



TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO
DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VISANDO
AGRICULTURA FAMILIAR**

Vinícius Galvão Guimarães

Brasília, Julho de 2011



**ENGENHARIA
MECATRÔNICA**
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Faculdade de Tecnologia
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

AUTOMAÇÃO E MONITORAMENTO REMOTO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO VISANDO AGRICULTURA FAMILIAR

Vinícius Galvão Guimarães

Relatório submetido como requisito parcial para obtenção
do grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Adolfo Bauchspiess, UnB/ENE

Orientador

M.Sc. Eng. Agrônomo Lúcio Taveira Valadão,
Emater-DF/Secretaria de agricultura-DF

Examinador externo

Prof. Dr. Gerson Henrique Pfitscher, UnB/ENE

Examinador interno

Brasília, Julho de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA

GUIMARÃES, VINÍCIUS GALVÃO

Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação Visando Agricultura Familiar, [Distrito Federal] 2011.

xiii, 81p., 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2011). Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

1. Automação na irrigação

2. *Softwares*

3. Monitoramento remoto

4. *Hardwares*

I. Mecatrônica/FT/UnB

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

GUIMARÃES, V.G., (2011). Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação Visando Agricultura Familiar. Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação FT.TG-nº 008/2011, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 81p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vinícius Galvão Guimarães.

TÍTULO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO: Automação e Monitoramento Remoto de Sistemas de Irrigação Visando Agricultura Familiar.

GRAU: Engenheiro de Controle e Automação

ANO: 2011

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias deste Trabalho de Graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desse Trabalho de Graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Vinícius Galvão Guimarães
Brasília – DF – Brasil.

Dedicatória

Aos meus pais, por sempre me guiarem pelos caminhos, acreditarem em meu potencial e me darem força para seguir em frente. À minha irmã que é e sempre será minha amiga e companheira. Aos meus familiares, que sempre torceram pelo meu sucesso e acompanharam minha trajetória. A Deus, por tudo que tenho e sou.

Vinícius Galvão Guimarães

Agradecimentos

Agradeço principalmente aos meus pais, que sempre estiveram presentes, nos momentos de felicidade e tristeza, me levantando sempre que caí.

Ao meu orientador que acreditou em meu trabalho e compartilhou seu conhecimento para a realização deste.

A todos os professores que se esforçaram para transmitir o que puderam de suas inestimáveis experiências, ensinando mais do que uma matéria, uma profissão.

A todos meus amigos e colegas que estiveram presentes nessa jornada e fizeram dela uma excelente lembrança para guardar para a vida inteira, me fazendo viver cada dia na expectativa de reencontrá-los, repletos de boas notícias.

A todos os colaboradores e funcionários que me ajudaram e possibilitaram chegar onde estou.

Ao laboratório LARA e seus alunos que me apoiaram e fazem dele um ambiente ideal para se trabalhar. Um lugar pequeno em espaço, mas um dos grandes centros de inteligência e qualidade técnica da UnB.

À Faculdade de Tecnologia e à Universidade de Brasília por me dar essa oportunidade gloriosa de levar estes nomes em meu currículo.

Vinícius Galvão Guimarães

RESUMO

Diversos problemas ou soluções técnicas na produção de alimentos relacionam-se com a irrigação. Sistemas de irrigação bem planejados, mas que não possuem boa administração e manejo não expressam seu potencial, podendo ocasionar perdas significativas de produtividade nas culturas. Este trabalho desenvolve um sistema de automação e administração remota de irrigação, fornecendo praticidade e melhoria no modo de se manejar sistemas de irrigação na agricultura.

Para o controle destes sistemas de irrigação de precisão, foi desenvolvido neste trabalho um *software* para se realizar uma fácil, objetiva e intuitiva programação dos horários, frequência e tempo de aplicação de água. Neste programa foi utilizado um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) multi-plataforma, que permite gerar executáveis para Windows, Linux e MAC OS X. Com este IDE foi possível também utilizar o Google Maps API, via programação JavaScript, oferecendo uma interface interessante de visualização à distância do sistema de irrigação com atualização a cada 20 segundos, se conectado ao servidor.

Para o controle do sistema de irrigação, no que se refere ao sistema físico, foram utilizados microcontroladores e placas de circuito impresso (PCB) que permitem o desenvolvimento de pequenos módulos programáveis (sistemas embarcados). Sensores de temperatura ambiente, de chuva e umidade do solo constituem os principais parâmetros utilizados neste projeto. O processo de transmissão dos dados de configuração é realizado por comunicação *wireless*, utilizando as redes de internet de celular.

De acordo com os resultados obtidos neste trabalho, o sistema de automação possui baixo custo, possibilitando aumento da qualidade da irrigação e conseqüentemente melhoria na produção e no manejo de água destes sistemas. O projeto realizado responde com precisão e praticidade de configuração, permitindo simulações do sistema real de irrigação e o monitoramento remoto.

Palavras Chave: automação, irrigação, monitoramento remoto, sistemas embarcados.

ABSTRACT

Many of the problems or technical solutions in food production are related to irrigation. Well-designed irrigation systems, without a good administration and management do not express their potential, which may cause significant losses in crop productivity. This work develops a system automation and remote management of irrigation, providing convenience and improved way to manage irrigation systems in agriculture.

For the control of precision irrigation systems, was developed in this paper a *software* to make an easy, intuitive and objective set of the time on water application. In this program was used an integrated development environment (IDE) multi-platform, to generate executables for Windows, Linux and Mac OS X. In this IDE was also possible to use the Google Maps API with JavaScript programming, providing an interesting display interface of the irrigation system with actualization period of 20 seconds, if connected to the server.

For the control of the system of irrigation, with regard to the physical system, was used microcontrollers and printed circuit boards (PCB) that enable the development of small programmable modules (embedded systems). Sensors for environment temperature, rainfall occurrence and soil moisture are the main parameters used in this project. The process of transmission of configuration data is passed by wireless communication using cellular networks with Internet.

According to the results obtained in this work, the automation system have low cost, enabling improved quality of irrigation and consequently improved production and management of water systems. The project undertaken responds with precision and practicality for setting, allowing simulation of the real system of irrigation and remote monitoring.

Keywords: automation; irrigation; remote monitoring; embedded systems.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. ADMINISTRAÇÃO DA IRRIGAÇÃO.....	3
1.3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....	4
1.4. OBJETIVO DO PROJETO	4
CAPÍTULO 2 – NOÇÕES SOBRE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E POTENCIALIDADES DE AUTOMAÇÃO	6
2.1. AMBIENTE	6
2.2. SISTEMA DE BOMBEAMENTO	7
2.3. REGISTROS E VÁLVULAS	8
2.4. EMISSORES	8
2.5. VARIÁVEIS NO MANEJO DA ÁGUA EM SISTEMA AUTOMATIZADO	10
2.6. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADAS ATUAIS.....	10
CAPÍTULO 3 – PROJETO MECÂNICO E ELÉTRICO DESENVOLVIDO PARA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	12
3.1. ASPECTOS GERAIS.....	12
3.2. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO	14
3.3. ARQUITETURA E FUNCIONAMENTO GERAL	16
3.4. MÓDULO DE COMUNICAÇÃO	18
3.4.1. COMUNICADOR UTILIZADO	19
3.4.2. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO.....	22
3.4.3. CIRCUITOS AUXILIARES.....	23
3.5. MÓDULO CENTRAL.....	25
3.5.1. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO.....	27
3.5.2. CONTROLADOR CENTRAL.....	28
3.5.3. CONEXÃO COM O MÓDULO DE COMUNICAÇÃO	30
3.5.4. CONVERSÃO DE NÍVEIS LÓGICOS.....	30
3.5.5. COMUNICAÇÃO ENTRE MÓDULO CENTRAL E SETOR.....	31
3.5.6. TEMPORIZADOR CENTRAL.....	34
3.5.7. SENSOR DE TEMPERATURA	36
3.5.8. SENSOR DE CHUVA.....	38
3.5.9. DEMAIS PERIFÉRICOS PREVISTOS	38

3.6. MÓDULO SETOR.....	40
3.6.1. CIRCUITO DE POTÊNCIA E ATUADOR DOS REGISTROS.....	41
3.6.2. SENSOR DE UMIDADE.....	43
3.6.3. SENSOR DE VAZÃO.....	48
CAPÍTULO 4 – SOFTWARES DESENVOLVIDOS NO PROJETO PARA O CONTROLE GERAL DO SISTEMA.....	49
4.1. ASPECTOS GERAIS.....	49
4.2. SOFTWARE CLIENTE EM PC.....	49
4.2.1. OPÇÕES E BARRA DE ATALHOS.....	52
4.2.2. CAMPO SETOR DO PROGRAMA.....	55
4.2.3. CAMPO DE EDIÇÃO DE HORÁRIOS DE IRRIGAÇÃO.....	57
4.3. SOFTWARE EMBARCADO.....	58
4.4. SOFTWARE SERVIDOR.....	62
CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO E FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA.....	64
5.1. ASPECTOS GERAIS.....	64
5.2. FUNCIONAMENTO DO MÓDULO CENTRAL.....	65
5.2.1. SINCRONIZAÇÃO CENTRAL DA DATA E DA HORA.....	65
5.2.2. FUNCIONALIDADES GERAIS.....	66
5.2.3. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES.....	66
5.3. FUNCIONAMENTO DO MÓDULO SETOR.....	68
5.3.1. SINCRONIZAÇÃO SETOR DA DATA E DA HORA.....	68
5.3.2. FUNCIONALIDADES GERAIS.....	68
5.3.3. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES.....	68
5.4. FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE CLIENTE.....	69
5.4.1. FUNCIONALIDADES GERAIS.....	69
5.4.2. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES.....	70
CAPÍTULO 6 – SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	71
6.1. ASPECTOS GERAIS.....	71
6.2. OPERABILIDADE DO SOFTWARE CLIENTE.....	71
6.3. EFICIÊNCIA E FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS COMUNICADOR, CENTRAL E SETOR.....	72
CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES.....	74
7.1. CONCLUSÃO.....	74

7.2. PERSPECTIVAS DO PROJETO.....	74
BIBLIOGRAFIA	76
LITERATURA CONSULTADA.....	77
SITES CONSULTADOS	78
ANEXO I: TABELAS DE GASTOS.....	79
ANEXO II: DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Exemplo de sistema de irrigação convencional.	7
Figura 2.2. Exemplo de motobomba utilizada na irrigação.	7
Figura 2.3. Registros utilizados em sistemas de irrigação convencionais.....	8
Figura 2.4. Aspersionador de impacto fornecido pela empresa Rain Bird, 20J.....	9
Figura 2.5. Aspersionador Low Flow (LF2400) fornecido pela empresa Rain Bird.	9
Figura 2.6. Programador da série STPi da Rain Bird.....	11
Figura 2.7. Exemplo de sistema Rain Bird de controle a distância por diferentes vias de comunicação.....	11
Figura 3.1. Sistema integrado de controle da irrigação.....	13
Figura 3.2. Organização do sistema automatizado.....	14
Figura 3.3. Exemplo de processo de fabricação de PCB.....	15
Figura 3.4. Diagrama de blocos do <i>hardware</i> , visão geral.....	16
Figura 3.5. Camadas de comunicação entre dois dispositivos (STEVENS, 1994).....	16
Figura 3.6. Placa e circuito utilizado como módulo comunicador.....	19
Figura 3.7. Módulo SIM900D, módulo GSM/GPRS.	19
Figura 3.8. PCB projetada para receber o chip SIM900D (visão do fundo).....	21
Figura 3.9. Esquemático de alimentação do módulo comunicador.	22
Figura 3.10. Circuito de potência para ativação dos LEDs.	23
Figura 3.11. Esquemático de conexão do pino PWRKEY.....	23
Figura 3.12. Esquemático de conexão dos pinos do cartão SIM com os pinos do módulo GSM/GPRS.	24
Figura 3.13. Padrão de conexão entre o módulo comunicador e central.	24
Figura 3.14. Placa e circuito do módulo central.	26
Figura 3.15. Projeto de PCB para o módulo central (visão do fundo).	27
Figura 3.16. Esquemático de alimentação do módulo central.....	27
Figura 3.17. Microcontrolador ATMEL, ATMEGA328p.	28
Figura 3.18. Gravadora ISP montada em laboratório.	29

Figura 3.19. Conexão necessária para comunicação entre o módulo central e comunicador.....	30
Figura 3.20. Diagrama de fluxo de comunicação UART.	31
Figura 3.21. Esquemático dos conversores de nível lógico.	31
Figura 3.22. Esquemático de ligação da interface <i>two-wire</i>	32
Figura 3.23. Esquema de ligação do extensor ICC.....	33
Figura 3.24. Conexão e cabos Rj-45.	33
Figura 3.25. Conexão Rj-45 utilizada no projeto.	34
Figura 3.26. Chip RTC DS1307.....	35
Figura 3.27. Cristal de quartzo usado em sistemas RTC.....	35
Figura 3.28. Esquemático de ligação do circuito RTC.	36
Figura 3.29. Circuito integrado LM35.	36
Figura 3.30. Esquemático de ligação do sensor junto ao AmpOp, onde TEMP_3 é a alimentação do LM35, o TEMP_2 é o terra do circuito e o TEMP_1 é a saída do sensor.	37
Figura 3.31. Sensor de chuva RSD-BEX, adquirido da Rain Bird.	38
Figura 3.32. Relés trifásicos TST-10A e TST-40AS-P, respectivamente.	39
Figura 3.33. Placa do módulo setor.....	40
Figura 3.34. Válvulas série DV fornecida pela Rain Bird.	41
Figura 3.35. CI do ULN2003A.	41
Figura 3.36. Esquemático de ligação das válvulas solenoides.	42
Figura 3.37. Sensor de umidade SMRT-Y fornecido pela Rain Bird.	43
Figura 3.38. Sensor de umidade do tipo eletrodos em bloco de gesso (20cm de comprimento, 5cm de diâmetro).	43
Figura 3.39. Esquemático de ligação do sensor de umidade.....	44
Figura 3.40. Curva de retenção de água no solo, em que se define a capacidade de campo (CC) , o ponto de murcha permanente (PMP), a capacidade total de água disponível (CAD), e o coeficiente de disponibilidade (p), para o perfil de 0cm a 90cm do Latosolo Vermelho Escuro da área experimental da EmbrapaMilho e Sorgo.	45
Figura 3.41. Recipiente para teste de umidade.	45

Figura 3.42. Relação de resistência elétrica e umidade do solo e sua curva de calibração obtida para os dados na faixa sensível.	47
Figura 3.43. Gráfico de leitura sequencial da umidade durante o processo de calibração.....	48
Figura 4.1. Primeira versão do <i>software</i> cliente, em JAVA.	50
Figura 4.2. <i>Software</i> de monitoramento e programação do sistema de irrigação automatizado.....	51
Figura 4.3. Menu e barra de atalhos Hidrauto.	52
Figura 4.4. Aba da opção Arquivo.	52
Figura 4.5. Aba da opção Maps.....	53
Figura 4.6. Identificação do marcador dentro do mapa.....	53
Figura 4.7. Aba da opção Conexão.	54
Figura 4.8. Aba da opção Configurações.	54
Figura 4.9. Parâmetros da Aba Configurações.....	54
Figura 4.10. Campo de configurações do setor.	55
Figura 4.11. Tela de gráficos gerais do sistema (valores simulados).....	56
Figura 4.12. Primeira Aba: configuração de horários do dia selecionado.	57
Figura 4.13. Segunda Aba: configuração de horários com periodicidade de dias.	57
Figura 4.14. Terceira Aba: visualização dos horários na semana do dia selecionado.	57
Figura 4.15. Quarta Aba: copia de configuração de um dia fonte para o selecionado.	58
Figura 4.16. Quinta Aba: copia de todos os horários de um setor para outro.	58
Figura 4.17. Estrutura de funcionamento dos <i>softwares</i> central e setor, com suas bibliotecas.	59
Figura 4.18. Tela de interface do <i>software</i> servidor.....	62
Figura 5.1. Diagrama geral de funcionamento do sistema.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. Definição dos pinos utilizados.....	25
Tabela 3.2. Dados de umidade obtidos – Calibração do sensor de umidade de bloco de gesso.	46
Tabela 4.1. Estrutura de armazenamento na memória EEPROM do módulo central...60	
Tabela 4.2. Estrutura de armazenamento na memória EEPROM do módulo setor.61	
Tabela 4.3. Posição dos bits e informação representada para um horário de irrigação armazenado em memória.....	62
Tabela I.1. Preços dos componentes comprados.....	79
Tabela I.2. Preço aproximado gasto em cada módulo, de acordo com o apresentado na figura 3.1 e na tabela I.1.....	80

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolos Latinos

<i>V</i>	Volt, tensão elétrica	[V]
<i>R</i>	Resistência elétrica	[Ω]
<i>U</i>	Porcentagem de umidade do solo	[%]

Grupos Adimensionais

<i>AD</i>	Valor da conversão analógico/digital, entre 0 e 1023
-----------	--

Subscritos

<i>out</i>	Saída
<i>temp</i>	Temperatura
<i>sens_temp</i>	Sensor de temperatura
<i>sens</i>	Sensor
<i>conv</i>	Conversão
<i>sens_bloco</i>	Sensor de bloco de gesso
<i>umid_solo</i>	Umidade do solo

Siglas

A/D	Analógico/Digital
AmpOp	Amplificador Operacional
API	Application Programming Interface
CC	Capacidade de Campo
CI	Circuito Integrado
DNS	Domain Name System
EEPROM	Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
HTML	HyperText Markup Language
I ² C	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
IIC	Inter-Integrated Circuit
IP	Internet Protocol

ISP	In-System Programming
LARA	Laboratório de Automação e Robótica
LED	Light Emissor Diode
PCB	Printed Circuit Board
PMP	Ponto de Murcha Permanete
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar
RAM	Random Access Memory
RTC	Real Time Clock
SMD	Surface Mount Device
SMS	Short Message Service
SO	Sistema Operacional
TCP	Transmission Control Protocol
TDT	Time-Domain Transmissometry
TJB	Transistor de Junção Bipolar
TTL	Transistor-Transistor Logic
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UTC	Tempo Universal Coordenado

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Este capítulo contextualiza o trabalho a respeito da importância dos sistemas de irrigação de precisão, o que motivou o desenvolvimento deste trabalho. Ao final são expostos alguns problemas atuais e os objetivos deste projeto.

