diferentes potências.

O inversor de frequência possui um *firmware* de controle da transmissão/recepção de dados pela interface serial, categoria mestre/escravo, onde o mestre (microcontrolador) realiza as perguntas para o escravo (CFW09). A troca de dados é feita a partir de caracteres ASCII, sendo a taxa de transmissão de 9600 bits/s.

O mestre tem condições de realizar operações de identificação do inversor, comandos e reconhecimento de estado.

Dentre essas operações, foi utilizado apenas o modo comandos, com as funções de habilita/desabilita por rampa (gira/para) e referencia de velocidade.

A linha de inversores de frequência CFW09 possui a capacidade de acionar motores de 1 CV até 1500 CV.

Segue uma breve descrição das características do inversor CFW09:

- a) dimensionamentos para torque constante e torque variável;
- b) grau de proteção NEMA 1 / IP20 padrão até 200 CV, IP20 até 500 CV e NEMA 4x / IP56 em aço inox até 10 CV;
- c) elevada compactação;
- d) instalação e programação simplificadas;
- e) posta em marcha (*start-up*) orientado;
- f) possibilidade de fixação via flange, com dissipador atrás da placa de montagem;
- g) programação e monitoração via microcomputador com o software SUPERDRIVE (opcional);
- h) comunicação SERIAL RS232/485;

- i) link CC acessível para alimentação em corrente contínua ou retificador regenerativo;
- j) comunicação em redes FieldBus: ProfiBus DP, DeviceNet, EtherNet ou DeviceNet Drive Profile (opcional).
- k) disponível Modbus RTU (incorporado);
- l) certificações Internacionais.

Como os comandos serão feitos através da interface RS-232, a troca de dados acontece de forma bidirecional, porém não simultânea (HALF DUPLEX). Segundo o manual do usuário do CFW09, o formato dos caracteres deve obedecer ao seguinte protocolo:

- a) 1 *start* bit;
- b) 8 bits de informação;
- c) 1 *stop* bit;

sendo que após o start bit segue o bit menos significativo.

O protocolo de transmissão é o formato que as palavras são enviadas e recebidas do inversor. É através desse protocolo que o inversor interpreta os comandos que estão sendo recebidos.

Pelo mestre são usados dois tipos de mensagens:

- a) Telegrama de leitura: para consulta do conteúdo das variáveis do inversor.
- b) Telegrama de escrita: para alterar o conteúdo das variáveis ou enviar comandos para os inversores.

O telegrama de leitura permite que o mestre receba do inversor o conteúdo correspondente ao código da solicitação.

Para receber o conteúdo, o mestre envia um pedido com o formato apresentado na Figura 12.

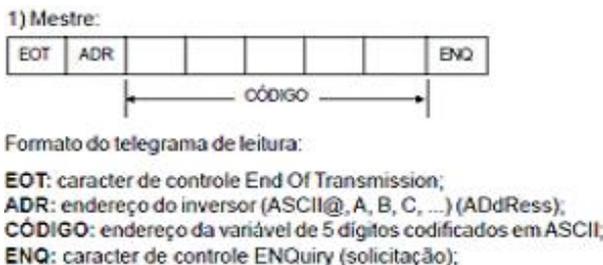
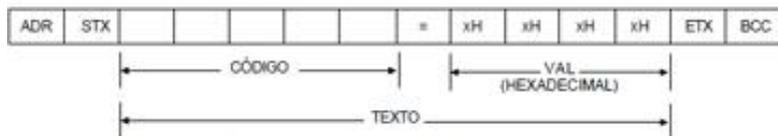


FIGURA 12 - Telegrama de leitura: Pedido do mestre.

Fonte: CFW09, Manual do usuário.

A resposta do inversor vem através do telegrama de resposta com o formato apresentado na Figura 13.

2) Inversor:



Formato do telegrama de resposta do inversor:

ADR: 1 caracter - endereço do inversor;

STX: caracter de controle - Start of TeXt;

TEXTO: consiste em:

☑ **CÓDIGO:** endereço da variável;

☑ " = " : caracter da separação;

☑ **VAL:** valor em 4 dígitos HEXADECIMAIS;

ETX: caracter de controle - End of TeXt;

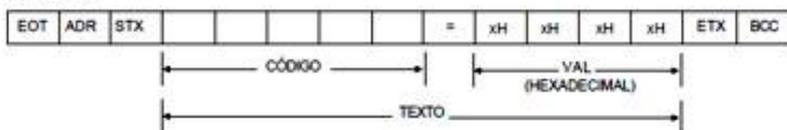
BCC: Byte de CheCksum - EXCLUSIVE OR de todos os bytes entre STX (excluído) e ETX (incluído).

FIGURA 13 - Telegrama de leitura: resposta do inversor.

Fonte: CFW09, Manual do usuário.

O telegrama de escrita permite que o mestre envie os dados para as variáveis do inversor, sendo apresentado na Figura 14 o formato da palavra que o mestre envia.

1) Mestre:



Formato do telegrama de escrita:

EOT: caracter de controle End Of Transmission;

ADR: endereço do inversor;

STX: caracter de controle Start of TeXt;

TEXTO: consiste em:

CÓDIGO: endereço da variável;

"=": caracter de separação;

VAL: valor composto de 4 dígitos HEXADECIMAIS;

ETX: caracter de controle End of TeXt;

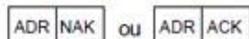
BCC: Byte de CheCksum - EXCLUSIVE OR de todos os bytes entre STX (excluído) e ETX (incluído).

FIGURA 14 - Telegrama de escrita: envio de dados para o inversor.

Fonte: CFW09, Manual do usuário.

A Figura 15 apresenta a resposta do inversor de frequência para o mestre após o pedido.

2) Inversor:



Formato do telegrama de resposta do inversor:

Aceitação:

ADR: endereço do inversor;

ACK: caracter de controle ACKnowledge;

Não aceitação:

ADR: endereço do inversor;

NAK: caracter de controle Not AcKnowledge.

Isso significa que os dados não foram aceitos e a variável endereçada permanece com o seu valor antigo.

FIGURA 15 - Telegrama de escrita: resposta do inversor.

Fonte: CFW09, Manual do usuário.

Para executar os telegramas, é necessário que se monte o código referente à variável que se quer ler ou escrever. A montagem dos códigos é apresentada na Figura 16.

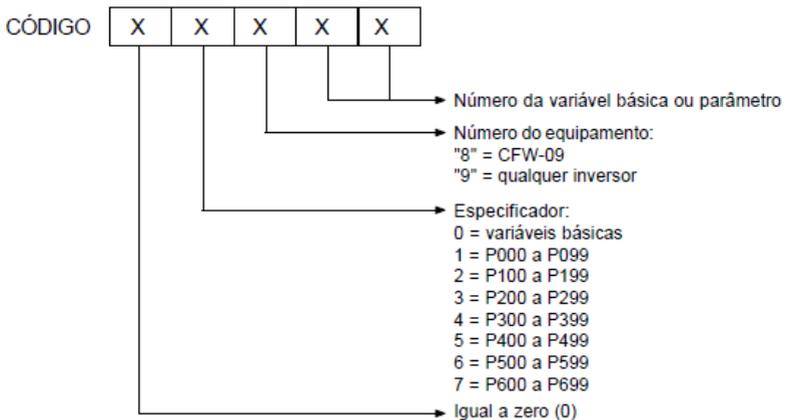


FIGURA 16 - Montagem do código referente à variável de leitura ou escrita.

Fonte: CFW09, Manual do usuário.

Para validar a comunicação serial RS-232, o inversor de frequência foi conectado ao computador, e o através do *software* Superdriver 5.91 desenvolvido pela WEG, foi possível ler e alterar os parâmetros do inversor de frequência.

O passo nº 4 trata da definição dos dispositivos e componentes eletrônicos para comandar todo o sistema e formar o controlador.

Os componentes são equipamentos e interfaces que integram todas as partes do projeto, executando funções específicas e vitais para o funcionamento do conjunto. A primeira definição realizada foi em relação ao microcontrolador.

Segundo Pereira (2007), microcontrolador é um processador embarcado em um *microchip* que possui periferia externa como memória, interfaces de comunicação, terminais de entrada e saída, etc. Para realizar todos os cálculos referentes ao controle em malha fechada, controlar a abertura e fechamento das válvulas solenóides, interagir através da interface RS-232 com o inversor de frequência, ler os botões e escrever no display formando a IHM e ler os valores referentes à pressão do sensor, foi utilizado um microcontrolador modelo LPC2368FBD100 fabricado pela NXP *Semiconductors*. O LPC2368 é um microcontrolador que possui uma unidade de processamento central (CPU) de 32 bits capaz de operar a uma frequência de 72 MHz, realizando 72 milhões de instruções por segundo (MIPS). O modelo da CPU do

LPC2368 é o ARM7TDMI-S, que é uma versão sintetizável do ARM7TDMI (normalmente fornecida em uma linguagem de descrição de *hardware* como Verilog ou VHDL) (PEREIRA, 2007).

O LPC2368 possui ainda as seguintes características:

- a) 100 terminais, sendo 70 programáveis como entrada e saída (I/O);
- b) 512 kB de memória *flash*;
- c) 32 kB de memória SRAM;
- d) interfaces: Ethernet, CAN, USB, UART, SPI, SSP, I²C e I²S;
- e) interface *memory card*, SD/MMC.
- f) 6 entradas de conversão analógico/digital (A/D) de até 10 bits;
- g) conversor digital/analógica (D/A);
- h) interrupção externa;
- i) temporizadores/contadores, canal PWM;
- j) *Real Time Clock (RTC)*;
- k) *WatchDog timer*;
- l) tensão de alimentação: 3,3 VCC.

Para o projeto, estão sendo utilizados sete terminais de saída para o *display* LCD, seis terminais de entrada mais dois terminais de saída para a leitura de botões e acionamento de LEDs indicadores de estado, quatorze terminais de saída para o acionamento das válvulas solenóides (sendo quatro para a placa principal e dez para uma placa de expansão), uma entrada de conversão A/D para leitura do valor de pressão, uma interface serial para o controle do inversor de frequência e a gravação do microcontrolador, entradas de clock para o sistema e também para o *real time clock* (RTC), além de alimentação e *reset*.

O microcontrolador está sendo utilizado em um kit de desenvolvimento de projetos fabricado pela MCU Tecnologia. O kitMCU possui integrado em uma única placa regulador de tensão interna para alimentar o microcontrolador e a periferia, interface de gravação *In System Programming* (ISP), interface UART, ethernet, USB, *memory card*, acesso aos terminais de entrada e saída, *display* de LCD com 16 colunas e 2 linhas com luz de fundo e uma área com espaço para montagem de outros componentes. A Figura 17 apresenta o kit MCU.

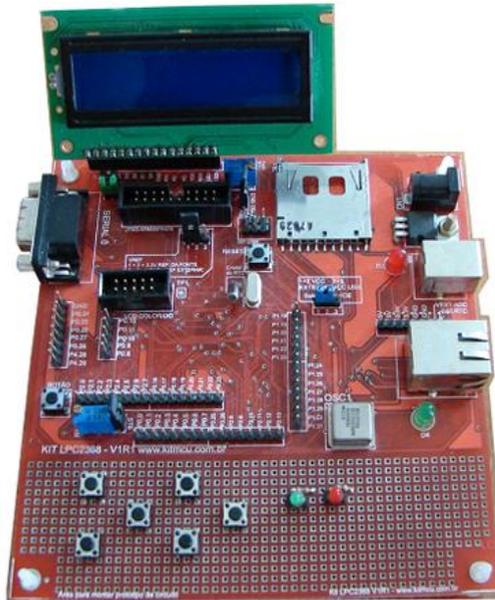


FIGURA 17 - KitMCU contendo o microcontrolador uma periferia externa.