1.1. ASPECTOS GERAIS

Na agricultura, encontramos diversas escalas de produção, desde agricultores familiares que trabalham em menores áreas até a produção de *commodities* em larga escala. As diferenças sociais e tecnológicas entre as categorias de agricultores vêm sendo discutidas por especialistas da área, sendo alvo de alguns embates, polarizados entre a grande propriedade, hoje revestida no manto do agronegócio, e outras formas sociais de produção, dentre as quais a agricultura familiar de origem camponesa (WANDERLEY, 2009). Tais embates se dão num contexto de reconstrução da democracia no Brasil, que estimulou a organização dos agricultores e a implantação de políticas públicas que reconhecem o protagonismo dos agricultores familiares, especialmente na produção dos alimentos básicos dos brasileiros, sendo o PRONAF (Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar) um exemplo; Diante deste contexto, percebemos que a agricultura familiar está no centro de questões fundamentais, dentre elas, a preservação do patrimônio natural, a quantidade e qualidade dos alimentos, as demandas de segurança alimentar, a adequação dos processos produtivos e a equidade das relações de trabalho.

De acordo com a lei 11.326, de 24 de julho de 2006, que estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais, a classificação de agricultura familiar possui critérios específicos, limitando em 4 módulos fiscais o tamanho da propriedade, avaliando a ocupação da mão de obra familiar e a origem de sua renda, entre outros, estabelecendo ainda benefícios exclusivos, que os distinguem dos demais agricultores.

Tratando-se de produção agrícola, tanto familiar quanto de maior escala, há muitas variáveis a se controlar, assim como inúmeras etapas, equipamentos e aspectos de gestão para se cuidar. Entre os sistemas de grande importância, se destaca a irrigação, capaz de fornecer um elemento imprescindível para a planta, especialmente em épocas pouco chuvosas. Contudo, manejar a água de irrigação não é uma tarefa simples, podendo ser estendido ou resumido como: definir quando irrigar e quanto de água aplicar. Assim, a

capacidade de monitorar e alterar deliberadamente os parâmetros de irrigação é de grande importância.

Segundo Coelho, Coelho Filho e Oliveira (2005), a agricultura irrigada ocupava em torno de 18% da área total cultivada no planeta, utilizando 70% do total de água captada, superior ao setor industrial (21%) e doméstico (9%). Ainda que representando pequena parcela do total cultivado, esta área contribui com 42% da produção total. O Brasil, em particular, possui índices semelhantes em relação ao seu total cultivado. Apesar da evolução da tecnologia, favorecendo a redução do uso de água, estima-se que em 2025 três bilhões de pessoas serão afetadas pela escassez de recursos hídricos. A agricultura irrigada, para manter-se sustentável, em termos ambientais, precisa ser eficiente no uso da água na irrigação.

A irrigação inadequada pode gerar prejuízos na produção. No caso da aplicação de pouca água (irrigação com déficit) pode se ter um desperdício óbvio, tendo em vista que a produção não obterá o benefício esperado. Por outro lado, a aplicação excessiva é muito mais destrutiva, pois satura o solo, o que impede a sua aeração, lixivia nutrientes, induz maior evaporação e salinização e, posteriormente, pode elevar o lençol freático para um nível que somente pode ser drenado a um alto custo. Além disso, o excesso propicia microclima favorável ao desenvolvimento de doenças, que podem causar prejuízo à cultura (ALBUQUERQUE e DURÃES, 2008). Exemplos das principais perdas diretas ao agricultor são:

- **Desperdício de fertilizantes:** Levados pela água em excesso que ultrapassa a profundidade das raízes, podendo contaminar as fontes subterrâneas.
- **Aumento do custo da produção:** Maior consumo de energia para bombeamento da água.
- **Doenças provocadas por fungos e falta de aeração nas raízes:** O excesso de água promove a proliferação de fungos no solo e nas raízes, bem como a redução da aeração do solo, fatores esses que inibem o desenvolvimento da planta.
- **Salinização:** Processo de concentração de sais no solo e nas fontes de água, degradando o meio ambiente.

Sistemas eletrônicos e autônomos permitem uma grande melhoria na aplicação de projetos de irrigação já implantados para determinado plantio. A introdução destes elementos em uma produção agrícola reduz, não só problemas de falhas na operação, como também o consumo de insumos e o custo de produção. Ainda assim, a complexidade de se realizar o manejo da produção é tão elevada, que é inviável se projetar sistemas completamente autônomos.

Dessa forma, faz-se necessário o monitoramento e a alteração de determinados parâmetros dependendo dos resultados do plantio, condições climáticas e estágio de desenvolvimento da planta. Para minimizar esses erros poder-se-ia variar a frequência de irrigação de acordo com os estágios da cultura (ALBUQUERQUE e DURÃES, 2008).

A irrigação atual é possui variadas possibilidades de automação, entretanto o pequeno e médio agricultor, nem sempre têm total acesso a essas tecnologias, seja por problemas financeiros ou por falta de conhecimento. Em diversos casos o sistema de irrigação é consideravelmente bem planejado e gera bons resultados, mas pode faltar o devido monitoramento dos parâmetros deste processo para poder corrigir problemas em um curto espaço de tempo, suficiente para minimizar as perdas. Existem vários exemplos de sistemas bem acompanhados e com excelentes resultados, mas é claro que um auxílio eletrônico irá complementar essa tarefa, possivelmente melhorando ou facilitando o trabalho.

Processos de simplificação de metodologias para o manejo de irrigação têm sido adotados por pequenos agricultores visando economia, simplicidade e rapidez na leitura de variáveis do solo. Um exemplo prático foi a adoção do aparelho Irrigas, desenvolvido pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), como método alternativo ao uso do tradicional tensiômetro.

A tecnologia cada vez mais ocupa novos ambientes. Prova disso é que, hoje, muitos trabalhadores rurais estão tendo mais contato com a informática e outras tecnologias, favorecido pelo aumento dos índices de escolarização, programas governamentais entre outros. A tecnologia pode melhorar a atividade de produzir alimentos, contribuindo para permanência dos trabalhadores no campo, e ainda gerar mais eficiência e qualidade.

1.2. ADMINISTRAÇÃO DA IRRIGAÇÃO

É comum observar em vários sistemas de irrigação que o manejo é muito dependente da atuação humana e mesmo quando os projetos foram bem planejados e implantados, o rendimento não é tão elevado quanto um sistema automático e mais independente. Irrigação mal planejada e manejada pode representar importante fator no resultado da produção, podendo haver perdas 100% em situações extremas.

O simples fato de não controlar com precisão o tempo de irrigação em determinada área do plantio pode provocar perdas de produção, desperdício de energia, aumento de custos de produção, dentre outras consequências.

A eficiência média de irrigação em nível nacional está estimada em 60%, significando que, para cada 10.000 litros de água necessária às plantas por hectare, são necessários

16.667 litros de água irrigados. Do total demandado pelas plantas, 97% são transpirados, portanto, um retorno de 9.700 litros para a atmosfera, na forma de vapor ou de água pura. Os 6.667 litros tendem a evaporar da superfície do solo ou percolar e preencher os lençóis subterrâneos, que podem retornar ou não ao mesmo curso d'água de onde foi retirada. A elevação dessa eficiência em apenas 5% representaria uma economia de 1.282 litros por hectare, que não precisariam mais ser bombeados e retirados da fonte d'água (COELHO, COELHO FILHO e OLIVEIRA, 2005).

1.3. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O controle sobre a irrigação da propriedade é muitas vezes realizado manualmente. Como já comentado anteriormente, esse processo está sujeito a muitas falhas que acarretam prejuízo. Um sistema automatizado mais acessível às pequenas propriedades é muitas vezes muito simples e difícil de monitorar.

Médios produtores geralmente não possuem um plantio grande suficiente para justificar o investimento nos sistemas automáticos atuais com melhores interfaces e periféricos. Existem alternativas para medir suas variáveis do cultivo e que com administração podem gerar excelentes cultivos. É claro que nem sempre é possível garantir que essa boa administração ocorrerá corretamente, ou com frequência adequada. Isso pode gerar os problemas citados de um manejo deficiente.

1.4. OBJETIVO DO PROJETO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver um sistema, *software e hardware*, capaz de controlar um sistema de irrigação. Utilizar uma interface amigável e intuitiva para a administração e programação de seus parâmetros, como uma alternativa aos sistemas atuais com interface de botões como mostrado na figura 2.6. Assim, fornecer um sistema complementar, facilitando e melhorando o controle da irrigação.

Deseja-se oferecer monitoramento à distância e baixo custo de implantação, para que seja uma opção viável para a agricultura familiar, mas expansível para maiores culturas e até mesmo para sistemas de jardinagem, esporte, entre outro, além de levar tecnologia para o campo, facilitando a realização das tarefas.

Para isso, temos os seguintes objetivos específicos:

- Fornecer uma fácil programação dos horários de irrigação.
- Permitir a visualização de parâmetros do sistema e da irrigação, como, por exemplo, umidade do solo, temperatura ambiente e ocorrência de chuva.

- Disponibilizar a verificação da situação atual do sistema de irrigação, para saber se há algum setor funcionando e se este funcionou nos dias programados.
- Sintetizar o controle manual feito no campo atualmente e adapta-lo para um modelo de controle automático, de forma que os demais objetivos sejam possíveis.
- Permitir que o sistema seja dimensionável, utilizável em diferentes escalas de propriedades.
- Fazer com que o sistema seja robusto, aumentando sua longevidade.

Ao decorrer deste documento serão apresentados todos os métodos e procedimento para se garantir todas essas características.

CAPÍTULO 2 – NOÇÕES SOBRE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO E POTENCIALIDADES DE AUTOMAÇÃO

Neste capítulo é descrito como funciona e se estrutura, de forma geral, um sistema de irrigação, suas principais variáveis para um controle automatizado, bem como alguns sistemas já desenvolvidos. Assim, pode-se familiarizar com os termos e equipamentos utilizados neste trabalho.

2.1. AMBIENTE

Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, variando sua utilização de acordo com o plantio, ambiente, disponibilidade de mercado entre outros. Normalmente, um projeto é realizado com os seguintes elementos:

- **Fonte de água ou reservatório:** A captação de água ocorre diretamente em cursos d'água, canais de irrigação ou fontes subterrâneas. Normalmente são utilizados reservatórios escavados no solo para armazenamento de água, que, apesar do seu custo de instalação, compensam por proporcionar certa autonomia e redução de custos de energia para bombeamento até as áreas irrigadas. A disponibilidade de água subterrânea ou superficial deve ser explorada racionalmente, minimizando o problema do desperdício de água na adução, distribuição e aplicação, visto que os mananciais de água têm suas limitações.
- **Sistema de bombeamento:** Necessário para gerar a pressão que possibilita o funcionamento do sistema e vencer eventuais desníveis e perdas do curso de água na irrigação.
- **Sistema de filtragem (quando existir):** Utilizados para garantir a qualidade da água irrigada e o adequado funcionamento do sistema de irrigação. Pode ser precedido por um sistema de fertilização, que aumenta a qualidade da produção.
- **Sistema de distribuição:** Tubulações e derivações, registros e demais conexões, de forma a distribuir água aos setores determinados.
- **Sistema de emissores:** Responsável pela distribuição de água no solo, de preferência o mais uniformemente possível.

Um exemplo de integração convencional entre esses elementos pode ser visto na figura 2.1.

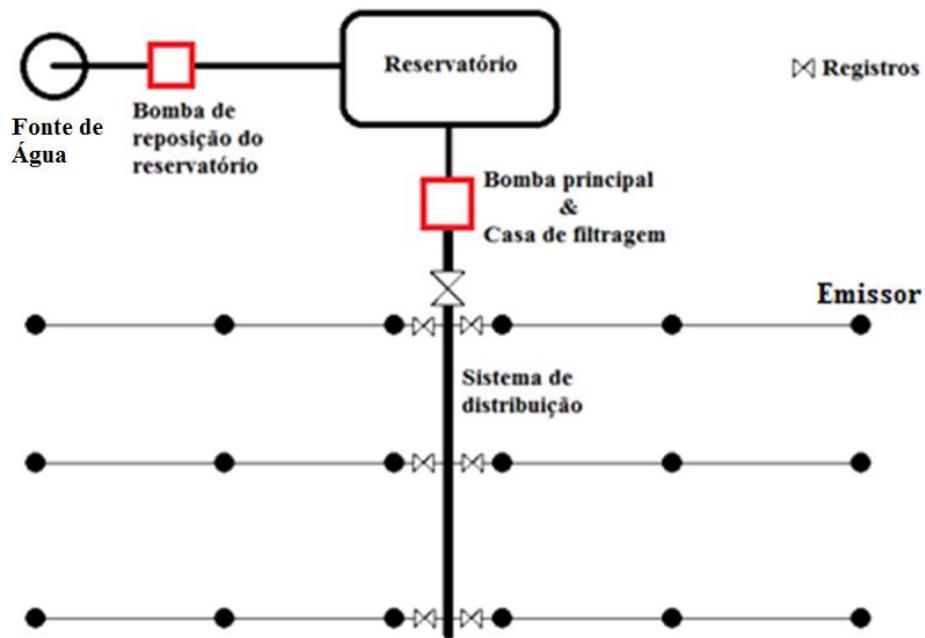


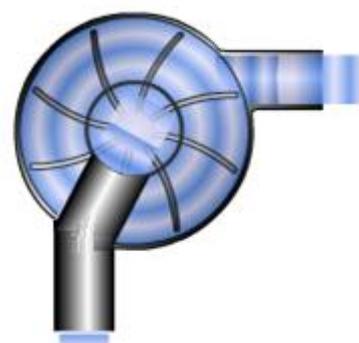
Figura 2.1. Exemplo de sistema de irrigação convencional.

De uma forma geral, todos esses elementos são projetados e realizados por um técnico com conhecimento sobre o assunto. A forma de como se estruturar ou de qual emissor utilizar é algo que varia de acordo com o plantio, disponibilidade e qualidade da água, profundidade, declividades, custo de instalação e viabilidade econômica (VALADÃO, GONTIJO, *et al.*, 2007).

2.2. SISTEMA DE BOMBEAMENTO



(a) Motor elétrico e rotor (Bomba KSB – Megabloc).



(b) Rotor centrífugo.

Figura 2.2. Exemplo de motobomba utilizada na irrigação.

O sistema de bombeamento convencional pode variar em sua forma de funcionamento, mas devido à praticidade e disponibilidade, os sistemas elétricos são utilizados em larga escala. Uma bomba elétrica como a mostrada na figura 2.2(a), nada mais é do que um motor elétrico acoplado a um rotor (Fig. 2.2(b)) capaz de succionar e empurrar a água por toda a tubulação. As características elétricas e modo de funcionamento de um motor são geralmente bem conhecidos. O projeto e instalação destas bombas são determinados por um técnico capacitado, de forma que a única preocupação é a ativação ou desativação deste componente. Por esse motivo, a bomba elétrica se torna mais acessível à instalação de sistemas automáticos.

2.3. REGISTROS E VÁLVULAS



Figura 2.3. Registros utilizados em sistemas de irrigação convencionais.

Registros, como o apresentado na figura 2.3, são bastante utilizados em propriedades de pequeno porte devido ao seu baixo custo e robustez. Um dos problemas deste elemento é sua operação manual, dependendo da ação de um trabalhador. Como mencionado na seção 1.1, essa dependência é suscetível a erros, que levam ao desperdício ou problemas mais graves.

2.4. EMISSORES

Um dos emissores convencionais e largamente utilizados são os chamados “Aspersores de Impacto” (Fig. 2.4). No caso da irrigação por aspersão, os sistemas de aspersão convencional de alta pressão do tipo canhão são os de mais baixa eficiência (50% - 60%), tomada como a razão entre a quantidade de água efetivamente usada pela cultura e a quantidade retirada da fonte (COELHO, COELHO FILHO e OLIVEIRA, 2005).

A irrigação por aspersão é bastante afetada pela ocorrência de ventos, baixa umidade relativa do ar e temperaturas elevadas. As perdas de água em condições adversas podem ser superiores a 30% do total aplicado (VALADÃO, GONTIJO, *et al.*, 2007).

Outro importante parâmetro nos emissores é sua uniformidade. Esta pode ser definida como quão igualmente é a distribuição da água aplicada ao campo durante a irrigação.

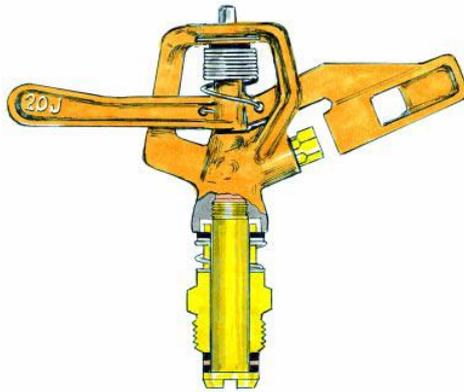


Figura 2.4. Aspersor de impacto fornecido pela empresa Rain Bird, 20J.

A evolução dos sistemas de emissão os tornou mais eficientes e com melhores taxas de uniformidade, Como é o caso do aspersor da figura 2.5 e os microaspersores. Estas melhorias podem ser instaladas para aprimorar a qualidade da produção e evitar desperdícios, sendo ainda acessíveis aos agricultores familiares.



Figura 2.5. Aspersor Low Flow (LF2400) fornecido pela empresa Rain Bird.

Além desses emissores, existem outros sistemas de grande eficiência, como sistemas de gotejamento e outros. O fato é que cada vez mais se deseja obter uma irrigação de precisão, ou seja, com alta eficiência e quantidades corretas de aplicação uniforme. Este projeto não se restringe a nenhum emissor específico, pois o que importa é somente a

necessidade de se ativar ou não o fluxo de água e o tempo de aplicação para atender as necessidades de água do plantio.

2.5. VARIÁVEIS NO MANEJO DA ÁGUA EM SISTEMA AUTOMATIZADO

Entre diversas variáveis possíveis de se analisar em sistemas de irrigação, algumas ganham destaque por sua maior influência para a administração e controle dos parâmetros. Isto garante eficiência satisfatória e bons resultados. Algumas dessas variáveis utilizadas neste projeto são:

- **Umidade do solo:** Geralmente dada em porcentagem (de volume ou peso) de água no solo. Importante fator, pois dele pode-se inferir o quanto o solo precisa ou não ser irrigado, variando de plantio para plantio.
- **Temperatura ambiente:** Influencia na evapotranspiração daquele ambiente e consequentemente na necessidade de água.
- **Ocorrência de chuva:** Dependendo da quantidade de água precipitada, o sistema de irrigação pode ser desligado, evitando aplicação desnecessária.

Existem várias maneiras de definir o momento certo de fazer a irrigação e quanto de água aplicar. Esses fatores são baseados em fatores do solo, do clima e das plantas (VALADÃO, GONTIJO, *et al.*, 2007).

A vazão em sistemas bem projetados geralmente é conhecida e estável, bastando então considerar o tempo de aplicação para se conhecer o volume de água aplicada.

Para a administração da umidade do solo é necessário se conhecer previamente as características típicas do mesmo. A realização de análise do solo pode permitir ao especialista estipular quanto de umidade é necessário para cada plantio.