Outra definição feita foi em relação ao sistema de acionamento de válvulas. Para esse projeto optou-se por utilizar triacs em conjunto com optoacopladores para que fosse possível acionar, a partir do microcontrolador que possui uma tensão de 3,3 VCC na sua porta, uma válvula de 24 VCA. O esquema de ligação e os componentes podem ser observados no item 4.2.6.

O restante dos componentes envolvidos no projeto serão citados no capítulo referente a esquemas elétricos.

4.2.2 Passo 5 a 7 – Montagem do Sistema Hidráulico e Testes Iniciais

Com todos os itens reunidos como mostrado na Figura 18, o primeiro passo foi realizar a montagem do sistema hidráulico, que é o principal suporte para a realização dos testes. Inicialmente, foi escolhido um ambiente com espaço razoável, visto que os jatos d'água podem alcançar 12 metros de raio.



FIGURA 18 – Tubos, conexões, e componentes para montagem da parte prática.

A Figura 19 apresenta a maneira como é dividido as linhas de irrigação.



FIGURA 19 - Divisão das linhas de irrigação.

A Figura 20 apresenta a continuidade das linhas de irrigação.



FIGURA 20 - Continuidade das linhas de irrigação.

A Figura 21 apresenta a forma como foram disposta as linhas de irrigação.



FIGURA 21 - Disposição dos aspersores.

Com o sistema hidráulico montado e os passos 5 e 6 concluídos, as atenções foram voltadas para o passo 7, que trata do acionamento da motobomba e também da abertura e fechamento das válvulas.

Para realizar a abertura das válvulas, foi utilizado um transformador 220 VCA para 24 VCA, sendo o acionamento realizado através da ligação direta dos solenóides no transformador.

A motobomba foi conectada ao inversor de frequência, onde foi possível ajustar os parâmetros para uma operação sem riscos, como excesso de corrente, tensão e também partida controlada.

A Figura 22 apresenta a primeira operação do sistema de irrigação, utilizando aspersores Agropolo modelo NY 25.



FIGURA 22 - Funcionamento do sistema hidráulico.

A primeira constatação feita após os testes, foram que o sistema apresentava alguns pontos com vazamento. A segunda análise realizada, utilizou um manômetro colocado em série com o sensor de pressão, onde foi possível constatar que, com a baixa vazão de

água que o aspersor NY25 permite, ao ser ligado uma ou as quatro válvulas, variação de pressão lida no manômetro não excedia 400 mBAR, não sendo necessário sistema de controle para elevar ou abaixar a pressão. Com isso, os aspersores NY 25 foram trocados pelo MV 360L, que possui uma vazão superior, ocorrendo então uma variação de aproximadamente 2 BAR.

Com a conclusão da parte mecânica, as atenções se voltaram para o passo 8, que trata da verificação de resposta do sensor de pressão.

4.2.3 Passo 8 – Resposta do Sensor de Pressão

O passo 8 mereceu um capítulo único por se tratar do ponto chave do projeto. A verificação da resposta do sensor de pressão impacta diretamente na equação de controle, equação responsável por fazer o sistema funcionar de maneira automática, sem a necessidade de intervenção humana.

Para que fosse possível realizar a leitura do sinal de corrente fornecido pelo sensor, deveria haver

uma adequação desse sinal de corrente para tensão (que será relatado adiante), pois o conversor analógico digital (AD) do microcontrolador suporta apenas leituras de tensão até 3,3 VCC. Foi então realizado a ligação da motobomba na sua tensão nominal (220 VAC – 60 Hz), e com o auxílio de um manômetro analógico, foi possível verificar que a máxima pressão que conseguiria ser obtida com a motobomba BC92 era de aproximadamente 2,8 BAR, como apresentado na Figura 23.



FIGURA 23 - Pressão máxima da motobomba com todos os aspersores fechados.

Sabendo que 3 BAR é aproximadamente 43,50 PSI e levando em consideração a linearidade do sensor, foi possível através de alguns cálculos como apresentado a seguir, descobrir um dispositivo simples de conversão corrente para tensão utilizando apenas um resistor.

$$\begin{aligned} 20mA &\equiv 100PSI \\ 4mA &= 0PSI \end{aligned} \quad [1]$$

e

$$3BAR \approx 43,50PSI \quad [2]$$

então,

$$\begin{aligned} 16Partes &= 100PSI \\ xPartes &= 43,50PSI \end{aligned} \quad [3]$$

$$xPartes = \frac{16 \times 43,50}{100} = 6,96Partes$$

Sabendo que a resposta do sensor é em mA e inicia em zero, então:

$$6,96 + 4 = 10,96mA \quad [4]$$

Portanto, através da equação 4, sabe-se que quando a motobomba estiver trabalhando em máxima potência (3 BAR) a resposta do sensor será igual a uma corrente de 10,96 mA.

Com esse valor, e definindo uma tensão máxima para o conversor AD igual a 3 VCC, é possível calcular um valor de resistor que realize a conversão sem que ocorra danos ao microcontrolador e ao sensor.

Utilizando a Lei de Ohm, chegou-se a seguinte conclusão:

$$\begin{aligned} V &= R \times I \\ 3 &= R \times 10,96 \times 10^{-3} \\ R &= \frac{3}{10,96 \times 10^{-3}} = 273,72\Omega \end{aligned} \quad [5]$$

Como o resistor comercial mais próximo a esse valor é igual a 270 Ω , então se voltou aos cálculos para saber os resultados próximos que deveriam ocorrer na prática.

$$V = R \times I$$

$$V = 270 \times 10,96 \times 10^{-3} = 2,9592 VCC$$

[6]

A partir desses cálculos, ficou definido que para a o sistema de conversão corrente tensão seria utilizado um resistor com valor ôhmico igual a 270 Ω , 1% de precisão e $\frac{1}{4}$ de watt de potência.

Foram iniciados os testes com o sensor de pressão acoplado na estrutura hidráulica, a fim de verificar a variação da pressão a partir da abertura e fechamento das válvulas. Seguindo as orientações apresentadas na Figura 11, a respeito do esquema de ligação do sensor, a primeira ligação feita é apresentada na Figura 24.

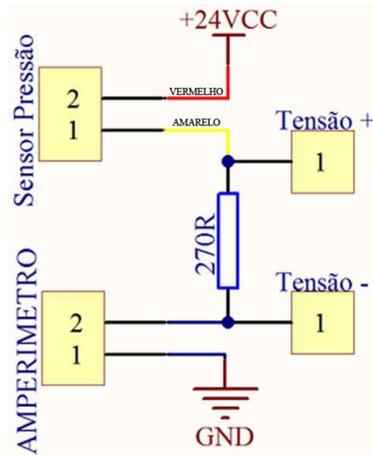


FIGURA 24 - Esquema de ligação do sensor de pressão.

Foi configurada uma fonte de tensão em 24 VCC, sendo o positivo ligado no fio vermelho do sensor, o fio amarelo ligado em um resistor, um amperímetro conectado em série entre o outro terminal do resistor e o negativo da fonte.

O objetivo desse primeiro teste é verificar a funcionalidade do sensor.

A corrente apresentada pelo amperímetro foi igual a 20 μ A, variando $\pm 2\%$. Sem pressão na entrada, o sensor deveria fornecer uma corrente igual a 4mA, e não 20 μ A. Em princípio suspeitou-se que o sensor estaria avariado, pois a ligação seguiu exatamente o esquema

apresentado na folha de dados. Desmontou-se o mesmo da parte mecânica e os testes foram repetidos em bancada, sem sucesso. Foram realizados alguns testes de continuidade e resistência entre os terminais do sensor, e também foi inserida pressão na entrada do sensor utilizando um compressor de ar e a resposta continuava a mesma. Com isso constatou-se que a ligação não estava correta. Foi realizada uma segunda ligação, agora com o fio verde no positivo da fonte, o amarelo no terminal do resistor, o amperímetro conectado entre o outro terminal do resistor e o negativo da fonte, como apresentado na Figura 25.

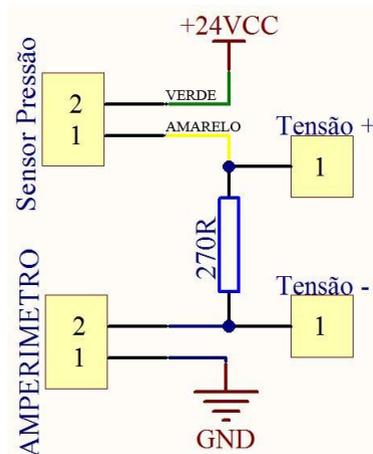


FIGURA 25 - Ligação correta do sensor de pressão para verificação da resposta.

Com a fonte de tensão ligada, foi observado uma circulação de corrente igual a 4,02 mA, exatamente a corrente especificada para o sensor funcionando sem pressão na entrada. Logo em seguida, foi inserido pressão com o uso de um sistema pneumático apresentado na Figura 26, e conseguiu-se perceber uma variação de corrente entre 4 mA e 20 mA, variando a pressão de entrada de 0 PSI a 100PSI, como especificado na folha de dados.

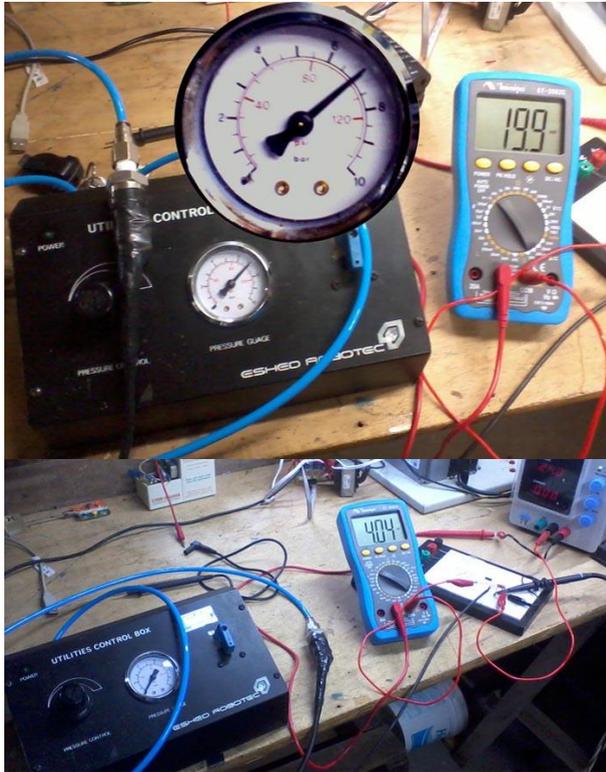


FIGURA 26 - Resposta do sensor de pressão conectado a um sistema pneumático.

O sensor foi reinstalado na saída da motobomba, e a mesma foi ligada novamente na tensão nominal. Foi conectado um osciloscópio em paralelo com o resistor para verificação do sinal de tensão equivalente (conversão corrente para tensão) a partir da corrente fornecida pelo sensor.

A primeira análise feita foi em relação ao ruído apresentado nessa medição, que inviabilizou qualquer interpretação de valor de tensão média, como apresentado na Figura 27.

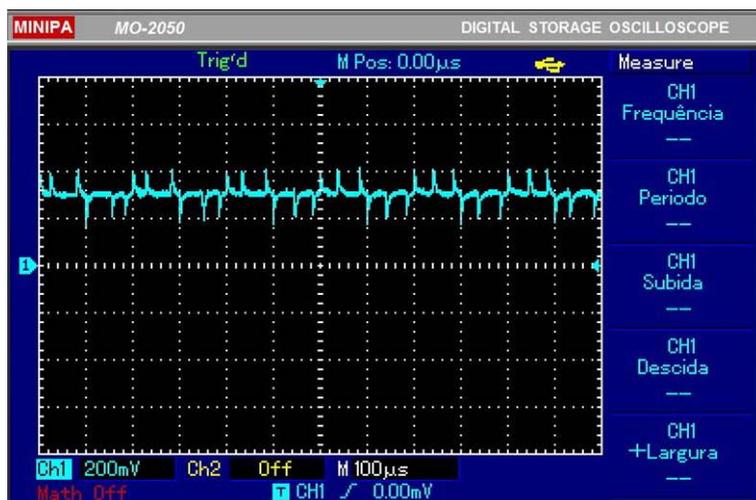


FIGURA 27 - Resposta do sensor de pressão convertida em tensão, apresentando ruído.