2.6. SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADAS ATUAIS

Algumas empresas fabricam sistemas de controle de irrigação do mais simples até o mais complexo e integrado possível. A dificuldade encontrada nesses sistemas está predominantemente no fato de serem sistemas fechados, ou seja, não se tem ao certo uma maneira viável de extrair ou inserir funções específicas a eles. Por exemplo, um produto voltado aos pequenos produtores, apresentado na figura 2.6, que permite a fácil alteração manual de quando e quanto irrigar, porém não fornece nenhum outro *software* ou interface capaz de apresentar os parâmetros necessários para uma melhor administração do plantio.

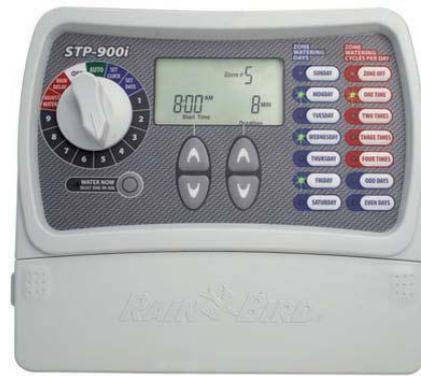


Figura 2.6. Programador da série STPi da Rain Bird.

Existem ainda equipamentos mais elaborados (Fig. 2.7), em que o sistema pode ser monitorado a distância e automatizado na região de instalação. Estes sistemas podem se comunicar com estações meteorológicas e outros controladores, permitindo um sistema integrado e eficiente da irrigação.



Figura 2.7. Exemplo de sistema Rain Bird de controle a distância por diferentes vias de comunicação.

O problema desses sistemas é que são direcionados aos grandes produtores e demais empresas que podem arcar com um alto investimento. Portanto o agricultor familiar fica somente com algumas alternativas simples, que poderiam ser tão viáveis e objetivas quanto e ainda melhorar sua administração e controle sobre a produção.

CAPÍTULO 3 – PROJETO MECÂNICO E ELÉTRICO DESENVOLVIDO PARA AUTOMAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Neste capítulo é descrito o funcionamento detalhado de cada módulo e a integração entre os diversos componentes, considerando suas particularidades e utilidades. Isso permitirá entender as razões da lógica operacional do sistema, bem como suas possibilidades futuras.

3.1. ASPECTOS GERAIS

A criação de sistemas de engenharia necessita de muitos fatores. Inicialmente, é interessante se iniciar pelo protótipo, onde será possível observar se há problemas, erros e principalmente identificar melhorias. Ainda mesmo antes de iniciar um protótipo, devem-se realizar estudos e/ou testes sobre todos os componentes que se imaginam necessários. A construção de protótipos exige também muitos equipamentos de suporte e verificação de problemas.

Multímetros, osciloscópios e principalmente uma fonte regulada com limitador de corrente são componentes obrigatórios para se iniciar o projeto de um *hardware*. Mesmo quando se conhece sobre o assunto, a chance de falha e imprevistos é provável, por isso deve-se sempre estar prevenido e apoiado por referências e equipamentos. É muito comum, durante testes, a ocorrência de erros ou pequenos objetos caídos sobre o circuito, podendo gerar curtos e danos ao sistema.

Durante o desenvolvimento deste projeto, ocorreram falhas humanas e imprevistos que, junto a utilização de uma fonte simples (não regulada e não limitada), provocaram danos gravíssimos nos circuitos. Havendo trilhas destruídas e circuitos queimados. Foi necessário trocar componentes e corrigir ou até mesmo refazer parte do projeto. Após o uso de um ambiente mais organizado e equipamentos mais adequados, não ocorreu nenhum outro acidente.

Na construção de novos sistemas é sempre interessante utilizar módulos já fabricados, pois evitam erros comuns desnecessários que atrasam e desperdiçam o investimento, seja de tempo ou financeiro.

Para a instalação de um sistema automático é necessário que se tenha atuadores e sensores. No caso do sistema de automação proposto, existe no mercado variedade

suficiente de cada sensor e atuador necessário, com baixo custo. Desta forma, diversos componentes deste projeto foram adquiridos e integrados, facilitando o desenvolvimento.

Diversas referências, como livros, artigos, trabalhos anteriores e a internet podem fornecer soluções práticas e até mesmo mais eficientes que aprimoram a qualidade de um sistema.

A grande quantidade de componentes e módulos utilizáveis nesse setor da agricultura fornece uma gama de opções para a integração de automação. Por isso, é óbvio, que diversos componentes foram adquiridos e integrados para manter o baixo custo e robustez do sistema.

A seguir serão discutidos todos os processos mecânicos e elétricos criados e integrados neste projeto (Fig. 3.1). É possível observar que existem 3 módulos principais. Cada módulo possui sua função específica e funcionamento bem definido.

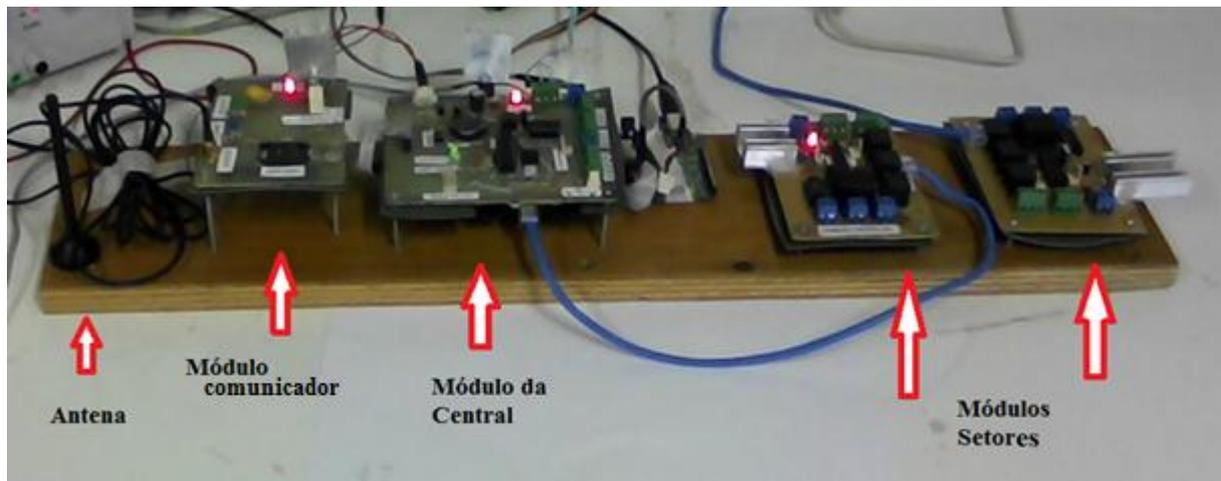


Figura 3.1. Sistema integrado de controle da irrigação.

A distribuição do sistema projetado em um ambiente de irrigação é apresentada na figura 3.2.

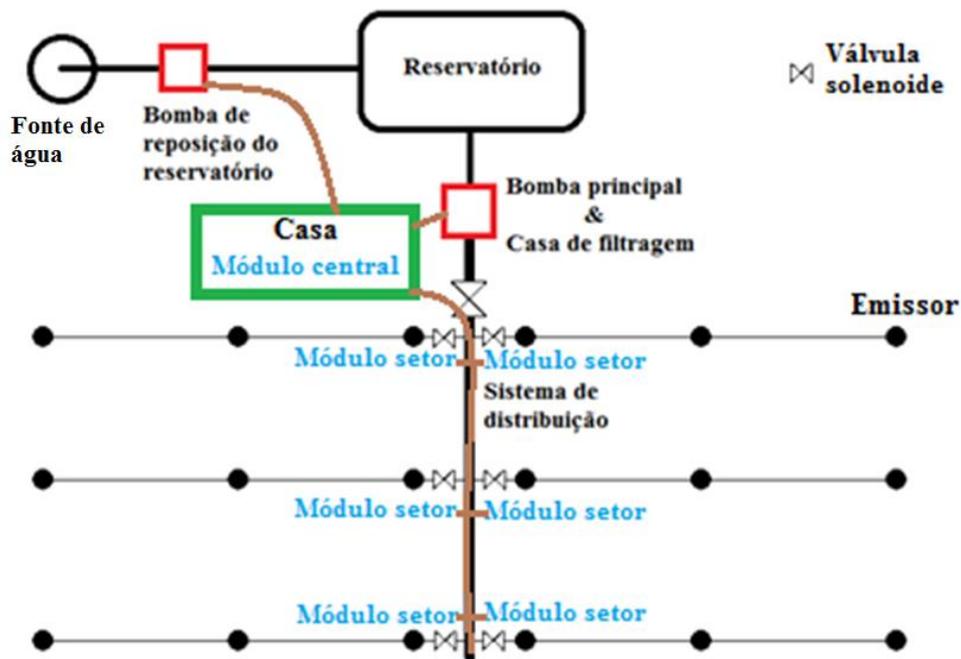


Figura 3.2. Organização do sistema automatizado.

3.2. PLACAS DE CIRCUITO IMPRESSO

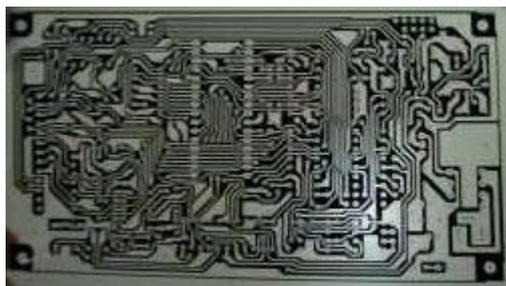
Placas de circuito impresso (PCB) são utilizadas em projetos de circuitos eletrônicos. Elas facilitam muito o trabalho, além de permitirem uma melhor organização de todo o circuito.

Uma vez que se tenha um *software* de desenho de PCB, deve-se configurá-lo devidamente para atender às especificações exigidas pela empresa ou sistema que irá fabricar a placa. Regras de espessura mínima da trilha, furos e espaçamentos são muito importantes para garantir o correto funcionamento e se evitar problemas de curto circuito entre outros. Neste trabalho foi utilizado o *software* EAGLE PCB, da CadSoft.

Um importante procedimento é de se colocar plano terra em todo o resto da placa, ou seja, deixar regiões de cobre conectado ao terra preenchendo os espaços ao redor das trilhas, pois isso evita interferências e problemas com manuseio do circuito quando ligado.

Algumas outras vantagens de se trabalhar com circuitos impressos é que o sistema fica mais firme, evita falhas e diminui o espaço ocupado. O único problema é que se exige certo conhecimento do projetista na área, pois existem diversos detalhes a serem observados quando se trabalha com circuitos muito pequenos e próximos uns dos outros.

A fabricação de placas por encomenda necessita de tempo para receber o produto e certa confiabilidade do projeto estar corretamente desenhado. Uma alternativa viável é se produzir essas placas pessoalmente em laboratório. No LARA (Laboratório de Automação e Robótica), é possível se projetar e fabricar placas PCB.



(a) Exemplo de circuito impresso em folha transparente.



(b) Placa virgem coberta de resina em fotossensível.

Figura 3.3. Exemplo de processo de fabricação de PCB.

A solução mais artesanal, utilizando papel impresso com as trilhas, ferro de passar roupa, placa virgem e o perclorato de ferro proporcionam uma boa ferramenta para se iniciar um projeto. No LARA, devido ao trabalho anterior de outros alunos, se tornou possível realizar outro processo de fabricação semelhante que é de certa forma simples também. Ele consiste do seguinte processo:

- Limpeza das placas com palha de aço.
- Impressão em folha transparente do negativo do circuito (Fig. 3.3(a)), de forma que onde houver trilha fiquem transparente e as demais áreas escuras.
- Distribuição de uma camada uniforme de resina sobre toda a placa virgem limpa onde houverem trilhas (Fig. 3.3(b)), sempre em ambiente escuro.
- Aquecimento da placa com resina por 20 minutos a 80°C.
- Coloca-se a folha impressa sobre a placa com resina, e se expõe todo o conjunto à luz UV (ultravioleta) por aproximadamente 3 minutos.
- Remove-se a resina não exposta utilizando uma solução carboneto de sódio (Barrilha)
- Com as trilhas já desenhadas com resina sobre o cobre, retira-se a folha impressa e mergulha-se a placa em solução de perclorato de ferro.
- Agitando-se o conjunto, aos poucos o cobre será removido das partes descobertas, somente deixando metal nas partes protegidas pela resina.
- Por fim, lava-se todo o material e placa, finalizando o processo.

Têm-se, ao final, placas de excelente qualidade e prontas para utilização. Lembrando ainda que é necessário fazer os furos para o encaixe dos componentes.

3.3. ARQUITETURA E FUNCIONAMENTO GERAL

O sistema *hardware* como um todo pode ser dividido e analisado em blocos como mostrado no diagrama da figura 3.4.

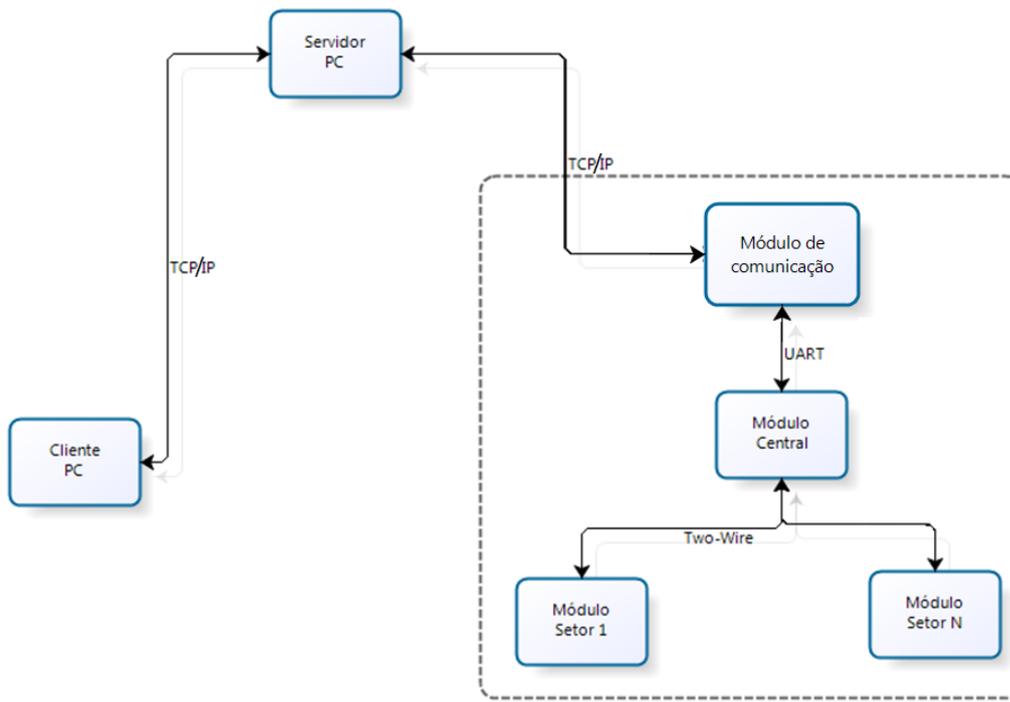


Figura 3.4. Diagrama de blocos do *hardware*, visão geral.

É importante lembrar que em uma comunicação entre dispositivos pode haver várias camadas que tornam todo o processo possível. Essas camadas, como mostrado na figura 3.5, podem ser diferentes em cada elo de comunicação do sistema.

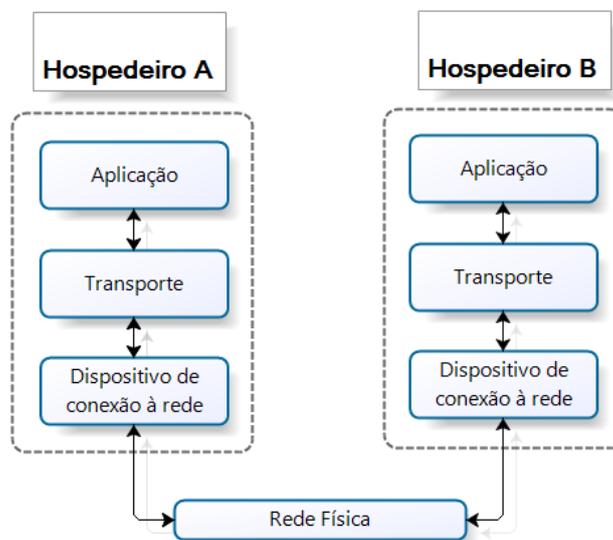


Figura 3.5. Camadas de comunicação entre dois dispositivos (STEVENS, 1994).

A estrutura geral de comunicação é baseada no protocolo TCP/IP (conjunto de protocolos de comunicação entre computadores em rede, aonde TCP vem de Protocolo de Controle de Transmissão e IP de Protocolo de Interconexão). Os blocos cliente, servidor e lógica de trabalho serão discutidos nos capítulos posteriores, por se tratarem de programas *software* desenvolvidos neste trabalho.

O módulo comunicador é responsável por toda troca de mensagens entre central, servidor e, conseqüentemente, com o cliente. Este módulo pode ser substituído por qualquer sistema que seja capaz de se comunicar pelo protocolo TCP/IP e conseqüentemente ter acesso à redes de computadores. Neste projeto é utilizado um circuito integrado (CI) capaz de se interligar ao sistema GPRS (Serviço Geral de Pacotes de Rádio). Este serviço é geralmente fornecido por operadoras de celular compatíveis, permitindo ao sistema possuir uma conexão via TCP/IP ao servidor. Todos os detalhes deste circuito serão discutidos na seção 3.4.

O módulo central interpreta e atua sobre todas as mensagens recebidas e respostas esperadas pelo cliente. Gerencia algumas atividades periódicas (como sincronização do relógio geral) e alguns sensores (como sensor de chuva, temperatura entre outros). Alguns controles de atuação fundamentais também são realizados pelo módulo central, como ativação de motores e comandos de configuração dos módulos setoriais. Este módulo possui três saídas de ligação para os setores, mas isso não restringe o sistema a poucos setores, pois o protocolo de comunicação fornece a possibilidade de se conectar até 112 dispositivos sobre a mesma linha de comunicação.

É possível fazer uma analogia de todo o sistema com o corpo humano. O módulo de comunicação seria como os ouvidos e boca, responsáveis por receber e transmitir mensagens para os meios externos. O módulo central seria como o cérebro, responsável pela coordenação geral das operações. E como esperado, os módulos setores são as extremidades e nervos sensoriais do corpo, onde se trabalha diretamente sobre os atuadores e se captam parâmetros de sensores, como o de umidade.

O módulo setor é dado como escravo, pois ele somente toma decisões baseado nos comandos enviados pela central. Possui alguns sensores (sensor de umidade do solo e vazão) e um circuito de ativação do solenoide do registro que permite a irrigação de determinado setor. Existe uma configuração armazenada que rege todas as decisões deste módulo. A principal característica deste elemento é que ele atua sobre somente um setor de irrigação, ativando no máximo três solenoides ao mesmo tempo e possui três conexões de comunicação. Com somente uma dessas conexões o setor é totalmente integrado ao sistema (alimentado, conectado à linha de comunicação e pronto para receber comandos), restando mais duas conexões disponíveis para ligar outros dois módulos setores.

Desta forma todo o sistema poderia suportar até 112 setores, com todos eles ligados em série, sem a necessidade de se ter número igual de encaixes físicos no módulo da central. Este projeto restringe o máximo de setores para menos de 50, por limites de outros componentes.

Em todos os módulos é colocado um LED (Diodo Emissor de Luz) indicador de energia, ou seja, após o circuito regulador de tensão há, caso aceso, tensão para aquele módulo.

No desenvolvimento de circuito e sistemas existe um detalhe que muitas vezes acaba não sendo uma preocupação inicial, mas que é fundamental para a qualidade e a longevidade de todo o sistema: os conectores. Esses elementos podem evitar mau contato, erros humanos na conexão ou até mesmo ruídos. A escolha correta depende do local, ambiente, posição, funcionalidade e principalmente facilidade de acesso do componente em determinado sistema.

Neste projeto, alguns encaixes tiveram que ser trocados para melhorar a segurança do sistema e garantir melhor funcionalidade. É interessante escolher entradas que possuam impedimentos físicos contra conexão invertida. Em cada conector foi pensado e avaliado a melhor característica possível e disponível. Atualmente existe uma imensa variedade de conectores, portanto é claro que com uma pesquisa mais voltada para esta melhoria, seria possível utilizar outros componentes ainda mais adequados para cada ponto do atual projeto, mas este não é exatamente o objetivo deste trabalho.

Todos os circuitos e protocolos internos, sejam na camada física ou de aplicação de comunicação entre os módulos, serão discutidos nas seções seguintes.

3.4. MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

O módulo comunicador é um intermediário entre as mensagens trocadas entre a central e o servidor/cliente. Para o correto funcionamento de todo o sistema, basta que este intermediário receba e envie todas as mensagens da central via protocolo UART (Receptor/Transmissor Universal Assíncrono).

Este protocolo é comumente utilizado em sistemas embarcados para comunicação entre componente. Ele possui diversos padrões de velocidade e algumas configurações que permitem aumentar a confiabilidade de sua transmissão. A configuração padrão e utilizada neste projeto é de 9600bps (bits por segundo), nenhuma paridade e 1 bit de parada.

3.4.1. COMUNICADOR UTILIZADO

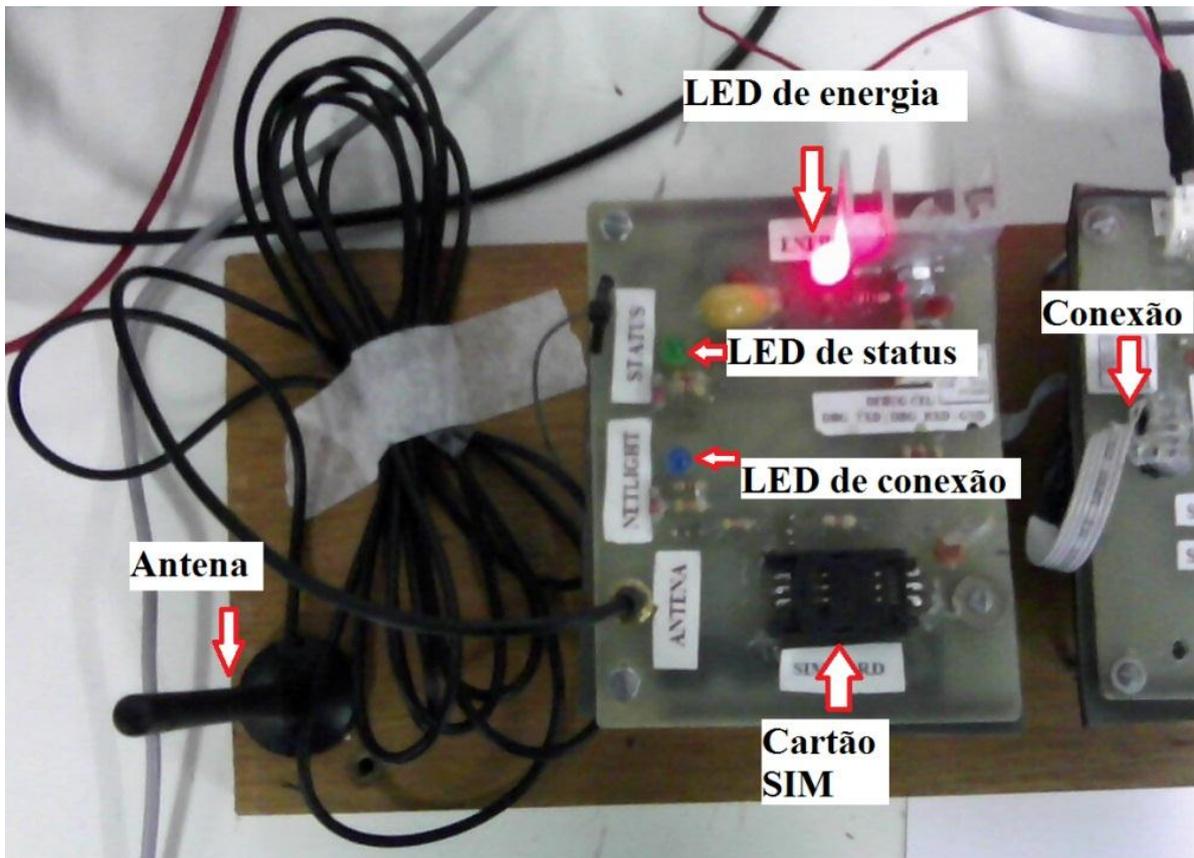


Figura 3.6. Placa e circuito utilizado como módulo comunicador.

Neste projeto foi escolhido trabalhar com um comunicador wireless. O circuito integrado da empresa SIMCOM, modelo SIM900D (Fig. 3.7) é o componente utilizado para integrar a comunicação entre o sistema e a rede. É importante observar que neste CI a comunicação UART não é feita nos níveis TTL (Lógica Transistor-Transistor), mas sim em 0V/3,3V. O processo de adaptação desta ligação será explicado na seção 3.5, pois foi feita na placa do módulo central.

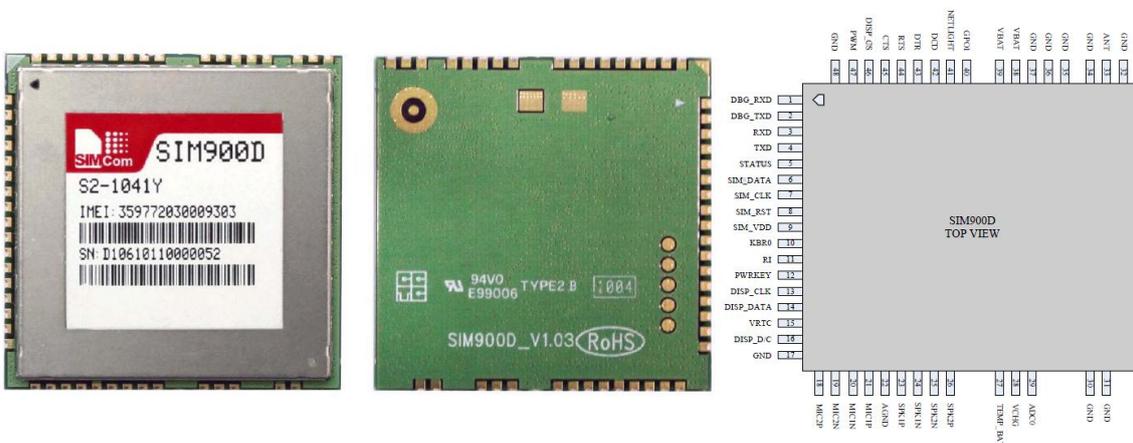


Figura 3.7. Módulo SIM900D, módulo GSM/GPRS.

O baixo custo e fácil integração provida por este módulo com o protocolo AT (nome dado, pois seus comandos geralmente iniciam com as iniciais "AT") de comunicação, torna-o ideal para a utilização em sistemas embarcados (mais confiáveis). A seguir as principais características deste componente:

- Processador único integrado com um núcleo ARM AMR926EJ-S
- Quad-Band 850/ 900/ 1800/ 1900 MHz
- GPRS multi-slot classe 10/8
- GPRS estação móvel classe B
- Dimensões: 33* 33 * 3 (milímetros)
- Peso: 6,2g
- Controle via comandos AT (GSM 07.07, 07.05 e SIMCOM comandos AT aprimorados)
- Faixa de tensão de alimentação: 3,2 - 4,8V
- Baixo consumo de energia: 1,0mA (*sleep mode*&BS-PA- MFRMS=9)
- Temperatura de operação: -40 °C até +85°C
- Comunicação UART
- TCP/UDP protocolo embarcado
- Pino de antena
- Interface com SIMCARD externo 3V/1,8V

Todas essas características facilitam muito a integração deste sistema de comunicação, bastando conhecer o protocolo AT e seus comandos para realizar as mais diversas operações, como telefonar, receber ligação, enviar SMS (Serviço de curtas mensagens), conectar à rede de internet entre outras.

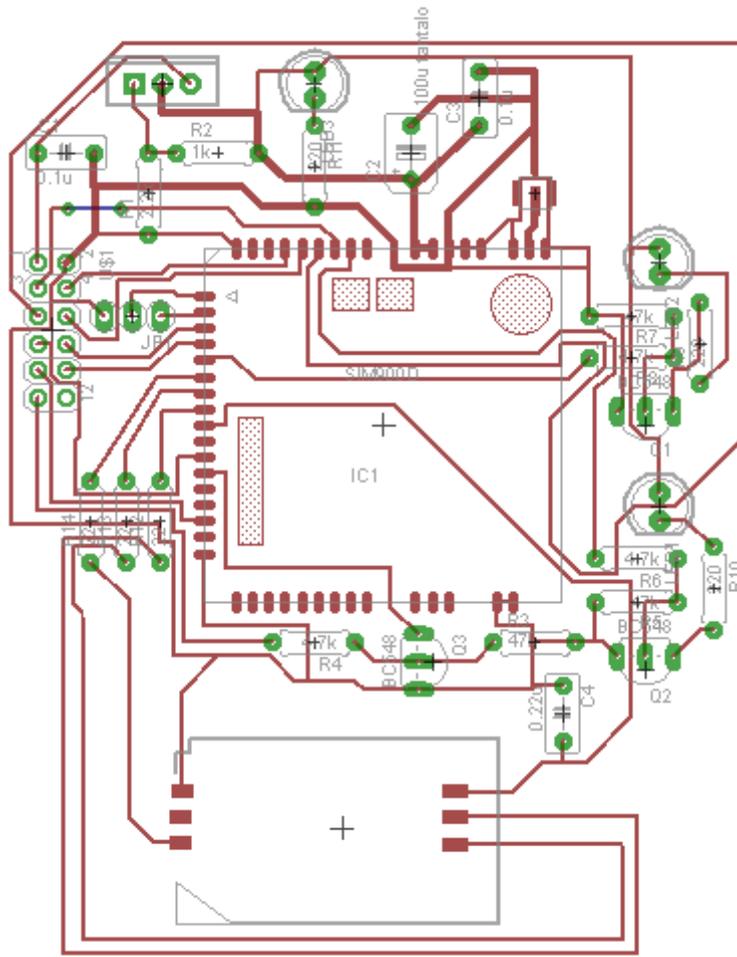


Figura 3.8. PCB projetada para receber o chip SIM900D (visão do fundo).

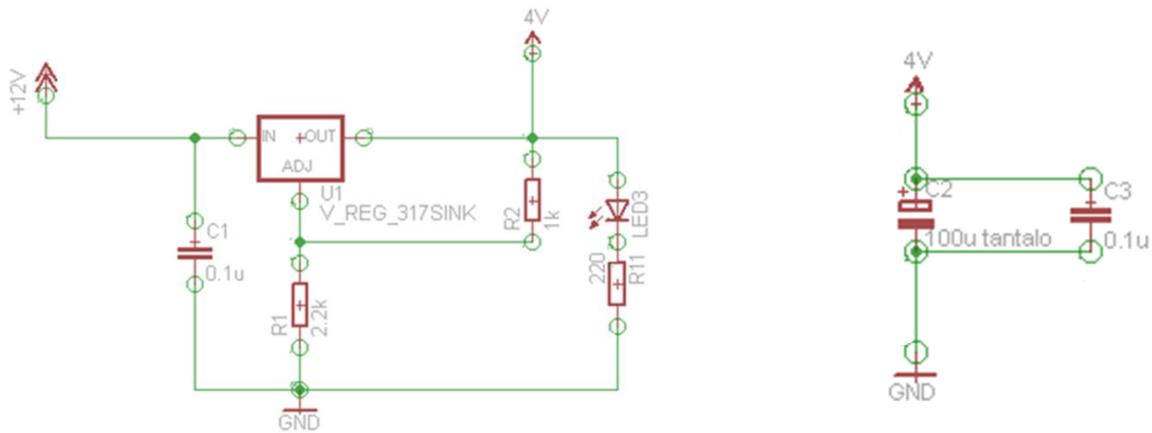
Uma observação sobre este módulo é o fato de possuir 48 pinos, logo só é fabricado no encapsulamento SMD (Dispositivo de Montagem em Superfície). Isso leva a necessidade quase obrigatória de se trabalhar com PCB logo na prototipagem inicial, como mostrado na figura 3.8.

Tratando-se de circuitos de alta frequência então, deve-se ter ainda mais atenção aos espaçamentos e largura de trilhas. O circuito mostrado na figura 3.8, por especificações do fabricante do módulo GPRS, necessita ser capaz de fornecer até 2A de pico de corrente durante as etapas iniciais de comunicação do módulo e a antena da operadora.

Um cuidado importante a se observar no projeto de circuitos com este componente são as áreas de isolamento (região hachurada em vermelho). Por motivos de preservação do funcionamento geral do circuito e do componente, seja para evitar problemas de interferência ou até mesmo o contato físico direto com as trilhas, estas áreas devem ficar livre de qualquer caminho condutor de sinal. Há inclusive certas recomendações para não passar nenhuma trilha na mesma superfície abaixo do componente. Para essa segurança, neste projeto foi colocado um material isolante (borracha de fina espessura) entre o componente e a superfície, atendendo a essas recomendações.

3.4.2. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

O esquemático de alimentação do sistema é apresentado na figura 3.9.



(a) Alimentação com regulador LM317.

(b) Regulação de tensão com capacitor.

Figura 3.9. Esquemático de alimentação do módulo comunicador.

A figura 3.9(a) apresenta um esquema de regulação de tensão para o módulo GPRS comunicador utilizado. É utilizado um circuito integrado LM317, onde a tensão de saída varia de acordo com a configuração de resistores R1 e R2 acoplados.

O manual do circuito LM317 afirma que este componente suporta uma corrente típica de até 2,2A e atua fornecendo sempre que possível 1,25V de tensão entre seus pinos OUT (saída) e ADJ. Dessa forma, na equação 1 define-se a tensão de saída.

$$V_{out} = 1.25 \left(1 + \frac{R1}{R2} \right) \quad (1)$$

Na configuração apresentada, onde se aplica 12V de entrada, um resistor R1 de 1kΩ e R2 de 2,2kΩ, obtém-se uma tensão de saída igual a 4V, necessária segundo a especificação do componente SIM900D.

Já na figura 3.9(b) mostra um circuito que ajuda a manter a alimentação sobre o componente constante. Com um capacitor de 100μF de tântalo em paralelo a um de 0,1μF cerâmico, faz-se uma boa regulação. Os capacitores cerâmicos possuem rápida resposta, necessárias para alimentar o sistema durante pequenos e fortes picos de alta frequência. Os capacitores de tântalo guardam uma grande quantidade de carga, podendo sustentar a alimentação durante momentos de grande corrente. É muito importante que esse suporte de capacitores esteja bem perto dos pinos de entrada do CI, possibilitando a rápida resposta.

3.4.3. CIRCUITOS AUXILIARES

Nesta placa existem mais dois circuitos acoplados de potência (Fig. 3.10), que se alimentam LEDs. Um é responsável por indicar quando o chip está alimentado (verde) e o outro por indicar como está a conexão do sistema com a rede da operadora de telefonia celular (azul).

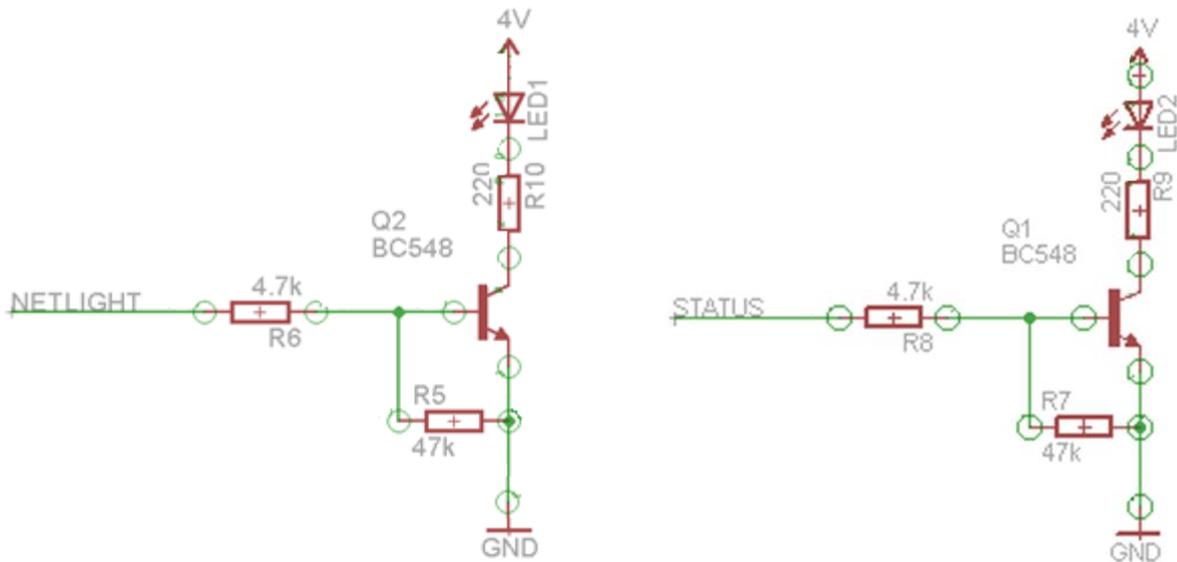


Figura 3.10. Circuito de potência para ativação dos LEDs.

Semelhante aos circuitos de potência do LED, o circuito da figura 3.11, o processo de ligar e desligar o módulo é feito por um sinal enviado para um transistor que aterriza o pino PWRKEY do chip SIM900D. Quando conectado ao terra por mais de 1500ms, alterna-se entre ligado/desligado.