Para suprimir o ruído, foi inserido um capacitor em paralelo com o resistor como apresentado na Figura 28.

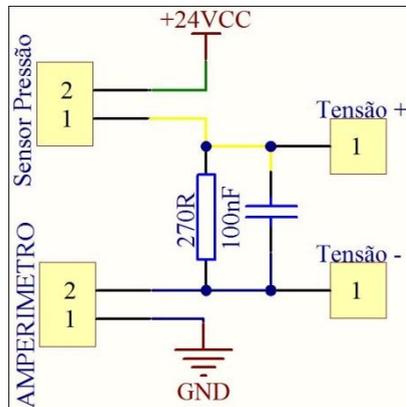


FIGURA 28 - Esquema elétrico do conversor corrente - tensão com filtro para minimização de ruído.

O capacitor, funcionando como filtro, permitiu a supressão do ruído provocado pelo inversor de frequência, sendo confirmado a partir de uma nova medição, onde foi verificado a eficácia do filtro capacitivo e também a emissão de ruído por parte da fonte de alimentação, que foi praticamente nula. A Figura 29 apresenta dois sinais, sendo o amarelo referente a alimentação do sensor de pressão; e o azul referente ao sinal do sensor. É possível observar que a fonte de alimentação não apresenta nenhum ruído, e também que o ruído que o sensor apresentava na Figura 27 foi suprimido.

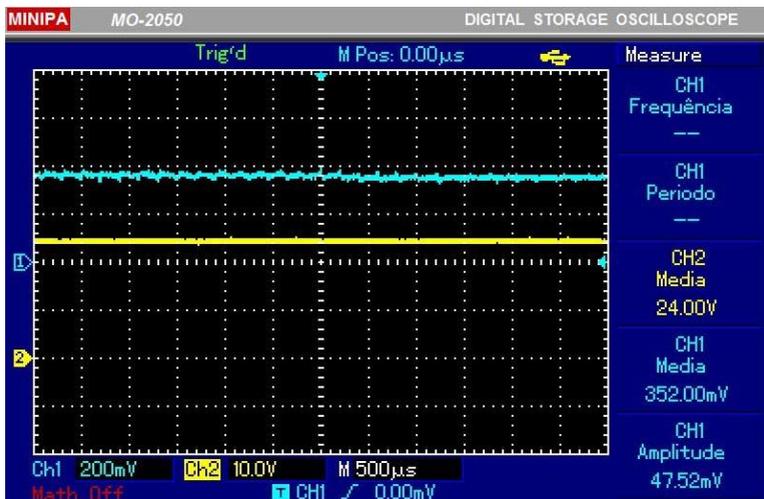


FIGURA 29 - Tensão da fonte de alimentação do sensor e resposta do sensor.

Com o sinal do sensor estabilizado, o objetivo passou a ser a coleta de dados do sensor a fim de verificar a variação de pressão conforme a abertura/fechamento de diferentes combinações de válvulas. Novamente a motobomba foi ligada e reajustada para trabalhar em máxima velocidade, elevando também a frequência de 60 Hz para 62Hz. Os testes iniciaram com todos os aspersores fechados. Em seguida foi aberto um por um, e os dados coletados são apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 - Coleta de dados de pressão com diferentes aspersores abertos.

Asp.	Manômetro	I (mA)	V (VCC)	Pico (V)	Vel. Bomba (RPM)	Frequência Motobomba
0	2,78 BAR	12,06	3,2	3,44	3600	62 Hz
1	2,42 BAR	11,57	3,12	3,36	3600	62 Hz
2	2,16 BAR	10,77	2,88	3,04	3600	62 Hz
3	1,78 BAR	10,08	2,72	2,88	3600	62 Hz
4	1,4 BAR	9,39	2,48	2,72	3600	62 Hz

Com as quatro válvulas ligadas jorrando água através dos quatro aspersores, a máxima pressão que a motobomba consegue manter no sistema é igual a 1,4 BAR. Sendo assim, como referência para o sistema de controle, essa foi a pressão adotada.

A Tabela 1 apresenta alguns outros dados coletados, como a corrente de saída do aspersor. A corrente acima de 10,96 mA como calculado, acontece por diversos motivos, sendo considerado a instabilidade do sistema de bomba, a instabilidade do inversor de frequência e também a precisão do sensor de pressão.

Com a elevação da corrente, a tensão também é elevada, mas não a ponto de causar danos ao

microcontrolador, que suporta uma tensão de pico até 3,6 VCC, segundo o manual do fabricante.

A partir dessa etapa, foram iniciados os testes para levantar a resposta do sensor de pressão quando acontece uma mudança no sistema como a abertura e fechamento de uma válvula.

A Figura 30 apresenta a resposta do sensor quando todas as válvulas estão desligadas e é aberta uma única. As medições foram realizadas utilizando um osciloscópio fabricado pela Minipa, modelo MO-2050. O primeiro teste foi realizado com uma escala de 500 mVCC por divisão, e não permitiu uma boa visualização da resposta do sensor. A partir daí passou-se a trabalhar com a escala de 100 mVCC, mínima escala possível de trabalho.

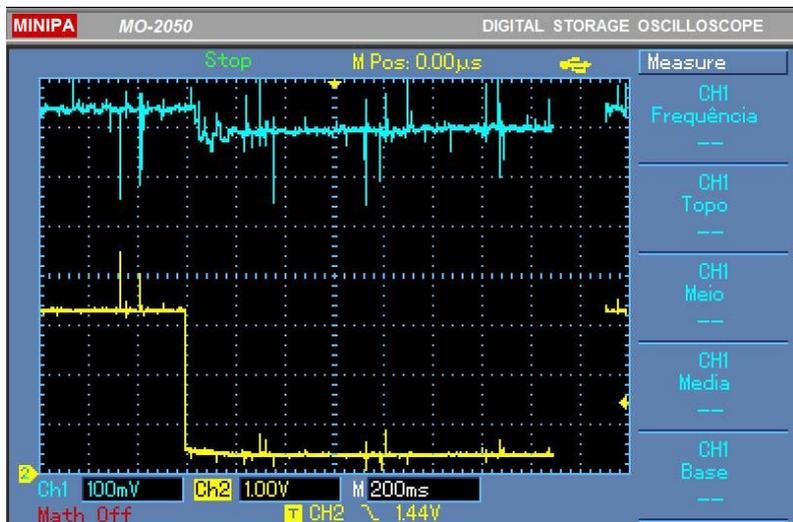
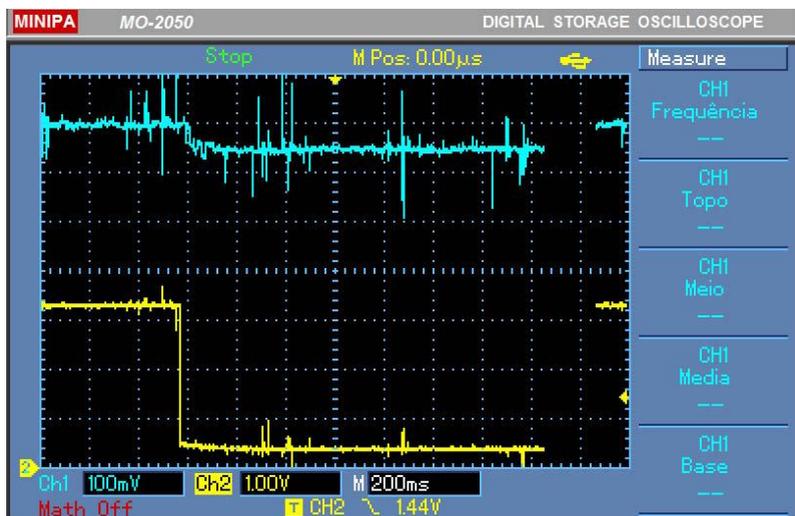
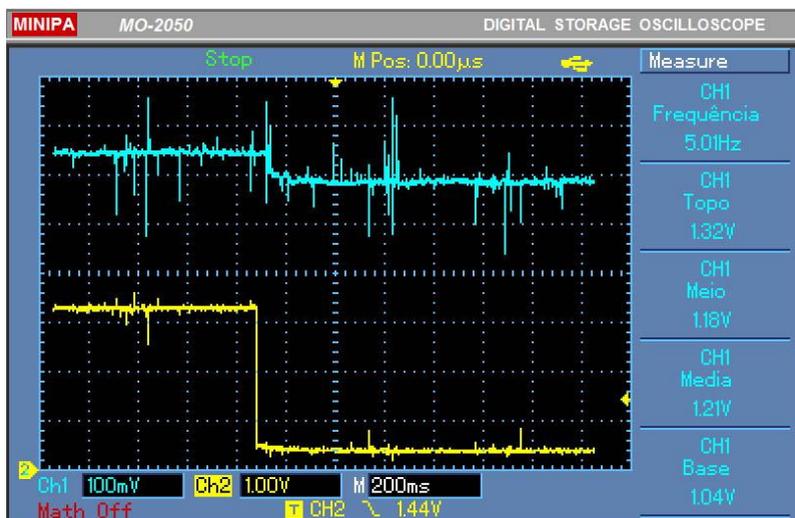


FIGURA 30 - Resposta do sensor a abertura de uma válvula.

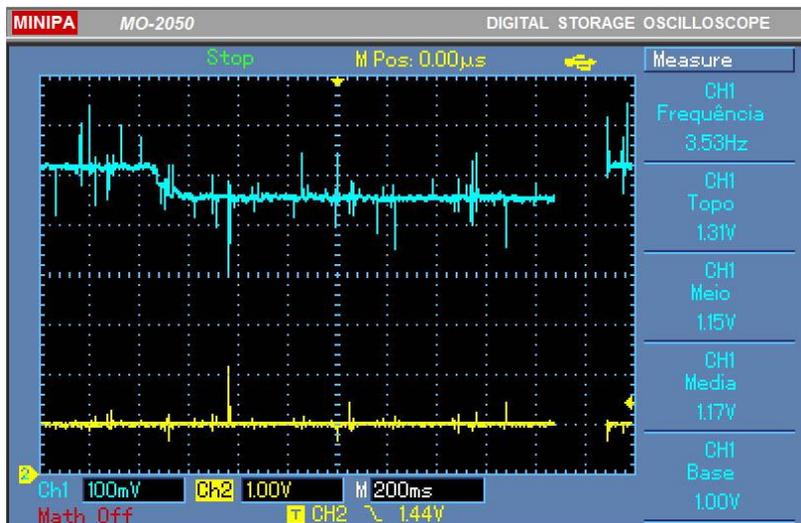
A Figura 31 apresenta a resposta do sensor a abertura de duas, três e quatro válvulas.



(a)



(b)



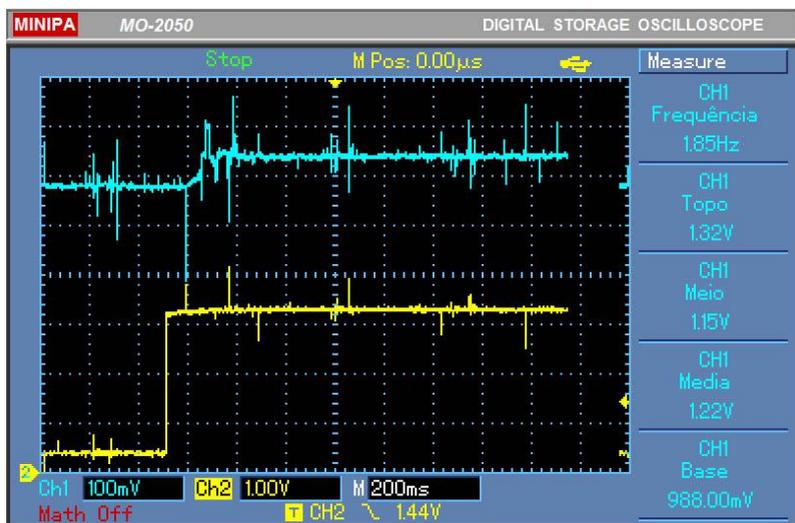
(c)

FIGURA 31 - (a) Duas válvulas abertas; (b) três válvulas abertas; (c) quatro válvulas abertas.