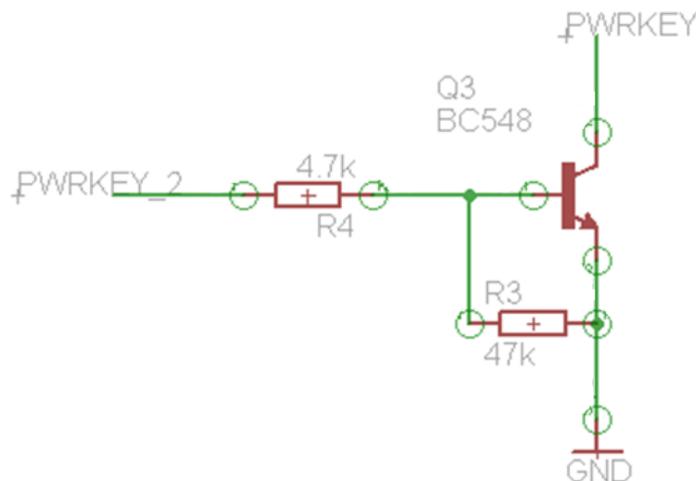


Figura 3.11. Esquemático de conexão do pino PWRKEY.

Para o devido registro e acesso à rede da operadora, é necessário um cartão SIM. Com este, dependendo do pacote de dados assinado com a operadora, é possível realizar todas as operações que um celular comum faz, incluindo conectar-se na internet. O chip SIM900D oferece uma conexão muito simples com os cartões SIM. A figura 3.12 apresenta o circuito de conexão necessário.

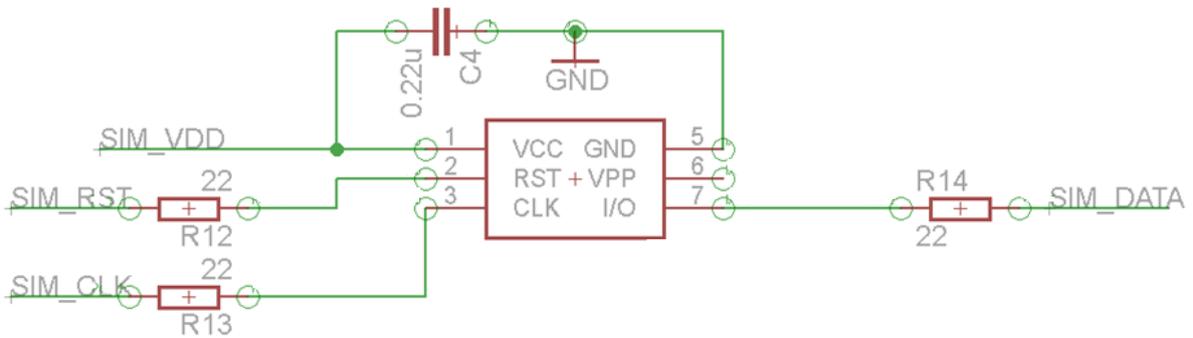


Figura 3.12. Esquemático de conexão dos pinos do cartão SIM com os pinos do módulo GSM/GPRS.

A comunicação entre o cartão e o módulo GSM/GPRS é automaticamente controlada internamente no chip SIM900D. Isso inclui a identificação da presença deste e sua tensão de alimentação, que varia entre 1,8V e 3V.

Para uma padronização da conexão entre o módulo comunicador e o módulo central, existe uma sequência definidas de pinos que irão conectar uma placa com a outra. A figura 3.13 representa todas as posições de pinos deste padrão.

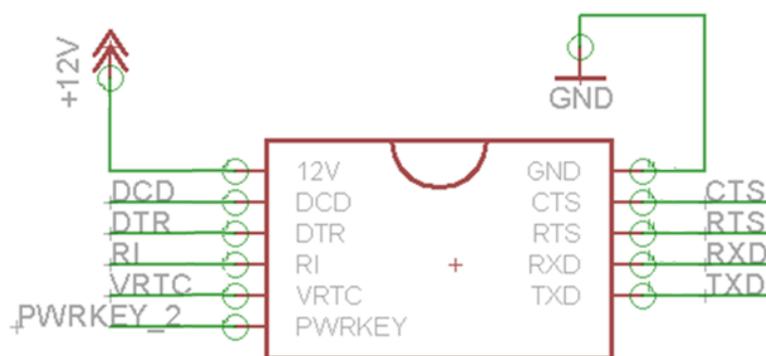


Figura 3.13. Padrão de conexão entre o módulo comunicador e central.

A tabela 3.1 apresenta a sequência de funcionalidades de cada pino utilizado nesta conexão.

Tabela 3.1. Definição dos pinos utilizados.

PINO	Função	PINO	Função
+12V	Alimentação	GND	Terra
DCD	Indicador usado na comunicação	CTS	Indicador usado na comunicação
DTR	Indicador usado na comunicação	RTS	Indicador usado na comunicação
RI	Indicador de eventos de chamada, SMS e etc	RXD	Receptor UART (3.3v)
VRTC	Alimentação do contador de tempo real (RTC)	TXD	Transmissor UART (3.3V)
PWRKEY_2	Entrada do sinal de Ligar/Desligar		

Para possibilitar uma futura pesquisa de problemas ocorrendo dentro do chip, os pinos `DBG_RXT` e `DBG_TXD` foram deixados disponíveis. Estes pinos transmitem informações que ajudam a encontrar pontos de falha no processo (depuração), comumente chamado *DEBUG* (Termo inglês “retirar besouros”, pois os antigos *mainframes* a válvulas possuíam problemas com a entrada de pequenos insetos).

3.5. MÓDULO CENTRAL

Este módulo possui extrema importância em todo o sistema, pois gerencia todos os demais processos, além dos existentes internamente.

O módulo central (Fig. 3.14) e setor possuem certas características e modo de operação que se assemelham entre si, diferenciando somente na questão de quem controla e quem recebe comandos. Isso caracteriza uma relação mestre e escravo, termo comumente utilizado na informática.

Para maior precisão de tempo, o sistema possui integrado ao módulo central um chip de RTC (Relógio de Tempo Real). Este possui baixo consumo, longa durabilidade e maior precisão.

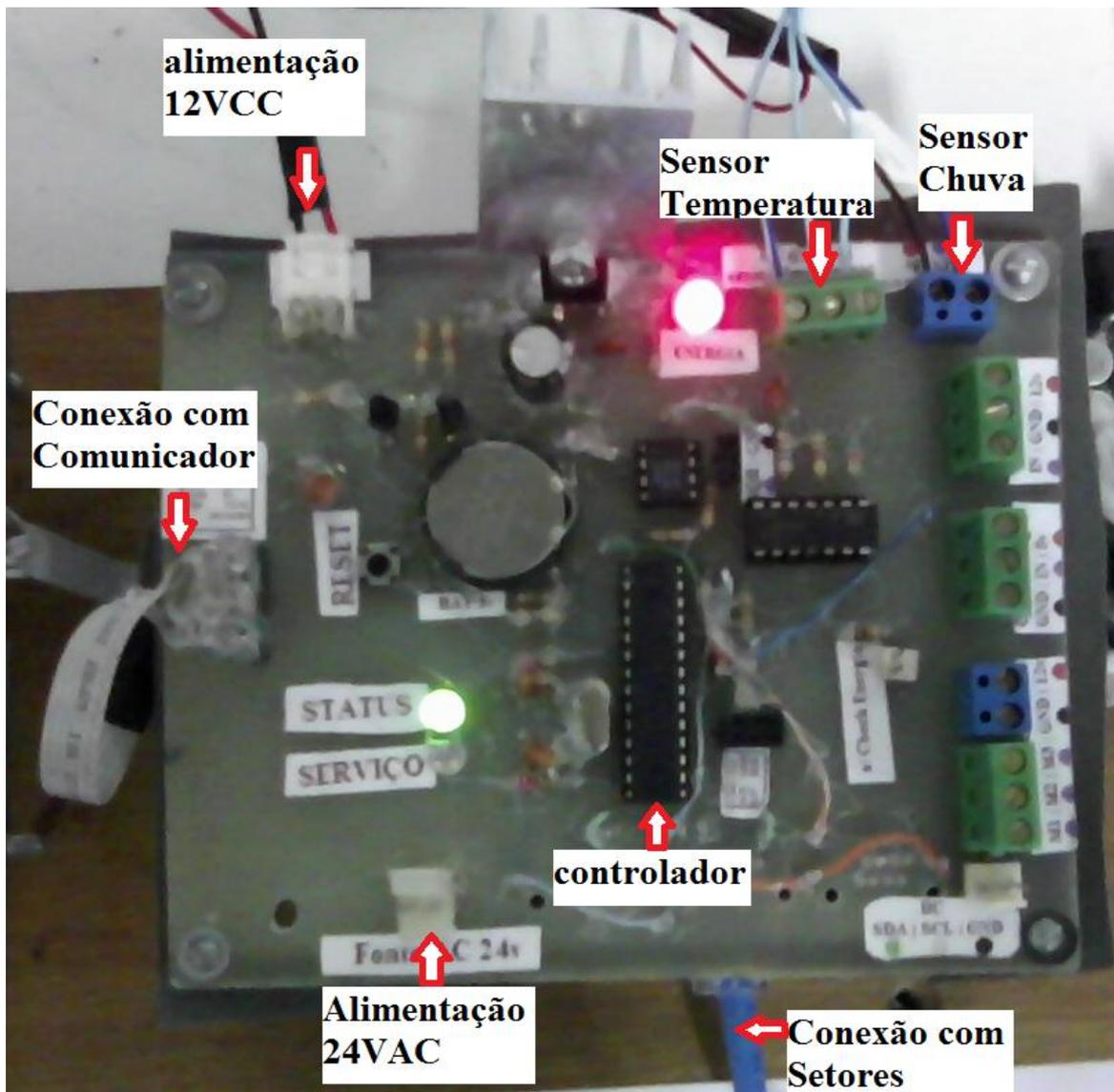


Figura 3.14. Placa e circuito do módulo central.

Este circuito também foi projetado e desenvolvido utilizando o processo de fabricação de PCB mencionado anteriormente. Dessa forma a figura 3.15 apresenta o circuito projetado para receber os componentes que formam o módulo central.

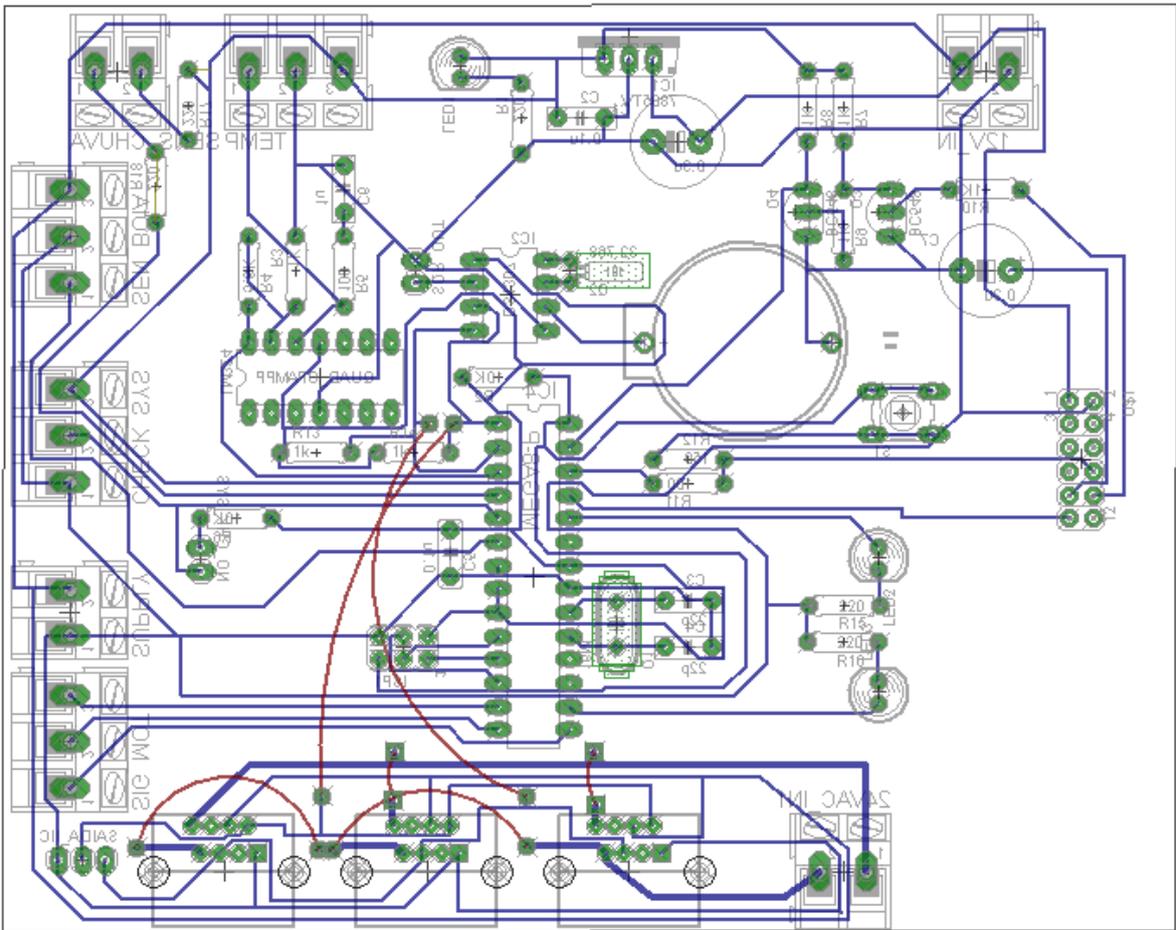


Figura 3.15. Projeto de PCB para o módulo central (visão do fundo).

As linhas em vermelho são conexões feitas por fios. Devido ao uso de uma só camada de trilhas, algumas conexões não têm possibilidade de serem ligadas, necessitando de outros caminhos para isso, como os fios utilizados.

3.5.1. CIRCUITO DE ALIMENTAÇÃO

O esquemático de alimentação deste sistema é apresentado na figura 3.16.

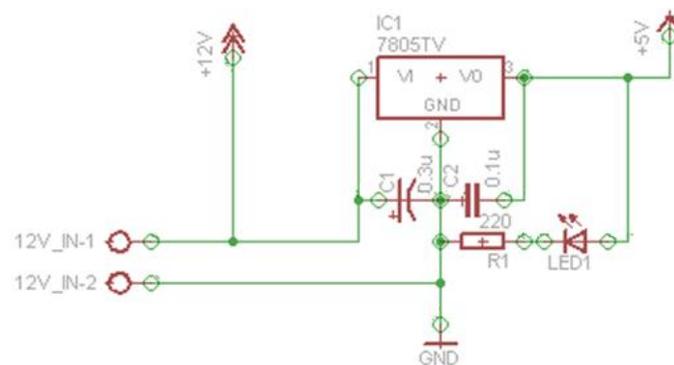


Figura 3.16. Esquemático de alimentação do módulo central.

A entrada principal 12V (corrente contínua) de alimentação é feita no LM7805, que por sua vez distribui para todos os demais periféricos, como módulo comunicador e setor (esses recebem uma alimentação derivada da entrada de 12V, portanto possuem seus próprios reguladores de tensão). Utilizando um circuito integrado LM7805 (regulador de tensão 5V), obtêm-se uma fonte de alimentação regulada capaz de sustentar todo o módulo e ainda fornecer algumas saídas necessárias para alguns periféricos, como o sistema de checagem de energia, sensores etc.

Outra importante alimentação é a de 24VAC (corrente alternada) que, distribuída para os setores, poderá ativar os solenoides. Esta tensão é fornecida por um transformador capaz de fornecer até 2A com 24VAC para uma entrada de 220VAC.

3.5.2. CONTROLADOR CENTRAL

Com a função de gerenciar e comunicar com todos os demais módulos, esse componente é o principal componente do sistema. Inclui diversos periféricos, sendo esse elemento é uma versátil ferramenta para sistemas embarcados. Por definição, pode ser programado e possui uma memória interna de longa duração.

Existem no mercado muitos modelos de microcontroladores, dos mais sofisticados aos mais simples e econômicos. Esses componentes estão presentes em diversos produtos e equipamentos existentes hoje, pois são rápidos e ocupam pouco espaço.



Figura 3.17. Microcontrolador ATMEL, ATMEGA328p.

Neste projeto, não há a necessidade de um ótimo processador, mas sim de um com baixo custo e fácil operação. Devido a simplicidade de se programá-lo, substituir e ainda adquirir, o microprocessador ATMEGA328p (modelo DIP, conexão de encaixe,) foi escolhido. Importante lembrar que, neste trabalho, este componente trabalha com níveis TTL (5V). Este microcotnrolador possui características fundamentais ao desenvolvimento inicial, como:

- Fácil programação
- Fácil substituição
- Gravadora ISP (Programação dentro do sistema) de baixo custo e fácil manuseio

- 32 KB de memória programável
- 1 KB de memória não volátil (que não se apaga ao desligar)
- 3 Temporizadores independentes
- 6 canais de conversão analógico/digital de 10 bits
- Comunicação UART e *Two-Wire* (semelhante ao IIC)
- Interrupções em todos os pinos
- Compatível com cristais geradores de *CLOCK* de até 20 MHz.
- Baixo consumo de energia.

Uma facilidade fornecida por estes circuitos integrados é a possibilidade de se alterar completamente seu *software* sem precisar removê-los das placas onde estão trabalhando. Isto é possível, pois geralmente estes componentes possuem comunicação SPI, umas das interfaces capazes de realizar este processo.

Neste caso, o microprocessador deve possuir um pino chamado *RESET*, capaz de forçar um reinício de todo o programa executado no chip. Durante a inicialização, este componente pode receber sinais específicos em seus pinos MISO, MOSI e SCK. Estes sinais podem iniciar um processo de gravação de seu *software* e continuar recebendo sinal, até que se termine de transmitir todo o programa. Uma gravadora muito simples e de baixo custo é a mostrada na figura 3.18, onde foi desenhada e montada no próprio LARA.



Figura 3.18. Gravadora ISP montada em laboratório.

Esta gravadora é uma excelente ferramenta de desenvolvimento, pois possui saídas (fios coloridos e cinza) que permitem conectar seus pinos diretamente com o microcontrolador localizado em outra placa. Possui LEDs indicadores de *status* (vermelho) e

processo de gravação (verde). Para sua utilização, basta instalar um driver no SO (sistema operacional) e utilizar o *software* de programação, como o WINAVR ou Arduino (sistema gratuito disponível no sitio <http://www.arduino.cc/>).

3.5.3. CONEXÃO COM O MÓDULO DE COMUNICAÇÃO

Como já citado anteriormente, a central e o comunicador possuem uma conexão especial. Com ela realiza-se o correto protocolo entre os componentes.

Neste projeto, como somente foi utilizado o protocolo AT de comunicação via UART, não foi preciso ter acessos a quase nenhum dos pinos citados na tabela 3.1, pois por meio deste protocolo é possível saber qual o status do módulo GSM/GPRS e quais as respostas geradas por cada comando enviado da central. Sendo assim, os pinos utilizados são os conectados apresentados na figura 3.19.