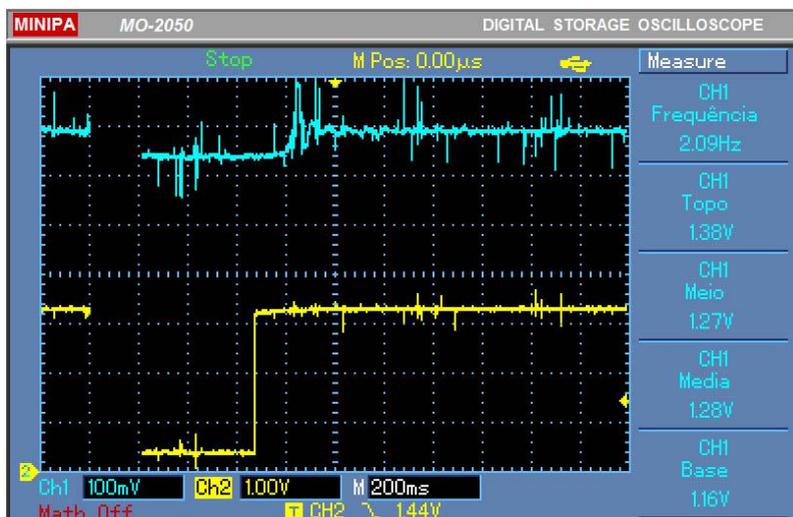
O teste foi feito também com o fechamento das válvulas, e o resultado é apresentado na Figura 32.



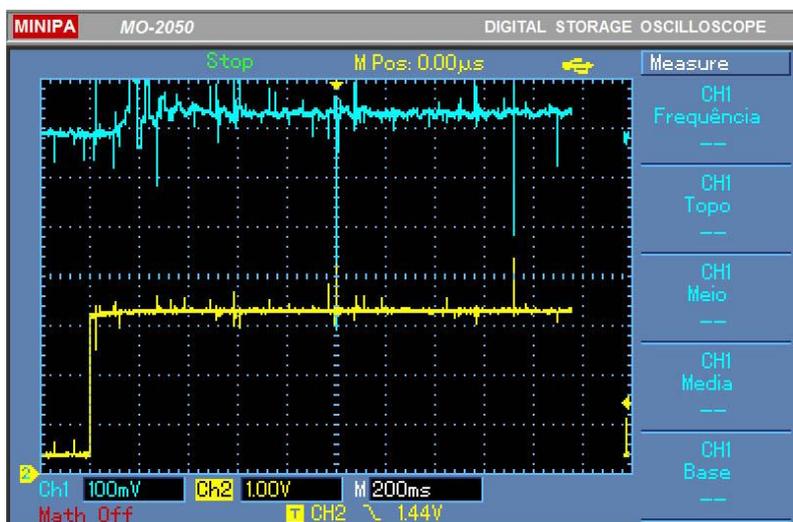
(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 32 - (a) fechamento de uma válvula; (b) fechamento de duas válvulas; (c) fechamento de três válvulas; (d) fechamento de quatro válvulas.

Os ruídos apresentados na resposta do sensor (linha azul da figura 30, 31 e 32) são gerados por interferências produzidas pelo inversor de frequência quando o mesmo está fornecendo energia para a motobomba. Essa informação foi validada a partir de testes realizados em bancada, onde o inversor foi ligado e desligado por diversas vezes, e foi monitorado a resposta do sensor em tempo real.

A partir dos dados apresentados acima, e para poder retirar uma equação de controle confiável, era necessária a realização de um segundo teste, que envolvia a alteração da velocidade da motobomba ao invés da abertura/fechamento das válvulas.

O teste consistia em ficar trabalhar com degraus de velocidade, começando com um degrau de 300RPM, com a velocidade inicial de 3000 RPM, mudando para 2700 e em seguida voltando para 3000 RPM. O teste deveria ser realizado para todas as condições previsíveis, como:

- Nenhum aspersor aberto.
- Um aspersor aberto.
- Dois aspersores abertos.

- Três aspersores abertos.
- Quatro aspersores abertos.

Para realizar esse teste, foi necessário programar um pequeno *firmware* para controlar a variação da velocidade da motobomba através do inversor de frequência. Esse *firmware* será apresentado adiante.

Com a programação pronta, um teste foi realizado, conectando-se o kit MCU ao inversor de frequência e ligando-se todo o sistema. Através da IHM própria do inversor, foi possível verificar que o kit comandava a alteração da velocidade da motobomba, porém o degrau de 300 RPM não influenciava muito a pressão do sistema. Reprogramando o degrau para 500 RPM (3000 RPM – 2500 RPM – 3000 RPM) foi possível verificar, tanto na resposta do sensor quanto no manômetro, uma variação de pressão que permite uma análise para a retirada precisa de uma equação de controle.

Assim que foi iniciado o processo de aquisição das telas do osciloscópio, contendo a resposta do

sensor, observou-se que o sinal de resposta estava oscilando muito.

A corrente que deveria se manter estável para uma determinada pressão de entrada, oscilava entre 5,9 mA e 25,7 mA, observadas diretamente no amperímetro.

O sensor foi novamente retirado da estrutura de irrigação. Foi verificado cabos, conexões e nada errado foi encontrado. Ao ser desconectado o cabo do sensor, identificou-se que havia umidade entre os terminais, o que o pode ter danificado. O sensor foi enviado para o fabricante para que o mesmo fizesse um laudo a respeito do acontecido, e foi identificado que a placa eletrônica responsável pela leitura da do transdutor queimou, sem possibilidade de ser recuperada. A Figura 33 apresenta a forma de onda que o sensor apresentava.

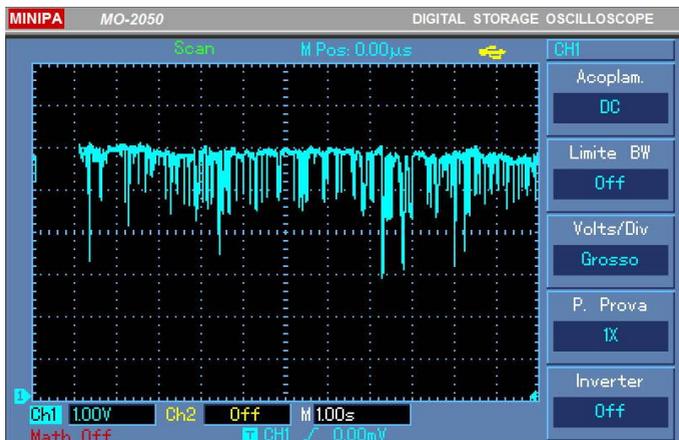


FIGURA 33 - Resposta do sensor de pressão.

A Figura 34 apresenta o sensor de pressão em cima da bancada, sem pressão na entrada, no instante que a corrente fornecida era de 21,1 mA sem pressão na entrada.



FIGURA 34 - Sensor de pressão com avaria. sem pressão de entrada com uma corrente de saída igual a 21,1 mA

Foi realizada a aquisição de um segundo sensor, porém, ao ser realizado os testes, o mesmo voltou a apresentar o mesmo problema, em virtude da umidade.

4.2.4 Passo 9 – Equação de Controle

Devido ao problema com o sensor de pressão, o passo nove ficou prejudicado por dois motivos:

1. Não foi possível obter a resposta do sensor no tempo quando acontecia algum evento.
2. Mesmo que a resposta tivesse sido retirada e a equação de controle calculada, não seria possível testar a implementação da mesma no microcontrolador, visto que o sensor é parte principal no controle de malha fechada.

Diante desse fato, e por causa da espera de chegada do sensor, voltou-se o foco para outras atividades, como parte dos passos 10, 11, 12 e 15.

4.2.5 Passo 10 – Programação do Microcontrolador

Para programar, compilar e gravar o *firmware* foram utilizados os *softwares* Eclipse SDK como ambiente de programação, o WinARM para compilação dos códigos gerados pelo Eclipse SDK e o Flashmagic para gravação do microcontrolador.

Além desses *softwares*, foram utilizados o NotePad++ com recursos de conversão de números e o Terminal Virtual para escrita e leitura de valores através da interface serial.

O desenvolvimento do *firmware* foi dividido em quatro etapas, descritas abaixo.

1. Programação da interface serial. Essa interface é a responsável por enviar os comandos para o inversor de frequência, onde o microcontrolador envia comandos e recebe as respostas do inversor.
2. Programação da IHM.

3. Programação da interface de acionamento das válvulas.
4. Programação do conversor AD.

Antes de iniciar a primeira etapa da programação, foi necessário programar algumas funções internas do microcontrolador. Essas funções são o *clock* do microcontrolador, o *watchdog timer*, o RTC e o canal de interrupções.

A Figura 35 apresenta o fluxograma de inicialização do microcontrolador.

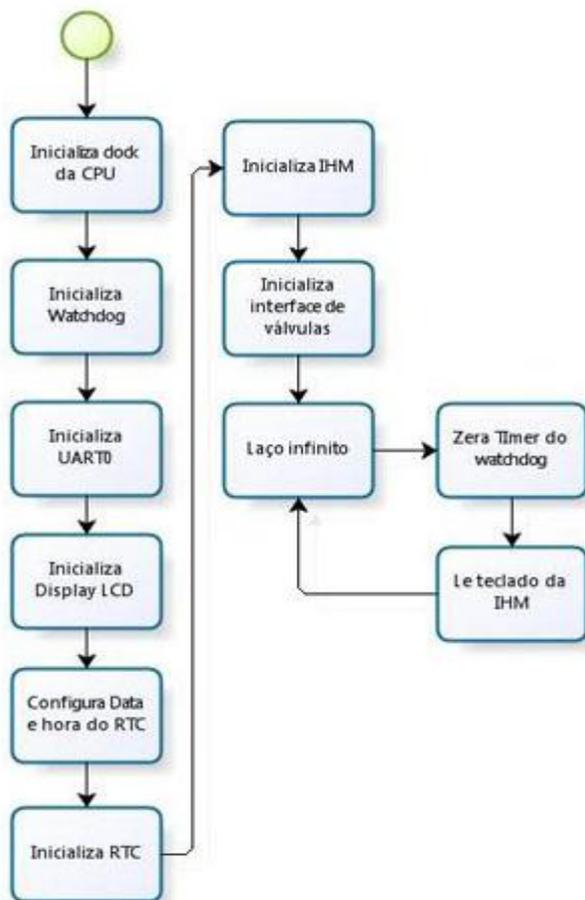


FIGURA 35 – Rotinas de inicialização do microcontrolador..

4.2.5.1 Inicialização do Microcontrolador

Para fazer a inicialização do microcontrolador foi necessário primeiramente programar o *clock* do sistema.

O LPC2368 possui diversos registradores que devem ser configurados para ajustar o *clock*, dentre eles o CCLKCFG, que é o registrador de configuração do *clock* do processador.

A frequência do cristal oscilador responsável pela base de tempo do microcontrolador é 12 MHz. Por possuir um circuito interno multiplicador de frequências conhecido como *Phase-Locked Loop* (PLL), foi possível selecionar a frequência de trabalho do processador acima da frequência do cristal oscilador, e com isso o LPC2368 passou a operar com uma frequência de 60 MHz. Para o controlador eletrônico a frequência definida foi de 60 MHz e a Figura 36 apresenta uma parte do código referente à programação do PLL, parte essa que ajusta a frequência para 60 MHz.

```
CLKSRCSEL = CLKSRC_MAIN_OSC; /* select main OSC as the PLL clock source */

PLLCFG = PLLCFG_MSEL | PLLCFG_NSEL;
PLLFEED = 0xaa;
PLLFEED = 0x55;

PLLCON = (PLLCON_PLLE | PLLCON_PLLC); /* enable and connect */
PLLFEED = 0xaa;
PLLFEED = 0x55;

CCLKCFG = CCLKCFG_CCLKSEL_VAL; /* Set clock divider, Manual p.45 */
```

FIGURA 36 - Configuração do *clock*.