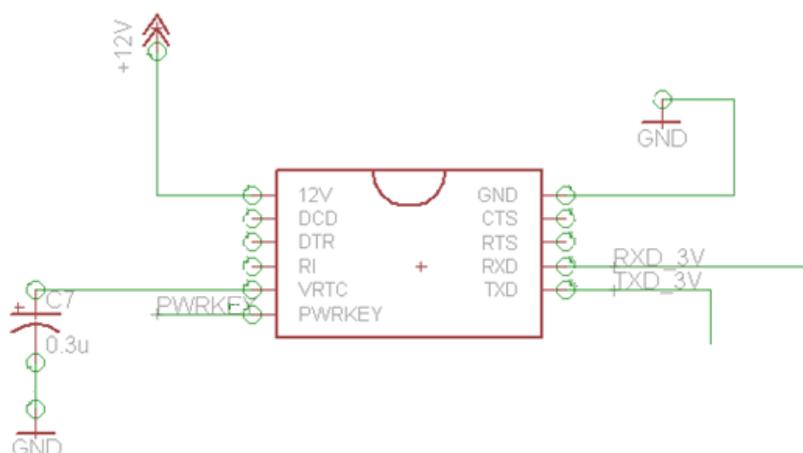


Figura 3.19. Conexão necessária para comunicação entre o módulo central e comunicador.

É interessante observar que o pino VRTC não foi conectado a uma fonte, pois segundo as especificações do próprio fabricante do SIM900D, este componente já é internamente alimentado, somente precisando de um capacitor para segurar a tensão no nível desejado.

Além dos pinos de alimentação fornecidos diretamente pela central (12V e GND), há o pino PWRKEY, conectado diretamente ao microcontrolador, e os de comunicação RXD e TXD, conectados em circuito intermediários de conversão de níveis lógicos.

3.5.4. CONVERSÃO DE NÍVEIS LÓGICOS

Todo o processo de conversão depende muito do sentido da informação por aquela via. No caso do protocolo UART, cada pino possui um único sentido, como mostrado na figura 3.20.

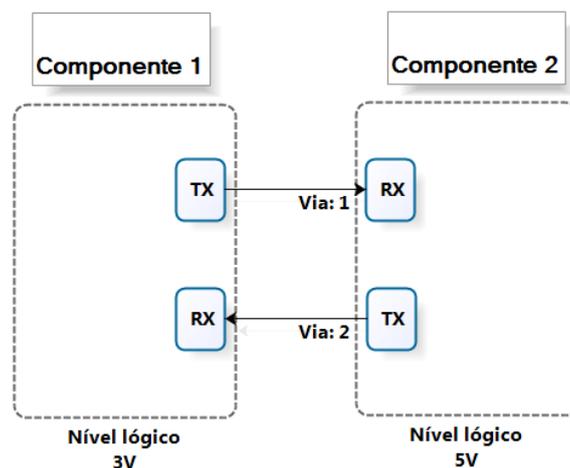
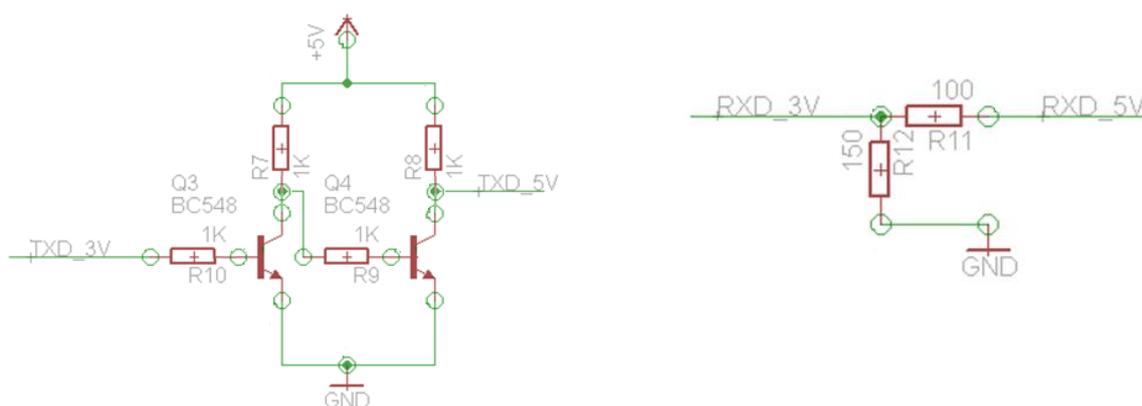


Figura 3.20. Diagrama de fluxo de comunicação UART.

Componentes como o microcontrolador ATMEGA328p e o SIM900D possuem níveis lógicos diferentes. Por isso é necessário um pequeno circuito conversor presente nessas vias, apresentado na figura 3.21.



(a) Conversor TX 3V/5V, via 1

(b) Conversor RX 3V/5V, via 2

Figura 3.21. Esquemático dos conversores de nível lógico.

O conversor de sinais da via 2 (Fig. 3.21(b)) é na verdade um circuito muito simples denominado divisor resistivo, pois só o que é feito é uma redução do nível lógico. Já o conversor presente na via 1 necessita que um sinal de 3V seja transformado em 5V, isso é possível com a utilização de transistores de junção bipolar (TJB) do tipo NPN, alimentados em 5V, mostrados na figura 3.21(a). São necessários dois transistores, pois nesta configuração o sinal sai invertido do primeiro e é corrigido pelo segundo, mantendo a lógica original.

3.5.5. COMUNICAÇÃO ENTRE MÓDULO CENTRAL E SETOR

Diversas interfaces poderiam ser adotadas para se realizar a comunicação entre cada módulo setor e a central. A diferença entre elas se dá principalmente em relação à distância máxima de comunicação, a taxa de transferência, confiabilidade e meio físico.

A interface utilizada neste projeto é a já existente no microcontrolador ATMEGA328p, *two-wire* que é compatível com a interface IIC (Circuito Inter Integrado). Este protocolo permite inserir, em uma só linha de comunicação, vários componentes. Para isso, cada inserido nesta linha deve possuir um endereço, no qual irá responder quando solicitado. Os endereços podem variar de 0 a 127, sendo alguns destes reservados para determinadas funções.

Outra vantagem desse protocolo é sua constante verificação de mensagem recebida e sincronização no envio de dados. Cada informação é transmitida com um sinal de sincronismo e para cada *byte* enviado, o receptor responde com um sinal de resposta (ACK).

Apesar de o protocolo IIC ter sido projetado para linha de distâncias inferiores a 10cm ou capacitância até 400pF, o protocolo *two-wire* do microcontrolador permite utilizar maiores correntes e com isso alcançar maiores distâncias.

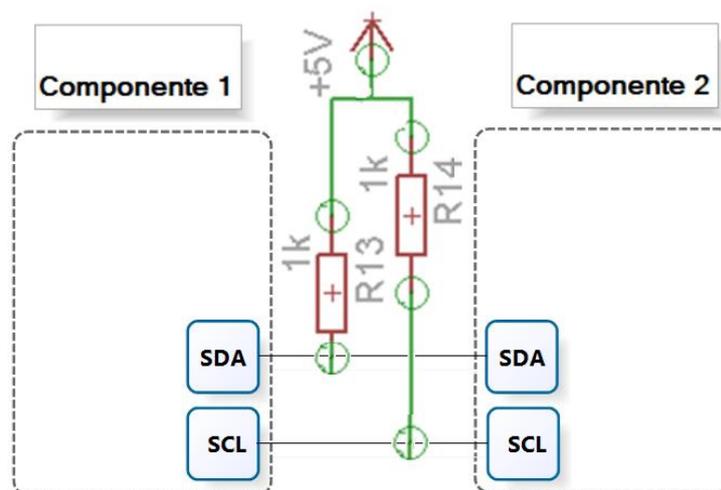


Figura 3.22. Esquemático de ligação da interface *two-wire*.

Em testes reais de operação feitos em laboratório, a interface do microcontrolador, montada segundo a figura 3.22 com resistores de 1kΩ, conseguiu comunicar 7 metros sem falhas ou atrasos, utilizando a frequência padrão de funcionamento (100KHz).

A frequência de comunicação influencia muito na distância máxima de comunicação. No protocolo IIC, a frequência mínima é de 10KHz, já no *two-wire* o limite é muito baixo, chegando a enviar a até menos de 50Hz. Com isso é possível ampliar ainda mais a distância máxima de comunicação, entretanto não foi testado neste projeto.

No caso da distância ser um problema na comunicação, uma alternativa muito viável para se estender as distâncias máximas é a utilização de circuitos integrados extensores, como o P82B715. Segundo o fabricante, utilizando a frequência padrão de comunicação

(100KHz), pode-se estender a comunicação em aproximadamente 50 metros ou 3000pF. A figura 3.23 apresenta a forma de conexão destes componentes demonstradas no manual do fabricante.

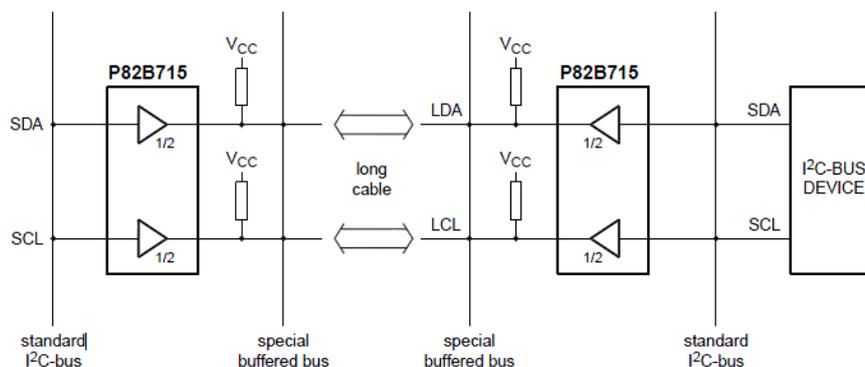


Figura 3.23. Esquema de ligação do extensor ICC.

Desta forma, o protocolo fornecido pelo microcontrolador foi uma boa escolha para a comunicação central-setor deste projeto, ainda que necessite de maiores distâncias, pode-se utilizar o componente P82B715.



Figura 3.24. Conexão e cabos Rj-45.

Por questões de facilidade e confiabilidade no projeto, os cabos RJ-45-568A (Fig. 3.24) foram usados para realizar a comunicação entre os módulos.

Esses cabos possuem pares de fios entrelaçados que reduzem o efeito de ruídos externos. Possuem fácil encaixe e remoção, além de serem fáceis de trabalhar.

No circuito do módulo central existem três conexões RJ-45 comuns entre si. Desta forma, com uma só conexão do cabo é possível se conectar oito fios diferentes. Assim, a figura 3.25 apresenta quais conexões são feitas com este cabo.

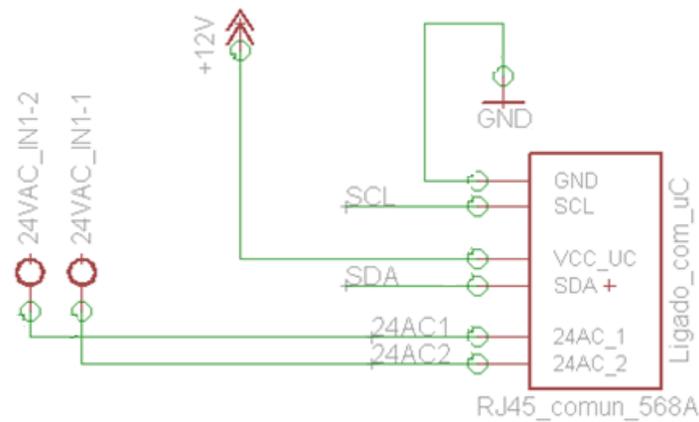


Figura 3.25. Conexão Rj-45 utilizada no projeto.

Portanto, com uma só conexão RJ-45 é possível criar uma linha que alimentará e fornecerá comunicação com vários outros módulos setores. O fato de se transportarem correntes alternadas e contínuas próximas da linha de comunicação não gera falhas ou atrasos segundos as observações feitas anteriormente sobre o protocolo *two-wire*. Testes realizados no laboratório, com um cabo Rj-45 de 5 metros, resultou que a comunicação continuou funcionando a uma distância de 5 metros, mesmo com todas as linhas ativas e frequência de 100KHz.

Para fins de identificação de erros e futuras aplicações, saídas de comunicação *two-wire* ficam disponíveis na placa central, bem como em cada placa de módulo setor, onde também se tem saídas de comunicação UART.

Mais testes necessitam ser feitos para garantir a funcionalidade deste meio de comunicação para a aplicação real de longas distâncias, mas é importante ressaltar que há sempre alternativas viáveis que garantem a funcionalidade deste projeto atual, como o uso dos extensores, substituição dos cabos, diminuição da frequência e aproximação dos módulos setores, utilizando fios para seus sensores.

3.5.6. TEMPORIZADOR CENTRAL

Neste módulo central é utilizado um circuito integrado DS1307 (Fig. 3.26), capaz de manter uma contagem razoável da medida de tempo durante longos períodos, com baixo consumo. Segundo o fabricante, utilizando-se uma bateria de lítio é possível manter o sistema funcionando corretamente por mais de 10 anos, em condição ambiente.

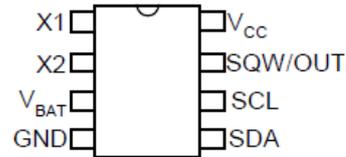
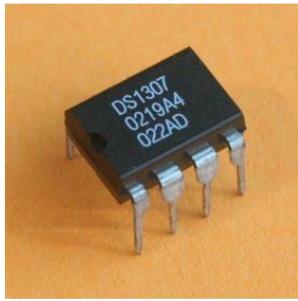


Figura 3.26. Chip RTC DS1307.

Outra vantagem deste componente é sua interface de comunicação. Utilizando mensagens enviadas pela interface IIC, pode se configurar ou requisitar os segundos, minutos, horas e até mesmo a data completa, como dia, dia da semana, mês, ano. Pode-se também configurar para que este disponibilize em seu pino SQW/OUT uma onda quadrada de frequência configurável, disponível por um conector presente ao lado do DS1307.

Deve-se tomar uma atenção especial com este circuito em relação ao pino V_{BAT} , pois este deve sempre estar conectado à alguma fonte de energia, para que, em caso de ausência de alimentação, o chip possa continuar operando, sem perder a contagem. É possível alimentá-lo com um capacitor de alta capacitância ou com uma bateria de lítio (utilizado neste projeto).

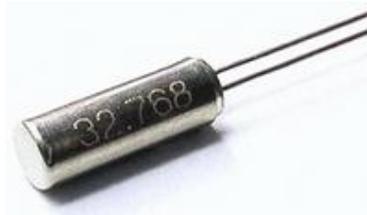


Figura 3.27. Cristal de quartzo usado em sistemas RTC.

Os pinos x1 e x2 devem ser ligados diretamente a um cristal de quartzo (Fig. 3.27) com frequência de 32,768 KHz. Tomado sempre muito cuidado para não deixar trilhas ou fonte de magnetismo muito próximas deste cristal e, de preferencia, um plano terra logo abaixo deste. Esse cristal pode ser facilmente encontrado em placas mãe inutilizadas.

A figura 3.28 apresenta o esquema de ligação padrão deste RTC.

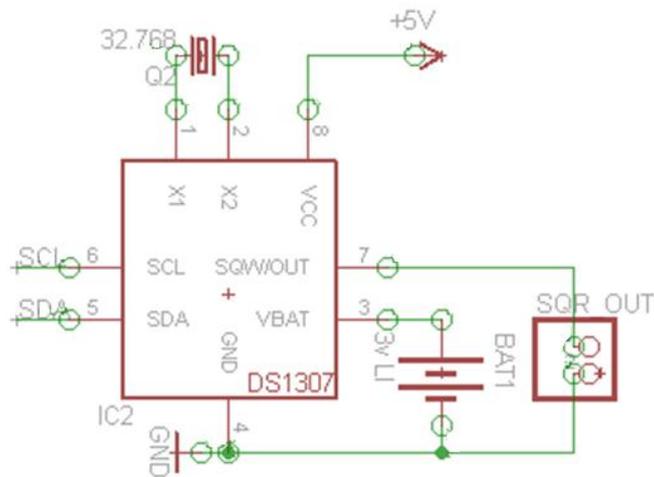


Figura 3.28. Esquemático de ligação do circuito RTC.

3.5.7. SENSOR DE TEMPERATURA

Para se medir temperatura, existem vários dispositivos, dos mais precisos aos mais simples. Neste trabalho, a variável de temperatura não necessita de tamanha exatidão, pois somente irá medir a temperatura ambiente. Portanto a utilização do circuito integrado LM35 (Fig. 3.29) proporciona uma boa precisão e fácil integração.



Figura 3.29. Circuito integrado LM35.

Este componente, quando alimentado com uma tensão de 5V, fornece em seu pino de saída tensões que correspondem proporcionalmente à temperatura medida. Segundo o fabricante, este elemento possui uma não linearidade máxima de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ e uma precisão típica de $\pm 0,6^{\circ}\text{C}$. A saída é dada em miliampéres, de forma que $22,5^{\circ}\text{C}$ correspondam a 225mA.

Utilizando o conversor A/D (Analógico/Digital) de 10bits (valores de 0 a 1023), periférico presente no microcontrolador, é possível conhecer qual o valor de tensão presente na saída do sensor de temperatura. Como a tensão medida pelo periférico é de 0v a 5V, Tem-se que este possui uma precisão de:

$$\frac{5000 \text{ mV}}{1023 \text{ bits}} = 4,8 \text{ mV/bit} \rightarrow 0,48^{\circ}\text{C/bit} \quad (2)$$

Desta forma o conversor só irá identificar mudanças de temperatura para variações de acima de 0,48°C. Para melhor precisão no processo de conversão de informação analógica, utiliza-se um amplificador operacional (AmpOp) ligado segundo a figura 3.30.

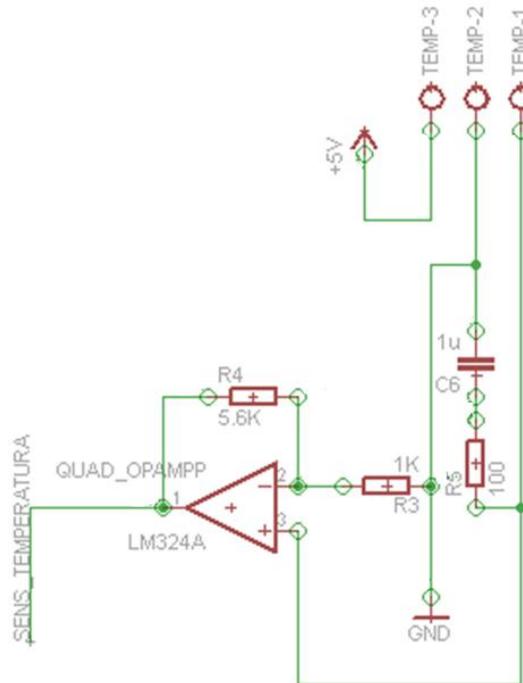


Figura 3.30. Esquemático de ligação do sensor junto ao AmpOp, onde TEMP_3 é a alimentação do LM35, o TEMP_2 é o terra do circuito e o TEMP_1 é a saída do sensor.