A segunda inicialização feita foi do *watchdog timer (WDT)*. Trata-se de um temporizador responsável por reiniciar o microcontrolador quando o mesmo se perde em alguma rotina e acaba parando de executar o programa (trava). Se em 30 segundos não for escrito uma palavra em um registrador do WDT (WDFEED), o mesmo aplica um *reset* e reinicia o microcontrolador.

Para tratar das interrupções que serão programadas através do *firmware*, o LPC2368 dispõe de dois modos de atendimento de interrupção, que são:

- a) Interrupção IRQ.
- b) Interrupção FIQ.

Para o controlador eletrônico foi definido o modo de interrupção IRQ como sendo o modo de atendimento das interrupções. Esse modo é configurado diretamente no registrador VICIntSelect, colocando o mesmo com valor igual zero.

Para atuar como descanso de tela no *display* da IHM quando o controlador não estiver sendo utilizado, o RTC foi programado com hora, minuto e segundo. A mudança nos segundos o microcontrolador atualiza o *display* com o novo valor de tempo.

A rotina de configuração do RTC é apresentada na Figura 37.

```
//\Habilita Real Time Clock
myDateTime.year = 2009; /* Year */
myDateTime.month = 12; /* Month */
myDateTime.day = 4; /* Daym */
myDateTime.DOW_ = 6; /* Dayw */
myDateTime.hour = 23;
myDateTime.minute = 59;
myDateTime.second = 59;

// Initialize RTC
RTC_Init();
RTC_SetDateTime(&myDateTime);
```

FIGURA 37 - Definição da data e da hora. Inicialização do RTC.
Ajuste da data e da hora seguindo as configurações ajustadas anteriormente.

4.2.5.2 Interface Serial

A interface serial é a principal interface do sistema. É ela quem vai comunicar o controlador ao inversor de frequência, e enviará os comandos de ligar/desligar a motobomba e variar a sua velocidade.

Para que o inversor consiga entender e aceitar as palavras enviadas pelo microcontrolador, a interface serial ou UART teve que ser programada com 1 *star* bit, 8 bits de informação e 1 *stop* bit.

Como os terminais RX e TX da interface serial possuem outras funções, a primeira programação feita foi habilitar as portas para trabalhar como UART0 (RX e TX).

A interface serial foi programada para trabalhar com uma taxa de comunicação de 9600 bps. A interrupção de recebimento de dados foi programada para facilitar no recebimento de dados do inversor.

4.2.5.3 Programação da IHM e Acionamento

Interface homem máquina (IHM) é a parte do projeto responsável pela interação com o usuário. Através da IHM, o usuário irá realizar todas as operações e comandos no controlador e também ficará sabendo o status atual de funcionamento. Para a programação da IHM, foi necessário programar o microcontrolador para realizar leituras das portas (chaves tácteis) e a escrita das informações no *display*.

A primeira rotina programada foi um descanso de tela utilizando o RTC. Enquanto a rotina principal conhecida como “*main*” fica lendo as entradas referentes

ao teclado da IHM, o *real time clock* trabalha em sistema de interrupção, que possui a função de atualizar a hora e mostra-la no *display* a cada 1 segundo, como apresentado na Figura 38.



FIGURA 38 - Descanso de tela quando não é pressionada nenhuma tecla.

A Figura 39 apresenta a rotina de interrupção do RTC, que escreve a mensagem na tela e atualiza a hora no display.

```

void rtcISR(void) {           //rotina de interrupção do RTC

    ISR_ENTRY();             //entra na interrupção

    RTC_ILR |= ILR_RTCCIF;   //limpa flag de interrupção do RTC

    if (hora == 1){         //se a tecla enter não for pressionada
        LCD_gotoxy(1,1);    //mostra mensagem e atualiza a hora
        LCD_puts("<IRRIGATA C6000>"); //escreve mensagem no display

        atualizahora();     //chama rotina de atualizar hora
    }

    VICVectAddr = 0x00000000; // clear this interrupt from the VIC
    ISR_EXIT();              //sáí da interrupção
    //Finaliza interrupção
}

```

FIGURA 39 - Rotina de tratamento da interrupção do RTC.

Assim que pressionado a tecla “*enter*”, foi programado para aparece no *display* um menu de opções, apontando para a opção “Gira/Para”, que serve para enviar um comando para o inversor de freqüência referente a girar ou parar a motobomba.

O menu foi programado para mostrar as opções de forma rotativa. Ao pressionar as teclas “baixo” ou “cima” as opções seguintes aparecem na primeira linha do *display*, de modo que, ao pressionar a tecla “direita” é carregado um submenu, respectivo a função mostrada na primeira linha.

A Figura 40 apresenta a sequência de telas apresentadas no *display* quando as teclas da IHM são pressionadas.

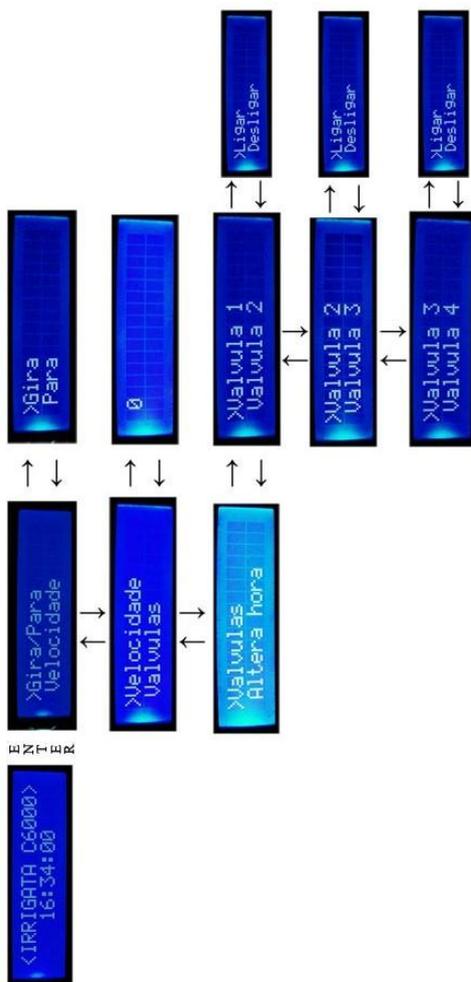


FIGURA 40 - Telas da IHM.

Velocidade é a segunda função que aparece no *display*. Essa função é responsável pela leitura e variação da velocidade na motobomba. Segundo o Manual do Usuário (CFW09, p.100) o parâmetro referente à velocidade é o P133. Para modificar a velocidade de giro do eixo da motobomba basta que o kitMCU altere o valor de P133. Para desenvolver os códigos referente a alteração de velocidade, foi utilizado como referencia o fluxograma apresentado na Figura 41.

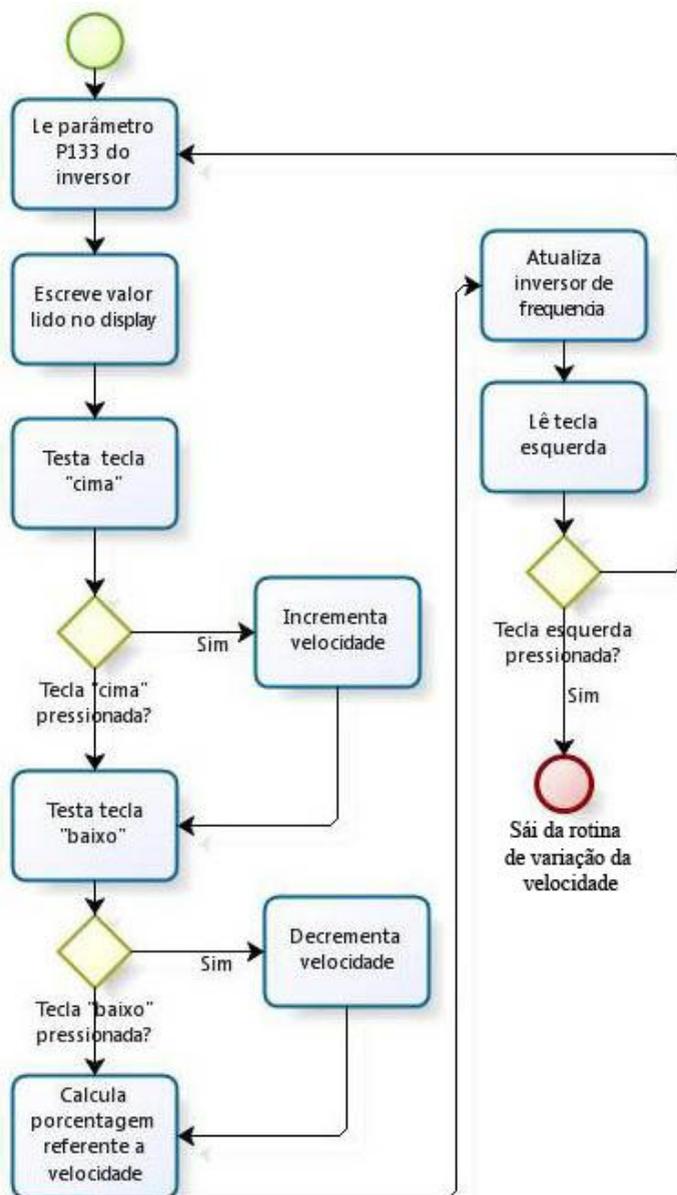


FIGURA 41 - Fluxograma de alteração da velocidade.

Quando o operador requisita a função de velocidade o *firmware* entra em um laço onde executa a função até que o operador aperte a tecla esquerda para voltar para o menu inicial ou cancela para voltar para o descanso de tela. Essa rotina foi elaborada para facilitar o incremento/decremento e também para atualizar em tempo real o *display* com a nova velocidade ajustada pelo operador através das teclas “cima” e “baixo”. O código programado para alterar a velocidade é apresentado na Figura 42.

```

while (!testa_esquerda) { //enquanto tecla esquerda não for pressionada
  liga_led_vermelho; //liga LED de indicação
  if (testa_cima) { //testa se a tecla "cima" está sendo pressionada
    velocidade_total = velocidade_total + 10; //incrementa velocidade
    if (velocidade_total >= 0x0E10) //testa se velocidade chegou
      //ao valor máximo
      velocidade_total = 0x0E10; //se chegou mantém
  }
  if (testa_baixo) { //testa se a tecla "baixo" está sendo pressionada
    velocidade_total = velocidade_total - 10; //decrementa velocidade
    if (velocidade_total <= 0x6FB) //testa se velocidade chegou
      //ao valor mínimo
      velocidade_total = 0x6FB; //se chegou mantém
  }

  porcentagem = (100 * (velocidade_total - 1789)) / 1811; //transforma valor de veloci
      //em porcentagem
  dado[9] = (0x0F00 & velocidade_total) >> 8; //valor inteiro de velocidade para
  dado[10] = (0x00FD & velocidade_total) >> 4; //um char, afim de envia-lo para o
  dado[11] = (0x00CF & velocidade_total) >> 0; //inversor de frequência
  envia_tel_escrita(funcao_menu); //envia novo valor para o inversor

  if (velocidade_total != velocidade_temporaria) {

    atualiza_display(); //atualiza display para a nova velocidade
    delay_1ms_x(10);
    velocidade_temporaria = velocidade_total;
  }
}

```

FIGURA 42 - Programação referente ao incremento e decremento de velocidade da motobomba.