Neste circuito é feita a filtragem de pequenas oscilações e a amplificação da tensão de saída do sensor, segundo a equação 3.

$$V_{Sens_temp} = V_{TEMP_1} \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \quad (3)$$

$$3,5 V = V_{TEMP_1} \left(1 + \frac{5,6 \Omega}{1 \Omega} \right) \rightarrow V_{TEMP_1} = 530 mV \quad (4)$$

Assim, o conversor pode possuir mais precisão na variação da temperatura. Sabendo-se que a saída do amplificador irá gerar até 3,5V (segundo especificação do fabricante para a alimentação de 5V) e que isso corresponde a 530mV (Eq. 4), ou seja, 53°C, tem-se uma nova precisão, demonstrada na equação 5.

$$\frac{4,8 \text{ mV/bit}}{\frac{3500 \text{ mV}}{53 \text{ }^\circ\text{C}}} = 0,07 \text{ }^\circ\text{C/bit} \quad (5)$$

Com isso, tem-se um sistema com precisão satisfatória, suficiente para atender aos requisitos deste projeto.

3.5.8. SENSOR DE CHUVA

A ocorrência de chuva geralmente reduz a necessidade de irrigação, pois dependendo da quantidade de água precipitada, a umidade do solo já atinge o nível desejado para determinado plantio.

O sensor de chuva utilizado foi o RSD-BEX (Fig. 3.31), adquirido da empresa Rain Bird. Este sensor possui baixo custo, robustez e boa medida da quantidade de água precipitada. É fácil de regular a quantidade de água que irá ativa-lo e ainda pode ser configurado para simular a drenagem do solo.

Este componente é na verdade um simples interruptor adaptado junto a um conjunto de material absorvente, capaz de ampliar seu volume e acionar o interruptor quando em contato com a água.



Figura 3.31. Sensor de chuva RSD-BEX, adquirido da Rain Bird.

Aplicando-se 5V na entrada do sensor e conectando-se o fio normalmente aberto na entrada do conversor A/D do microcontrolador, torna-se possível saber quando há ou não chuva.

3.5.9. DEMAIS PERIFÉRICOS PREVISTOS

Alguns periféricos necessários para o funcionamento completo deste sistema estão previstos para serem projetados, mas por questões de tempo não foi realizado ainda. Isto não atrapalha a correta demonstração e funcionamento parcial, pois os componentes

previstos somente servem para atuar e checar sinais que já são emitidos ou verificados pelo projeto atual.

São três componentes:

- Sinais de ativação dos motores
- Sensor de boia do reservatório
- Sensor de energia geral

Está previsto a possibilidade de ativar até três motores simultaneamente. Seria o caso de ter uma motobomba principal da irrigação, uma para reabastecer o reservatório e uma ultima como opção de auxiliar para outro sistema de irrigação e etc.

O sinal de ativação do motor é configurado junto ao *software*, e é emitido toda vez que um setor inicia sua atividade de irrigação. É previsto um projeto de circuito para ativação de motor trifásico semelhante ao relé (Fig. 3.32) produzindo pela empresa METALTEX.



Figura 3.32. Relés trifásicos TST-10A e TST-40AS-P, respectivamente.

Este componente possui procedimentos de ativação segura, garantindo durabilidade e problemas elétricos, como transição de estado no zero volt, circuito *SNUBBER* (proteção de picos em circuitos com características indutivas), proteção contra queda de fase e opta isolamento das entradas de controle. Um microcontrolador de níveis lógicos TTL (5V) é capaz de ativar seguramente motores com até 10A ou 40A, sem demais componentes, utilizando somente estes relés, pois a entrada de controle aceita tensões de 3V a 32V.

O sensor de boia pode ser usado em ambientes onde se possui reservatório e alguma fonte de abastecimento, como cisternas. Quando o nível de água ficar abaixo do especificado, seria possível ligar a motobomba para que o nível correto fosse reestabelecido. Este sistema ainda não foi projetado ainda neste trabalho, portanto é somente um item previsto do sistema.

O sensor de energia geral é um periférico previsto, pois em casos onde o relé trifásico apresentado não seja usado, se torna necessário um circuito para identificar a presença de energia nas três fases necessárias. Isto acontece, pois quando (e geralmente acontece em áreas rurais) ocorre uma queda de energia de uma das fases, deve-se desligar

rapidamente os componentes trifásicos, como o motor, com risco de perda parcial ou total de certos componentes ligados à este. Assim o sensor de energia é um auxiliar do circuito de ativação de motores comentado anteriormente.

3.6. MÓDULO SETOR

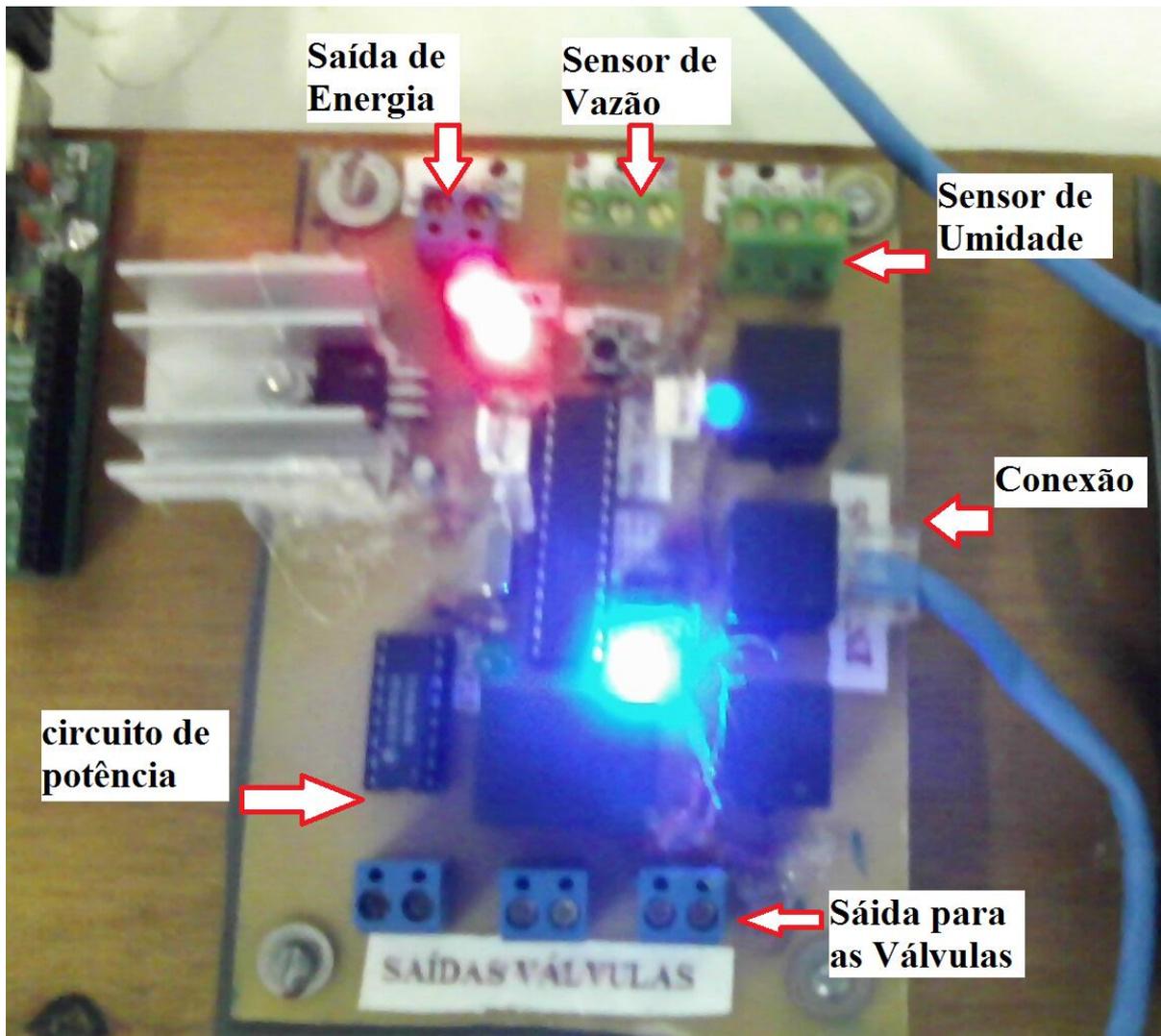


Figura 3.33. Placa do módulo setor.

Este módulo se assemelha ao central. O processador é o mesmo, possui o mesmo método de gravação, encaixe físico e alimentação. Como explicado anteriormente, uma conexão RJ-45 providencia todos os sinais necessários para o funcionamento de um setor.

Para possibilitar a continuidade da linha de comunicação conectada à central, cada setor possui mais três encaixes RJ-45, dessa forma podendo até criar bifurcações da linha principal.

O que difere este elemento dos demais é a capacidade de ativar as válvulas solenoides responsáveis por abrir o registro da irrigação de determinado setor, bem como adquirir dados periódicos da umidade relativa e quantidade de água aplicada.

Existe ainda uma saída de energia, projetada para futuras aplicações. Ela disponibiliza uma tensão de 5V regulada.

3.6.1. CIRCUITO DE POTÊNCIA E ATUADOR DOS REGISTROS

A válvula adquirida da Rain Bird (Fig. 3.34) é capaz de abrir e fechar o fluxo de água necessário para a irrigação quando alimentado com uma tensão de 24VAC. Ela possui robustez, regulagem de fluxo e abertura que torna sua utilização bastante viável neste projeto.

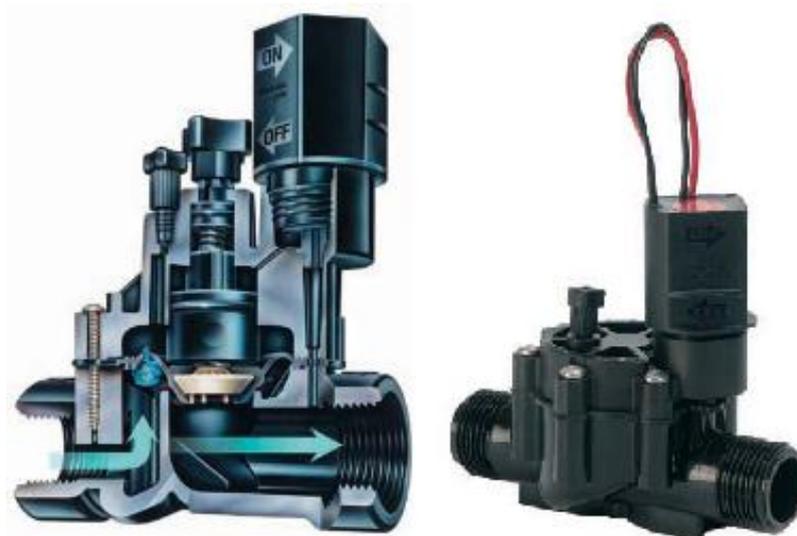


Figura 3.34. Válvulas série DV fornecida pela Rain Bird.

Este atuador trabalha com corrente alternada (0,3A na ativação e 0,19A mantendo ativo) por meio de solenoide, necessitando assim de um circuito de proteção e ativação.

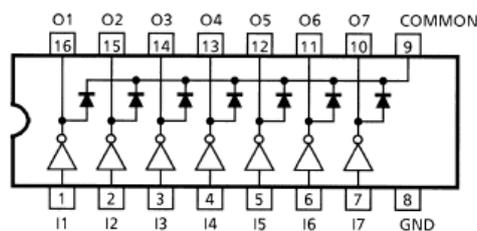


Figura 3.35. CI do ULN2003A.

O circuito ULN2003AN (Fig. 3.35) é capaz de chavear uma saída de até 50V de corrente contínua utilizando somente um sinal de entrada, que pode variar de -0,5 até 30V também CC, fornecendo proteção e facilidade de controle para o microprocessador. Montado segundo o circuito da figura 3.36, torna-se possível ativar um relé de 12V que irá alimentar a válvula solenoide de corrente alternada.

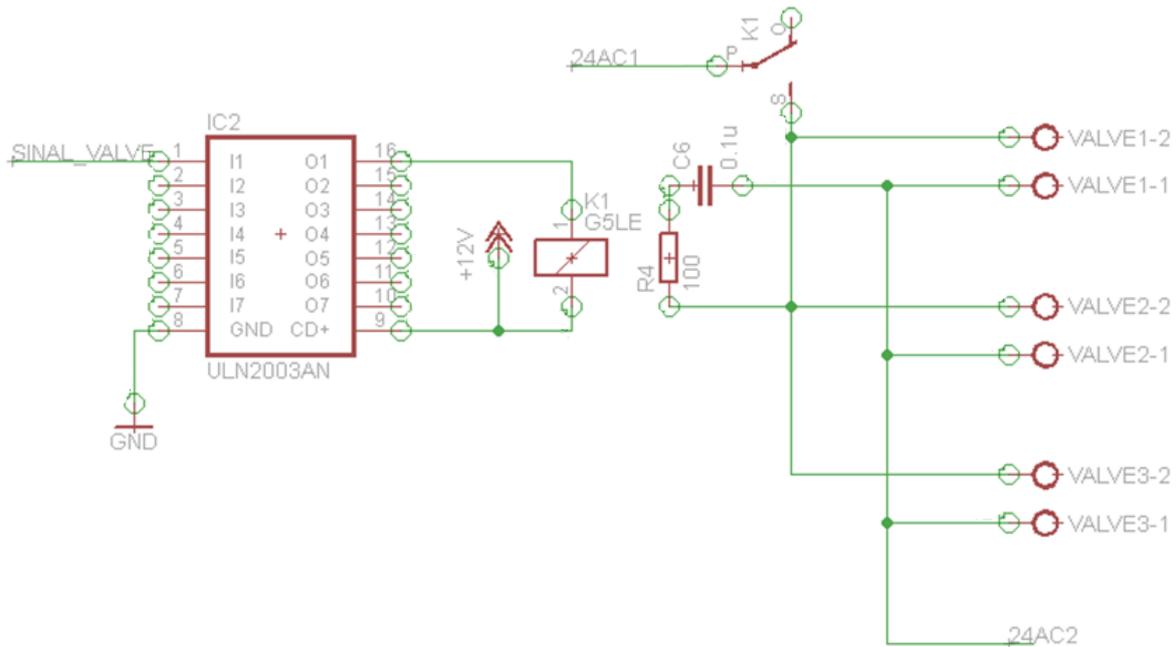


Figura 3.36. Esquemático de ligação das válvulas solenoides.

Entretanto, a maior parte dos circuitos que possuem um indutor (bobina, solenoides e etc) podem gerar picos de tensão durante uma repentina variação da tensão sobre seus contatos. Esses picos podem gerar altas correntes, que danificam o equipamento e o circuito de ativação.

Um meio viável de se minimizar essa rápida variação de tensão e consequentemente proteger o circuito é utilizar o chamado *SNUBBER*. Na figura 3.36, pode-se observar que o capacitor C6 e o resistor R4, em série, estão ligando os dois contatos que alimentam o atuador. Essa ligação permite que a tensão varie suavemente sobre os contatos do indutor, evitando os picos de corrente.

Existem três saídas para ativação de registros, ou seja, cada setor pode ativar, ao mesmo tempo, três válvulas. Devido ao transformador utilizado, o máximo suportado possível é de seis válvulas, dada a corrente de ativação utilizada, ou nove se ativadas sequencialmente.

3.6.2. SENSOR DE UMIDADE

A medida da umidade no solo pode ser obtida de diversas formas. Um sensor mais elaborado, como a figura 3.37, possui maior precisão e também fornece outras medidas, como temperatura do solo e salinidade. Este sensor possui um custo mais elevado e não possui uma interface para enviar suas medidas a outro dispositivo, somente um visor e botões para interface humana. A forma de aquisição deste sensor é bem complexa, pois este funciona com o sistema TDT (*Time-domain transmissometry*).



Figura 3.37. Sensor de umidade SMRT-Y fornecido pela Rain Bird.

Outros fabricantes, como a Acclima, fornecem o mesmo modelo de sensor, mas com interface serial, acessível a outros microcontroladores.

Em diversos artigos e projetos pesquisados, utiliza-se o sensor de umidade como eletrodos inseridos em material poroso, como gesso, nylon e fibra de vidro. Este sensor possui baixo custo e fácil fabricação. Segundo Maciel (2005), todos os métodos apresentam limitações, ou ainda um elevado nível de complexidade. Este sensor de gesso utilizado demonstrou ser muito sensíveis a baixos e altos teores de umidade com boa aderência no solo e duração bem satisfatória, podendo chegar a cinco anos de uso.

Neste projeto foi utilizado um sensor umidade (Fig. 3.38) semelhante ao citado por Maciel (2005).



Figura 3.38. Sensor de umidade do tipo eletrodos em bloco de gesso (20cm de comprimento, 5cm de diâmetro).

Segundo Maciel (2005), um medidor de impedância de corrente alternada, em vez da contínua, faz com que sejam eliminados os erros causados pela eletrólise e pela polarização no bloco e no solo. Assim, o circuito da figura 3.39 simula esse procedimento de medição sob corrente alternada.

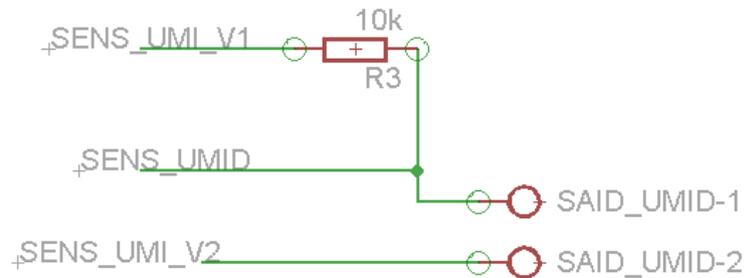


Figura 3.39. Esquemático de ligação do sensor de umidade.

Os pinos SENS_UMI_V1 e SENS_UMI_V2 estão ligados diretamente ao microcontrolador, que por sua vez fornece 5V e terra alternadamente, realizando a medida da resistência elétrica em intervalos determinados pelo *software*.

Pelo pino SENS_UMID é feita uma conversão A/D (10 bits → 0 ~ 1023) da tensão existente sobre o sensor. Conhecido o divisor resistivo, a saída desta medida é convertida para um valor de resistência segundo a equação 6. Testes de medida por este processo, realizado em laboratório, mostraram que o microprocessador diverge de um multímetro profissional por apenas algumas unidades de Ohms.

$$R_{Sens} = AD_{Conv} * \frac{R_3}{(1023 - AD_{Conv})} \quad (6)$$

Segundo Maciel (2005), a amplitude de determinação da umidade do solo pelo bloco de gesso correspondente a tensões matriciais do solo entre 10kPa e 1500kPa. A figura 3.40 apresentada por Albuquerque e Durães (2008), mostra que estes valores geralmente englobam o ponto de murcha permanente (PMP) e a capacidade de campo (CC) dos solos, ou seja, os extremos da faixa de controle desejada.