O terceiro parâmetro do menu se chama “Válvulas”. Esse parâmetro foi programado para que o operador consiga abrir e fechar as válvulas solenóides através da IHM. Foi programado o acionamento de até quatro válvulas. Porém esse número pode variar de acordo com a interface de acionamento.

A programação dessa interface consiste inicialmente em ajustar os terminais P1.20, P1.21, P1.22 e P1.23 do microcontrolador como saída. Em seguida ajusta os mesmos para nível alto, pois as válvulas são acionadas quando o terminal respectivo está em nível baixo. A Figura 43 apresenta os códigos de inicialização das válvulas.

```
void init_valvulas(void) { //rotina de inicialização das válvulas para acionamento at
    PINSEL4 &= 0x0FFFFFF00; //configura pinos P2.0.1.2.3 como IO
    FIO1DIR |= BIT(20) | BIT(21) | BIT(22) | BIT(23); //ajusta terminais P1.20,P1.21,P1.22 E P1.
    FIO1SET |= BIT(20) | BIT(21) | BIT(22) | BIT(23); //coloca todos com nivel alto.
}
```

FIGURA 43 - Inicialização das válvulas para controle através da IHM.

Quando a tecla “direita” é pressionada na IHM e o *display* está na opção “Válvulas”, abre-se automaticamente uma segunda janela apresentando quatro opções. Quando o operador solicita o acionamento de uma das quatro válvulas, o *firmware* realiza uma checagem para saber se a porta do microcontrolador foi para nível baixo e em seguida é

apresentado no *display* uma mensagem informando “Válvula ON/OFF”.

O *firmware* referente ao teste para saber qual válvula deve ser acionado é apresentado na Figura 44.

```

switch (submenu_var) {
    case 1:
        if (submenu_var2 == 1) {
            V1on;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 1= ON ");
        } else {
            V1off;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 1= OFF ");
        }
        break;
    case 2:
        if (submenu_var2 == 1) {
            V2on;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 2= ON ");
        } else {
            V2off;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 2= OFF ");
        }
        break;
    case 3:
        if (submenu_var2 == 1) {
            V3on;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 3= ON ");
        } else {
            V3off;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 3= OFF ");
        }
        break;
    case 4:
        if (submenu_var2 == 1) {
            V4on;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 4= ON ");
        } else {
            V4off;
            LCD_cls();
            LCD_gotoxy(1, 1);
            LCD_puts("Valvula 4= OFF ");
        }
        break;
}

```

FIGURA 44 - Rotina de controle de acionamento das válvulas solenóides.

4.2.5.4 Programação do Sensor de Pressão

Para ler os valores de tensão enviados pela interface de conversão, foi necessário programar o conversor analógico digital.

Inicialmente a programação do conversor A/D foi realizada em um programa separado do programa principal. Isso se dá para fins de testes e validação das inicializações do conversor A/D.

O fluxograma da Figura 45 apresenta a rotina de leitura de pressão do sensor e os ajustes que o controlador deve fazer.

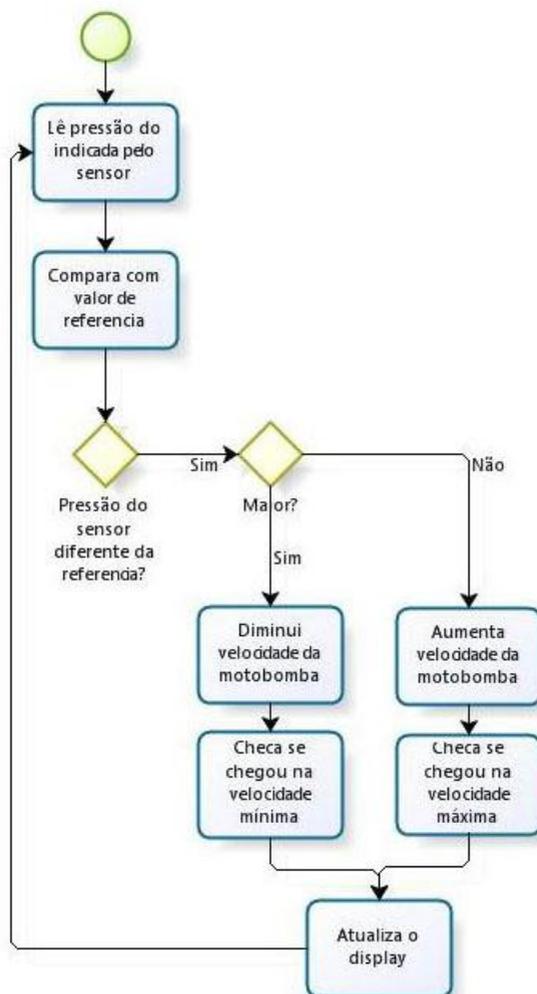


FIGURA 45 - Fluxograma de leitura do sensor de pressão e atuação na motobomba.

A Figura 46 apresenta a inicialização do conversor A/D.

```

void init_ad(void)
{
    PCONP      |= (1 << 12);    // Habilita a força do Conversor
    PINSEL1    = 0x4000;        // Ajusta terminal PO.23 como entr
    ADOINTEN   = (1 << 0);      // Habilita interrupção do canal
    ADOCR      = 0x00200301;    // Power up, PCLK/4, seleciona AD
}

```

FIGURA 46 - Habilitação do conversor a/d.

Com o auxílio de um potenciômetro contido no kitMCU foi possível validar o funcionamento do conversor analógico digital, programado para trabalhar com 10 bits de precisão. A validação ocorreu variando o potenciômetro que por consequência variou tensão no terminal de entrada do conversor A/D e através do *display* LCD foi possível visualizar o valor digital da tensão de entrada do conversor A/D.

4.2.5.5 Programação de Rotina para Degrau de Velocidade

Para que fosse possível realizar o degrau de 500 RPM, foi programada uma rotina que envia um comando para ligar a motobomba, em seguida liga uma

válvula e ficam trocando de velocidade a cada 3 segundos em um laço infinito. Essa rotina pode ser observada na Figura 47.

```
envia_tel_escrita(1); //liga motobomba
Vlon; //abre valvula 1
while (1) {

    WDTFeed(); //Reseta Watchdog

    dado[9]=0x0B;
    dado[10]=0x0B;
    dado[11]=0x08;
    envia_tel_escrita(3);
    delay_lms_x(3000);
    dado[9]=0x0a;
    dado[10]=0x08;
    dado[11]=0x0c;
    envia_tel_escrita(3);
    delay_lms_x(3000);

}
```

FIGURA 47 - Rotina para execução do degrau de velocidade.

4.2.6 Passo 11 – Desenvolvimento dos Esquemas Elétricos

Para o controlador de irrigação, os esquemas elétricos foram desenvolvidos e baseados principalmente

nos esquemas originais do KitMCU. O esquema apresentado na Figura 48 demonstra a ligação dos componentes da parte de processamento.

Nota-se que foram utilizados capacitores para eliminação de ruídos provocados pela fonte de alimentação. Nota-se também que nesse esquema está representado a parte de conversão da corrente para tensão proveniente do sinal do sensor.

O segundo esquema elétrico apresentado na Figura 49 trata da interface de acionamento de válvula, responsável por converter o sinal de 3,3 VCC para 24 VCA, tensão de alimentação do solenóide que faz a abertura e fechamento da válvula. O acionamento trabalha com um sistema de optoacopladores para proteção do microprocessador caso aconteça um curto-circuito ou sobre tensão no sistema solenóide. Para liberar a tensão para a válvula, foram utilizados componentes conhecidos como o TRIAC, que permitem a passagem de corrente em dois sentidos.

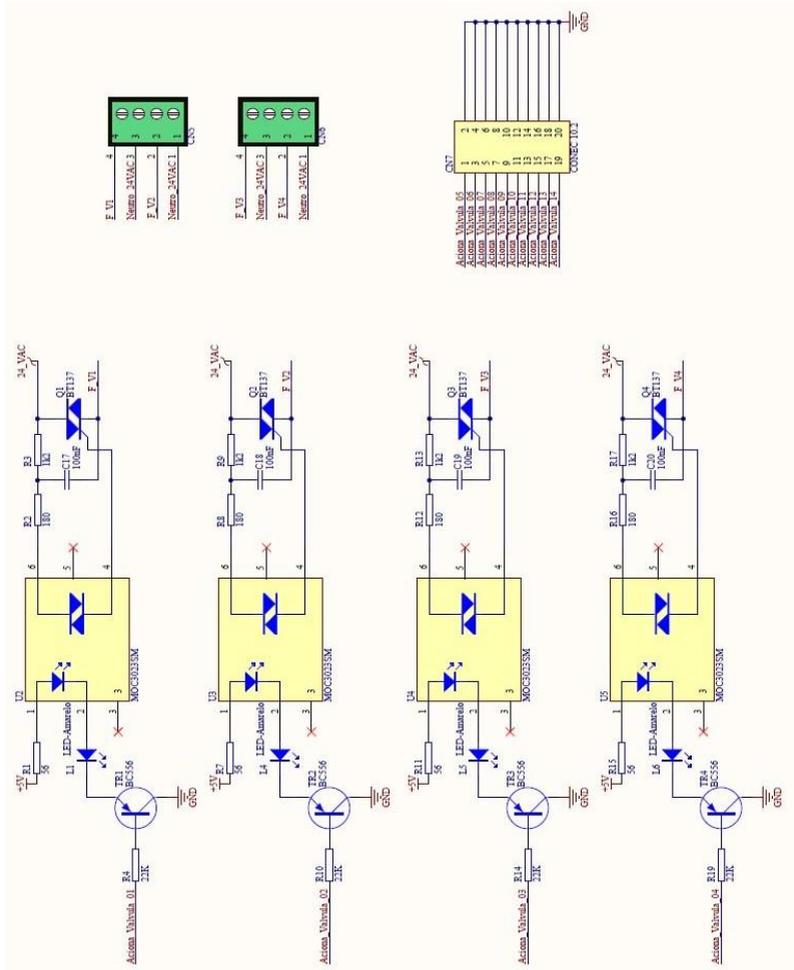


FIGURA 49 - Interface de acionamento de válvulas a partir do comando do microcontrolador.

O terceiro esquema apresenta a ligação da interface homem máquina, que contém os teclados e o *display*. O *display* utilizado possui 14 terminais de

controle e alimentação e mais dois terminais para acionamento do LED do *backlight*. Foram utilizadas seis teclas e mais dois LEDs de sinalização, que ligam e desligam conforme as teclas são pressionadas.

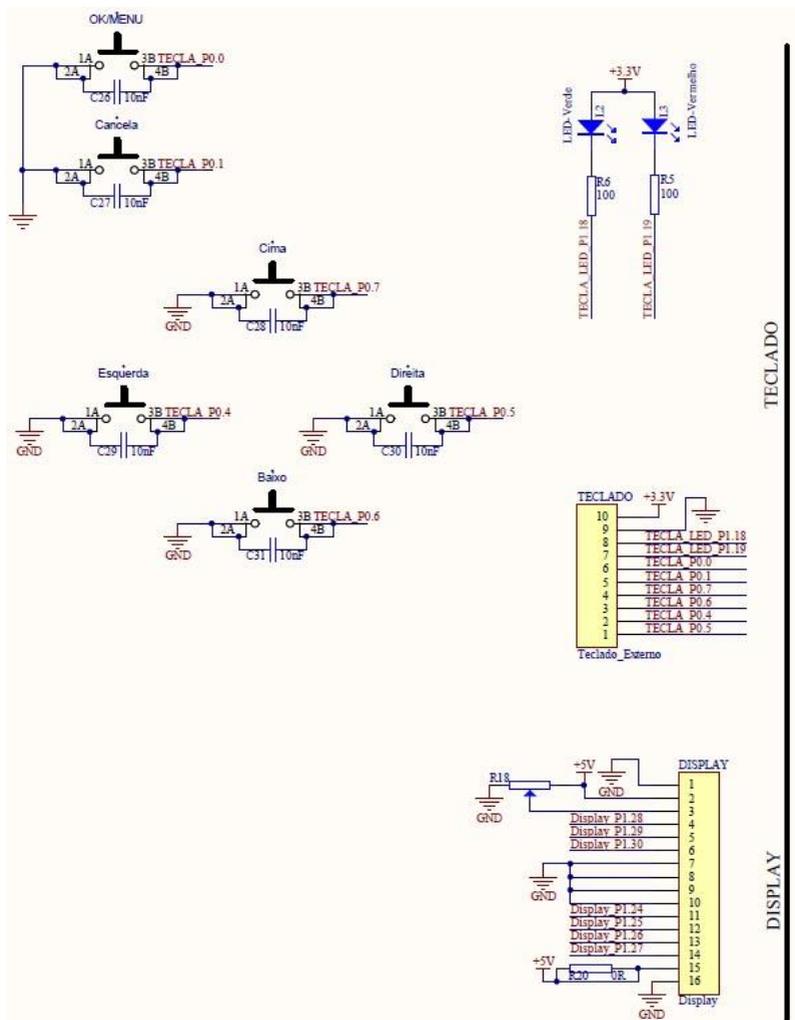


FIGURA 50 - Esquema elétrico da interface homem máquina.

O quarto esquema elétrico apresenta os componentes relativos a interface serial. Foi

desenvolvido a partir da utilização do MAX567, um condicionador de sinal de adéqua o sinal do microcontrolador 3,3 VCC para a faixa de tensão do inversor de frequência e também do computador que faz a gravação do firmware.

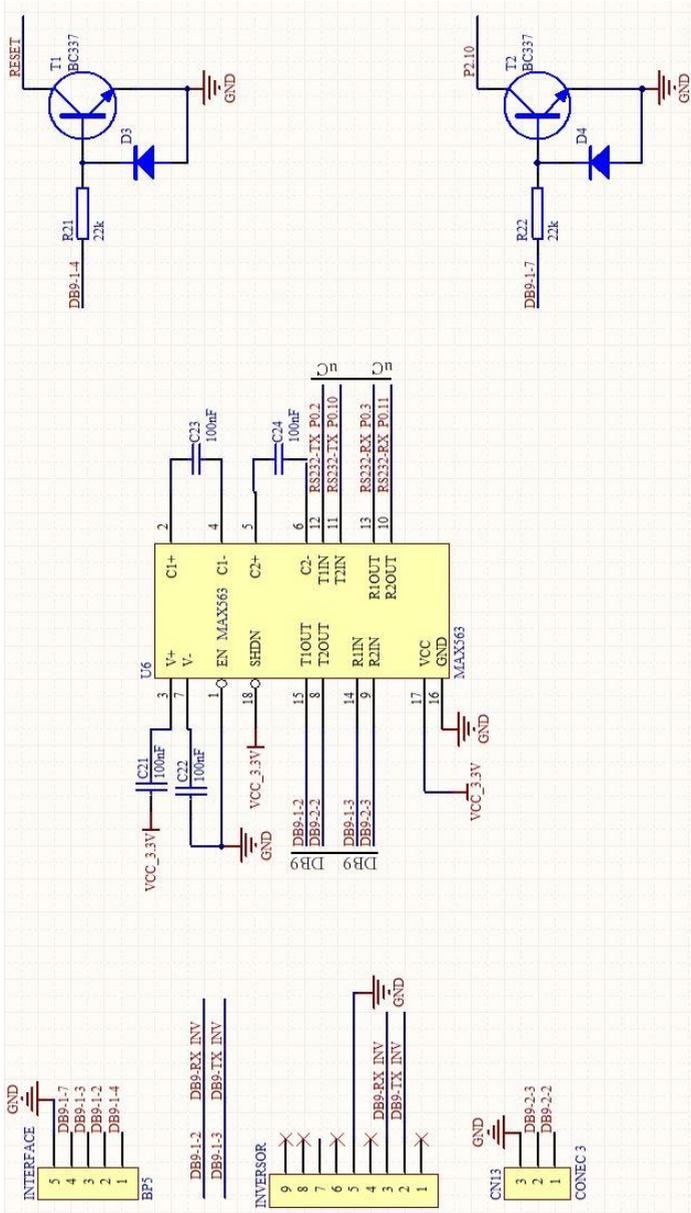


FIGURA 51 - Esquema elétrico da interface serial.

A Figura 52 apresenta o esquema elétrico da fonte auxiliar.

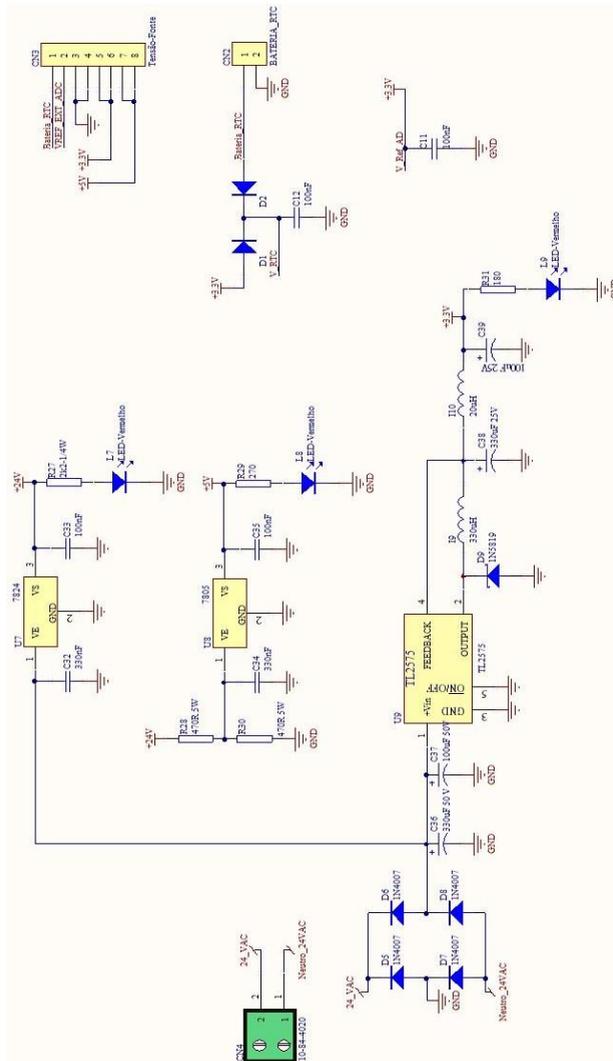


FIGURA 52 - Esquema elétrico da fonte auxiliar.

A fonte de tensão auxiliar foi projetada a partir do aproveitamento da tensão de 24 VAC que foi utilizada para o acionamento das válvulas. Foi projetada uma fonte de tensão para alimentar o circuito de processamento, o *display* LCD e o sensor de pressão.

O sinal alternado foi retificado e filtrado. Para as tensões de 24 VCC e 5 VCC foi utilizado dois reguladores lineares, um 7824 e outro 7805. Para a tensão de 3,3 VCC, foi utilizado um regulador chaveado DC-DC, modelo TL2575. Esse regulador possui tensão de saída fixa, o esquema elétrico utilizado foi disponibilizado pelo fabricante através da folha de dados. Como foi desenvolvida uma placa dedicada, foi disponibilizado um conector com todas as saídas de tensão da fonte, permitindo ligações externas. Foi disponibilizado também um conector para encaixe da bateria do RTC.

4.2.7 Passo 12 – Desenvolvimento de Placa de Circuito Impresso

Com o esquema elétrico pronto, foi iniciado o desenvolvimento de uma placa dedicada para o controlador. A placa foi desenvolvida para evitar transtornos com falhas em cabos e também evitar interferência de outros equipamentos, levando em consideração planos de aterramento, separação dos componentes de potência dos componentes digitais e inserção de filtros.

O software utilizado para o desenvolvimento foi o Altium Designer Summer 09, que possui ferramentas de DRC (*Design Rules Check*).

A Figura 53 apresenta uma imagem 3D da placa.

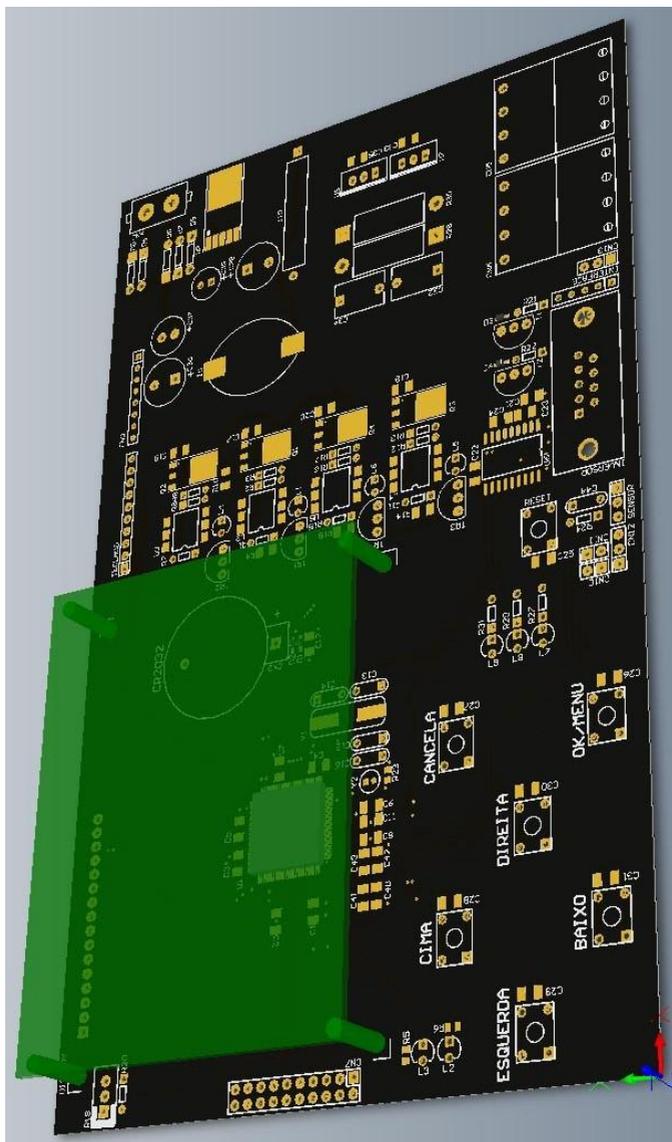


FIGURA 53 - Imagem 3D da placa. O display ficará posicionado acima da placa, exatamente no retângulo verde.

A Figura 54 apresenta a disposição e o layout desenvolvido para o controlador.

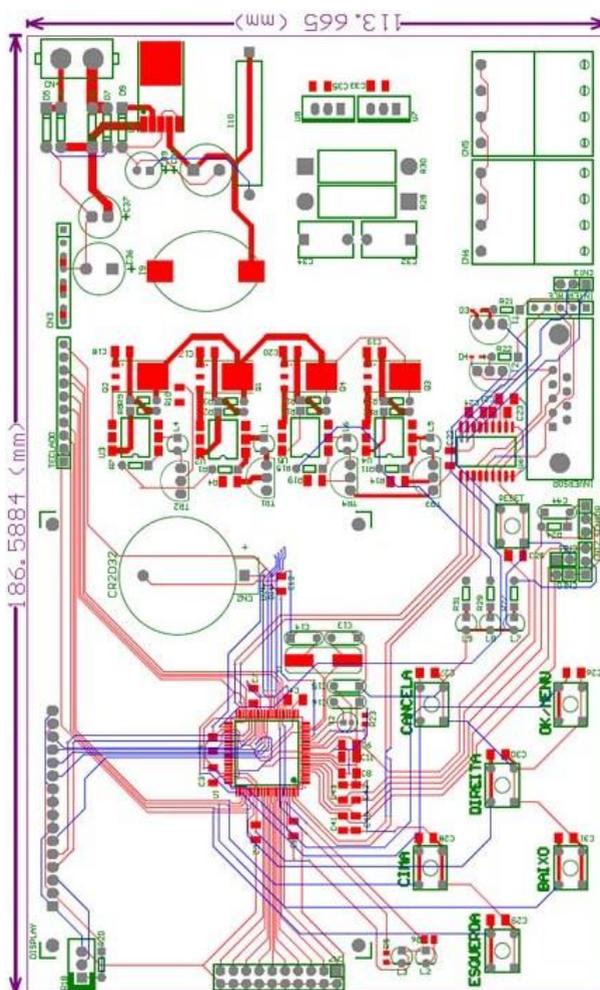


FIGURA 54 - Layout do controlador de irrigação.

4.2.8 Passo 13 e 14 – Montagem do protótipo final e Testes.

Os passos 13 e 14 foram afetados devido a falta do sensor de pressão.

O objetivo desse passo, era a montagem da placa eletrônica, e os testes do controlador final utilizando toda a estrutura hidráulica.

O layout da placa foi desenvolvido, porém a fabricação não foi realizada, devido à indefinição da resposta do sensor. Com isso, não foi possível testar o sistema de controle e definir seria necessário adicionar mais componentes nos esquemas elétricos.

A montagem então ficou parcial, com toda a estrutura hidráulica montada e testada, demonstrando um funcionamento perfeito.

O conversor A/D foi testado e validado, através da conversão de um sinal de tensão controlador por um potenciômetro. A interface IHM foi testada e validada, assim como display de LCD, chaves tácteis, acionamento das válvulas solenóides, comunicação RS-232 e também a fonte de alimentação.

Os testes realizados em bancada, com o kit de desenvolvimento, mostrou que o controlador, depois de finalizado, funcionará em perfeitas condições, salvo possíveis problemas que possam ocorrer com a solda de componentes na placa do controlador.

5. RESULTADOS OBTIDOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos, o trabalho cumpriu parcialmente a proposta apresentada, que trata do desenvolvimento de um controlador eletrônico de irrigação, seguindo metodologia apresentada no Curso de Especialização em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos.

Houve uma evolução significativa deste trabalho, se comparado ao realizado para defesa do TCC da graduação, pois na graduação, o foco voltou-se a parte de programação, destacando a comunicação entre microcontrolador e inversor de frequência, e o desenvolvimento da interface homem máquina. Para esse trabalho o foco foi a aplicação dos conceitos de desenvolvimento de projetos, e foram identificadas e realizadas etapas como levantamento de resposta do sensor, desenvolvimento de esquemas elétricos, desenvolvimento de *layout*, montagem de parte mecânica real com aspersores, desenvolvimento de documentação e complementação do firmware.

As etapas de desenvolvimento descritas no objetivo geral foram alcançadas parcialmente.

A pesquisa foi iniciada com a definição de um escopo de projeto que contem todas as informações e funções que o mesmo deveria exercer. A partir daí, foi definido 15 passos que indicavam exatamente o que deveria ser realizado em cada etapa, e que foram executados em sequência ou em paralelo com outros passos.

Os passos 1 a 4 tratavam da definição dos componentes básicos, como motobomba, inversor de frequência, componentes eletrônicos, componentes hidráulicos, e principalmente os componentes de irrigação e o sensor de pressão.

Foram testados dois modelos de aspersores, onde um deles não pode ser utilizado por não precisar de controle, devido o fato de possuir uma baixa vazão de água, tendo uma variação de pressão desprezível para o sistema de controle.

O passo 5 tratou da montagem de um sistema, onde foi possível ter uma idéia real e prática de como funciona a irrigação no campo. Através dele, foi montado quatro linhas de irrigação com um aspersor por linha, sendo que a água utilizada nos testes fora

armazenada em uma caixa d'água de 1000 L e a pressão foi gerada através de uma motobomba. Com o sistema montado, o passo 6 tratou de inserir um sensor de pressão para que a realização de leituras em tempo real e realimentação do controlador.

A motobomba foi acionada a partir de um inversor de frequência, de acordo com o passo 7. Foi o componente responsável por cuidar da variação da velocidade e manter a pressão estável de acordo com a abertura e fechamento das válvulas.

O passo 8 foi um dos mais importantes do projeto, por se tratar da verificação da resposta do sensor de pressão. Essa verificação era indispensável para o sistema de controle em malha fechada, pois dela é que se tiraria a equação de controle. Com os problemas relatados anteriormente, foi possível constatar que, quando se fala em desenvolvimento experimental, o ideal é ter no mínimo duas peças de um componente principal, ou a garantia de uma logística rápida de entrega. Devido o alto custo do sensor de pressão, não foi possível adquirir duas peças, e como a peça adquirida sofreu avarias sem possibilidade de recuperação, o trabalho acabou sendo prejudicado. A aquisição de uma segunda peça foi realizada, porém a

logística de produção e entrega da mesma por parte do fabricante foi lenta, e o sensor não chegou em tempo hábil para a conclusão deste documento. Com isso, outros passos foram comprometidos, e serão relatados posteriormente.

O passo 9 foi um dos prejudicados com os problemas no sensor. Tratava diretamente da equação de controle a partir das respostas do sensor, que não ocorreu, pois faltou o teste de variação (degrau) de velocidade. O passo 10, que trata da programação do microcontrolador, foi executado parcialmente, pois faltou a aplicação da equação de controle.

Os passos 11 a 14 também foram executados parcialmente. Foi desenvolvido um esquema elétrico completo, contendo todos os componentes necessários ao controlador. Foi desenvolvido também um layout, para fabricação de placa. A fabricação não ocorreu por não ter sido testado a versão final de bancada, não sabendo então se seria necessária a inserção de mais componentes no projeto. A validação do protótipo foi realizada parcialmente, faltando apenas à parte de controle em malha fechada.

O desenvolvimento de um projeto como esse é muito similar ao que acontece na prática, onde o

cliente solicita a demanda e o fornecedor executa e entrega. Uma das falhas que podem ser apontadas é a não programação a respeito da duplicidade do sensor de pressão, visto que se o mesmo não tivesse sofrido avaria, o ideal seria ter um segundo sensor para comparar a resposta dos dois e verificar a confiabilidade do fornecedor. Outro problema no desenvolvimento de projetos é o orçamento enxuto, pois muitas vezes a economia feita não compensa o atraso que o projeto pode sofrer.

Em relação a pontos positivos, destaca-se a parceria realizada entre instituições, destacando aqui o IFSC, UFSC, SENAI e também com fornecedores, destacando a empresa Agropolo.

Outro ponto positivo é contar com ambiente propício para os testes. Por se tratar de um sistema geralmente implantado em sítios e fazendas, não seria possível obter resultados precisos sem a montagem de um sistema real e prático. Assim que o protótipo for concluído, será possível realizar a montagem em hortas, gramados e plantações de pequeno porte.

O relatório técnico apresentado cumpriu o objetivo de apresentar e esclarecer todas as etapas de

desenvolvimento desse projeto, desde a sua concepção até os resultados obtidos com a pesquisa.

Como proposta futura, fica a proposta de medição indireta do volume de água consumida, a detecção de defeitos como vazamentos e entupimento de linhas e o desenvolvimento de um protótipo alfa, cumprindo todos os objetivos lançados nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

GARCIA, Luís Fernando. **Controlador Eletrônico para Irrigação**, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso Superior em Sistemas Eletrônicos, Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.87 p.

BARRETO, Luciano Vieira ; FREITAS, Andréia Cristina Santos; OLIVEIRA, Melquesedeck Saturnino Cabral. Panorama da Irrigação no Brasil. **Centro Científico Conhecer**, Goiânia, n. 7, 2009. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2009/panorama.pdf>> . Acesso em: 29 out. 2009.

CASTRO, Nilza. **Apostila de Irrigação**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003. 56 p.

DESLANDES, Suely Ferreira.; MINAYO, Maria Cecília de Souza; GOMES, Romeu. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 24.ed. Petrópolis/RJ: Vozes, 1994. 80p.

Especificações Valvula HBV. Válvulas solenóides HUNTER. Disponível em: <<http://www.hunterrega.com/Produtos/Valvulas/hbvspecs.html>>. Acesso em: 30 out. 2009.

Especificações Valvula Pro-ASV. Válvulas solenóides HUNTER. Disponível em: <<http://www.hunterrega.com/Produtos/Valvulas/asvfb.html>>. Acesso em: 30 out. 2009 às 18:31:32.
a

FRANCHI, Claiton Moro. **Inversores de frequência:** Teoria e Aplicações. 2. ed. São Paulo, SP: Érica, 2009. 192 p.

ITABORAHY, C. R. et al. .Agricultura Irrigada e o Uso Racional da Água. In: Seminário “O Estado da arte da agricultura irrigada e as modernas tecnologias no uso racional da água na irrigação”, 2004, Brasília. **Cartilha...** Brasília: ANA, 2004. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_imgs/Agricultura_Irrigada_e_o_Uso_Racional_da_Agua.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2009.

JUNG, Carlos Fernando. **Metodologia Científica: Ênfase em pesquisa tecnológica.** 3ª Ed, 2003. 357 p. Disponível em <http://www.jung.pro.br>.

Manual da válvula modelo GEVA 75. Valvulas Baccara. Disponível em: <<http://www.baccara.com.au/pdf/Baccara%20Geva75-0.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2009 às 18:10:00.

PEREIRA, Fábio. **Tecnologia ARM:** microcontroladores de 32 Bits. São Paulo: Érica, 2007 448 p.

SAMPAIO, Claudia Bloisi Vaz. **Estudo e Diagnóstico da Agricultura Irrigada na Região do Alto da Bacia Hidrográfica do Rio Itapicuru – Bahia**. Campinas: UNICAMP, 2006.

SCHILDT, Herbert. **C completo e total**. 3. ed. rev. e atual. São Paulo, SP: Pearson Education do Brasil, 2004. 827 p

SCHNEIDER MOTOBOMBAS. **Tabelas Para Seleção de Bombas e Motobombas**. Joinville, SC. Ed. 2009-A, 2009. 43 p.

SILVA, Vital Pedro da; FOLEGATTI, Marcos Vinícius; DUARTE, Sérgio Nascimento. **Irrigação por Aspersão e Localizada**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso1.htm>>. Acesso em: 30 out. 2009.

Solenoid Valves. Válvulas Baccara. Disponível em: <<http://www.baccara.com.au/solenoid-valves.shtml>>. Acesso em: 30 out. 2009 às 17:59:37.

SOUSA, Daniel Rodrigues de. **Microcontroladores ARM7: (Philips-família LPC213x): o poder dos 32 bits: teoria e prática**. São Paulo, SP: Érica, 2006. 278 p

SUZUKI, Marcelo Akira; HERNANDEZ, Fernando Braz Tangerino. **Automação de Sistemas de Irrigação**.

Desenvolvido pela Equipe IRRIGATERRA em parceria com UNESP. Disponível em: <<http://www.irrigaterra.com.br/automacao.php>>. Acesso em: 29 out. 2009.

TSCHIEDEL, Mauro; FERREIRA, Mauro Fernando. Introdução à agricultura de precisão: Conceitos e vantagens. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p.159 – 163, 2002.

VILLAÇA, Marco Valério Miorim. **Apostila de SISTEMA DE CONTROLE**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, Florianópolis, 2007. 220 p.

Texas Instruments. 1-A SIMPLE STEP-DOWN SWITCHING VOLTAGE REGULATORS. Dallas, Texas. Revision 2007. 29 p.

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.
NBR 6023: Informação e documentação – Referências –
Elaboração. Rio de Janeiro, 2002. 24p.

Agricultura. Wikipédia, a enciclopédia livre. Disponível
em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Agricultura>>. Acesso em:
29 out. 2009 às 01:04:16.

EQUIPE Know.net. **Conceito de Agricultura.**
Disponível em:
<<http://www.knoow.net/ciencterravida/geografia/agricultura.htm>>. Acesso em: 29 out. 2009 às 01:02:40.