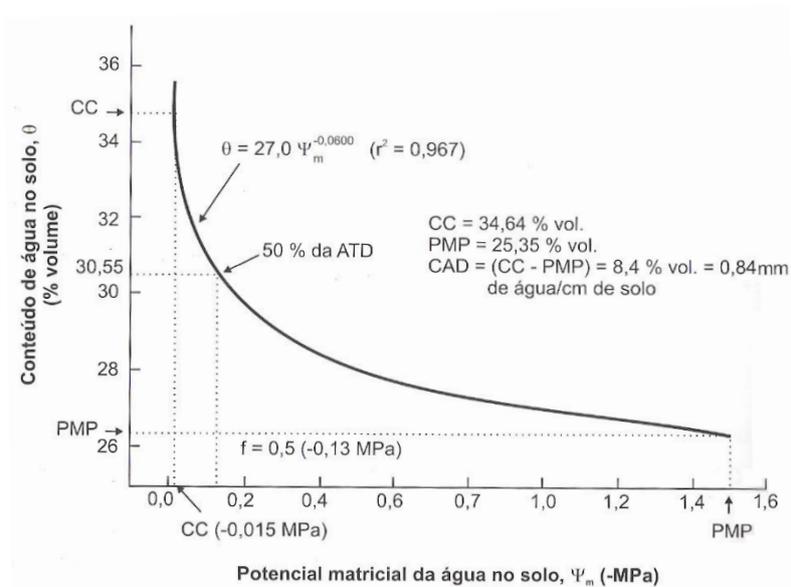


Figura 3.40. Curva de retenção de água no solo, em que se define a capacidade de campo (CC), o ponto de murcha permanente (PMP), a capacidade total de água disponível (CAD), e o coeficiente de disponibilidade (p), para o perfil de 0cm a 90cm do Latosolo Vermelho Escuro da área experimental da Embrapa Milho e Sorgo.

Para a utilização deste sensor no projeto, foi testado em laboratório o sensor de bloco de gesso. Dessa forma faz-se necessário a calibração, que foi realizada com base em um sensor calibrado apresentado anteriormente, o SMRT-Y da Rain Bird.



Figura 3.41. Recipiente para teste de umidade.

Em um recipiente contendo os dois sensores inseridos completamente em uma altura média semelhante (Fig. 3.41), foram medidas a resistência elétrica do sensor de eletrodos e a umidade aferida pelo sensor de referência. A tabela 3.2 apresenta os resultados obtidos em instantes de amostragem, observando que em alguns momentos foram inseridos mais água (500ml) ao recipiente.

Tabela 3.2. Dados de umidade obtidos – Calibração do sensor de umidade de bloco de gesso.

% de umidade de referência medida	Resistência elétrica do sensor de gesso (kΩ)	Momento de amostragem (Minutos)
3,1	Imensurável	0 (insere-se água, após a medida)
4,0	8,529	5
4,3	4,934	10
4,4	3,289	15 (insere-se água, após a medida)
11,8	1,580	20
12,2	1,566	25 (insere-se água, após a medida)
21,4	1,298	30
21,3	1,269	35 (insere-se água, após a medida)
28,7	1,222	40
28,2	1,218	45 (insere-se água, após a medida)
39,0	1,213	50
39,4	1,198	55
39,6	1,205	60
99,9 (Medido em balde somente com água)	1,193	---

É possível observar que durante a absorção inicial de água por todo o sistema solo e sensor, a resistência cai drasticamente e demora aproximadamente 15 minutos para estabilizar. Após este momento inicial, todo o sistema se comporta com mais suavidade e estabiliza com tempo médio de 9 minutos. Isto ocorre até o momento de saturação do sistema, onde o sensor já não responde mais corretamente, pois está completo de água, como observado pelo valor de sua resistência com medidas próximas entre si tanto em 39,6%, quanto em 99,9%.

Para a calibração deste sensor, somente foram considerados os dados obtidos na faixa de tensão citadas anteriormente (10kPa a 1500kPa ou aproximadamente 21% a 34% de umidade). A figura 3.42 apresenta o gráfico da correlação entre a resistência elétrica obtida do bloco de gesso e a curva de umidade do solo amostrado.

Relação U% de umidade X Resistência Elétrica

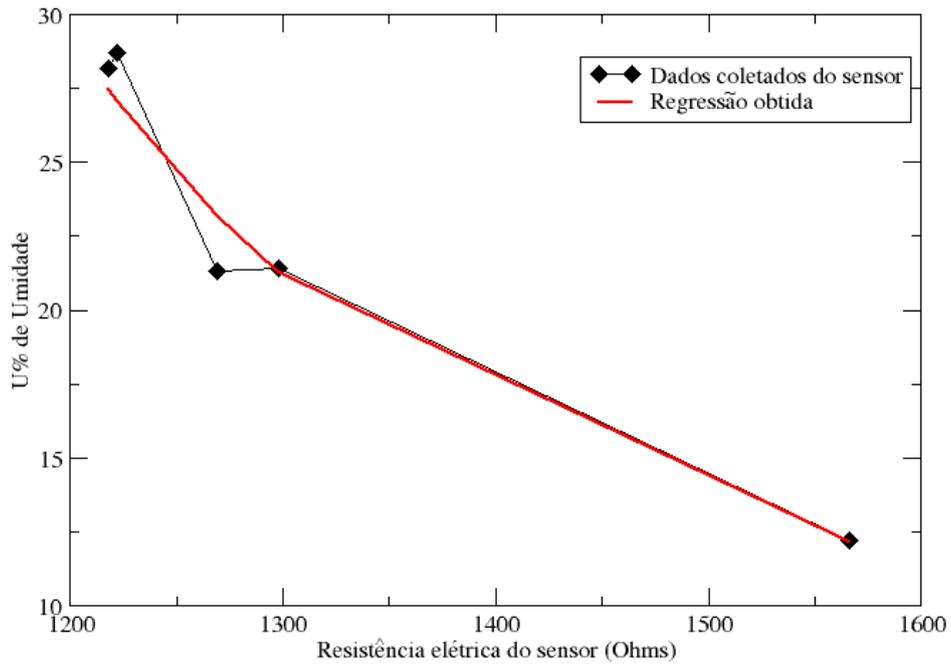


Figura 3.42. Relação de resistência elétrica e umidade do solo e sua curva de calibração obtida para os dados na faixa sensível.

O gráfico e a calibração foram realizados no *software* GRACE, fornecido em Linux. A curva de calibração utilizada foi a função inversa, baseada em informações de calibração realizadas por Thomson e Armstrong (1987), citado por Maciel (2005). Esta curva (Eq. 7) apresenta bons resultados de umidade, dado a resistência, visto que os erros padrões de calibração foram muito baixos (erro da constante: 0,0118; erro do coeficiente: $8,93 \cdot 10^{-6}$).

$$U\%_{umid_solo} = \frac{1}{(-0,12467 + 0,00013225 * R_{sens_bloco})} \quad (7)$$

Por este processo foi possível observar também, segundo a figura 3.43, que o valor da resistência elétrica do sensor varia de forma não linear em relação à quantidade de água aplicada.

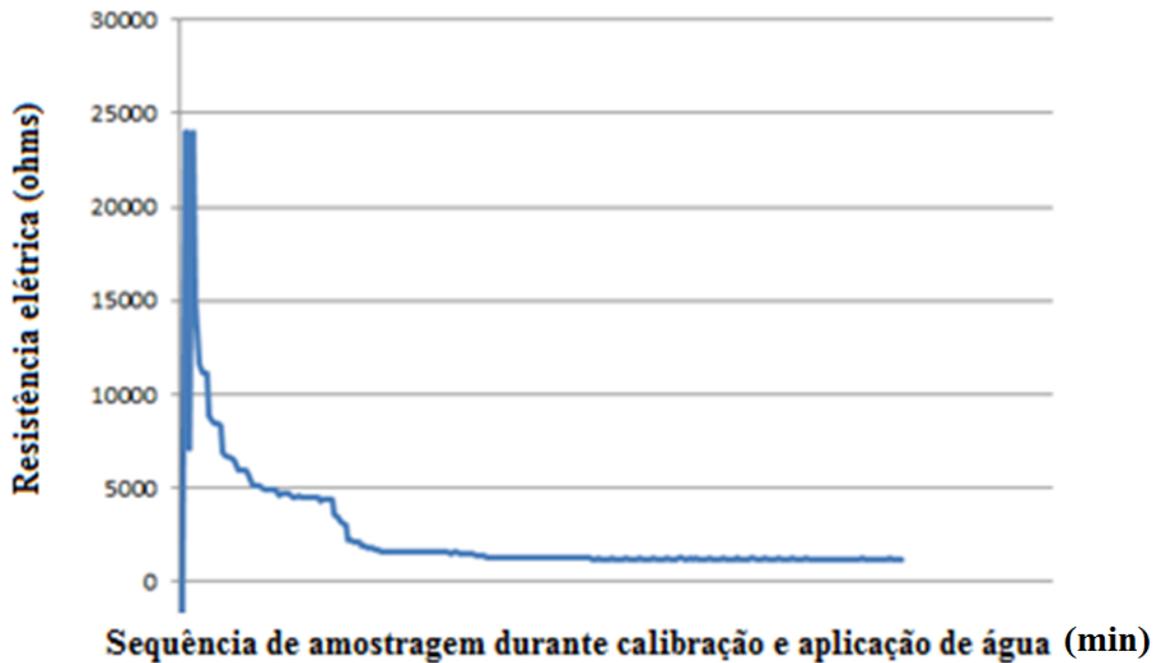


Figura 3.43. Gráfico de leitura sequencial da umidade durante o processo de calibração.

A construção do bloco de gesso pode alterar os parâmetros de calibração em cada caso. Portanto seria possível obter sensores mais rápidos e mais precisos dependendo da forma de construção, diâmetro e tamanho utilizado.

3.6.3. SENSOR DE VAZÃO

Medições de vazão não foram realizadas neste trabalho, devido ao alto custo deste sensor, mesmo os adaptados, como no caso de hidrômetros modificados para gerar sinais de pulso.

Este sensor pode ser dispensado no controle de irrigação, visto sistemas de irrigação fornecem boa confiabilidade de seus parâmetros, assim geralmente bastando saber o tempo de atuação para se determinar a quantidade de água aplicada.

Em todo caso, o módulo setor possui entrada para sinais de pulso produzidos por este sensor. Podendo ser usado ainda para outras aplicações futuras, como um sensor de furto ao se tentar abrir a caixa onde estão presentes os registros.

CAPÍTULO 4 – SOFTWARES DESENVOLVIDOS NO PROJETO PARA O CONTROLE GERAL DO SISTEMA

Neste capítulo são descritas as principais características computacionais e funcionalidades desenvolvidas para fornecer uma interface amigável e intuitiva para o usuário. Estão presentes também características específicas do desenvolvimento, que facilitará o entendimento da lógica operacional geral do sistema.

4.1. ASPECTOS GERAIS

Softwares são desenvolvidos para interagir com variáveis e lógicas de todo o sistema. Diversas plataformas e estruturas podem ser usadas para se desenvolver um programa.

A programação pode depender muito de qual o objetivo se deseja alcançar. Quando se deseja fazer programas para ambientes com alta capacidade computacional e grande espaço para armazenamento de dados, os computadores pessoais (PC) fornecem diversas opções que podem ser fáceis e eficientes e/ou complexas e elegantes.

Já em ambientes onde se necessita de sistemas compactos e pequenos módulos, utiliza-se sistemas embarcados. Este nome é devido à utilização de pequenas centrais de processamento e armazenamento de dados, como os microcontroladores. O processamento destes componentes é geralmente muito limitado e o espaço para se trabalhar com os dados pode ser mínimo, se comparados aos PCs. Deve-se, portanto, observar o método de programação, bem como sua eficiência e objetividade.

4.2. SOFTWARE CLIENTE EM PC

A utilização de um *software* supervisor completo seria uma boa opção para se realizar o monitoramento deste projeto, no caso de um sistema mais complexo. Para isso existem diversos supervisórios privados e gratuitos, como o Elipse da ElipseSoftware, iFix da GE, InTouch da Wonderware, Factory Link da USData (agora UGS), WinCC da Siemens, IGSS (gratuito em versões mais simples) ou o Lintouch (gratuito e opera em linux) (ASSIS, 2006).

Contudo, um software desenvolvido pessoalmente para a fase inicial do projeto foi mais direto e simples operar, atingindo o objetivo e economizando tempo, comparado à integração de um supervisor adquirido que necessita serem estudados protocolos e a adequação a eles.

Há também a necessidade de se executar o monitoramento em qualquer computador de baixo poder computacional. Isso torna o projeto mais portátil e eficaz.

Para isso é preciso se preocupar com a diversidade de linguagens e plataformas de desenvolvimento de programas, além de existir uma diversidade de sistemas operacionais. Para que o utilizador não se restringisse neste sentido, inicialmente foi desenvolvido um programa (Fig. 4.1) na linguagem JAVA, da empresa SUN (atualmente vendida para o ORACLE). É possível ainda utilizar o OpenJDK (implementação de código aberto da plataforma JAVA).



Figura 4.1. Primeira versão do *software* cliente, em JAVA.

O desenvolvimento de um software supervisor objetivo, realizado em linguagens de alto nível e boa portabilidade, foi um passo inicial para se trabalhar com a integração entre os diversos sistemas deste projeto. O programa em JAVA pode ser interpretado e executado em vários sistemas operacionais, possuindo uma fácil programação e ainda facilitado pela utilização do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) NETBEANS.

Entretanto, outro ambiente, linguagem e método de programação diferentes foram mais atrativos do que o trabalho já realizado em JAVA. O IDE QT Creator, da empresa

NOKIA, que mostrou ser mais prático, rápido e intuitivo. Dessa forma o projeto deixou de operar com a linguagem JAVA e passou a trabalhar com a nova IDE, também com licença gratuita, possível de se utilizar neste projeto.

O QT é, também, amplamente utilizado e multiplataforma (executa em Windows, Linux e Mac OS X). Possui diversas ferramentas disponíveis (como navegador de páginas, botões, *displays* e outros), vários fóruns de ajuda e troca de conhecimentos, boa documentação e exemplos práticos. Todas essas características associada à ampla capacidade da linguagem C/C++ faz esta IDE ideal para este projeto.

O funcionamento de todo o programa é baseado na lógica de *signals*, *slots* e *forms* que permitem uma rápida organização e programação do *software*. Quando ações são efetuadas pelo utilizador, são gerados sinais que estão associados aos métodos chamados que tratarão aquele evento. É possível gerar sinais sem a ação do usuário, que serão tratados pelos seus métodos associados.

A figura 4.2 apresenta a interface principal desenvolvida para este projeto, denominada Hidrauto, para a programação e administração de todo o sistema de irrigação, de forma remota e online.

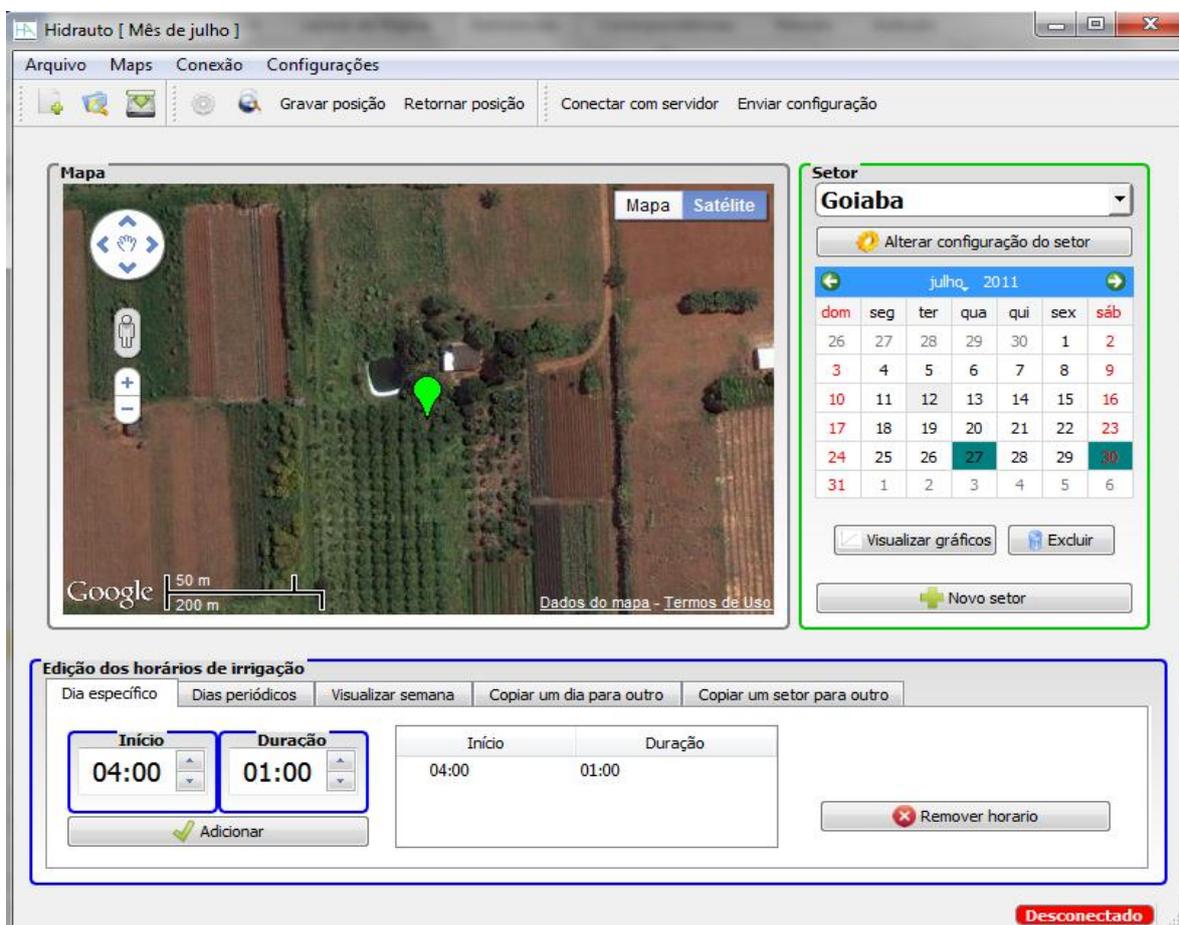


Figura 4.2. Software de monitoramento e programação do sistema de irrigação automatizado.

A seguir será detalhada cada opção do programa desenvolvido para o usuário.

4.2.1. OPÇÕES E BARRA DE ATALHOS

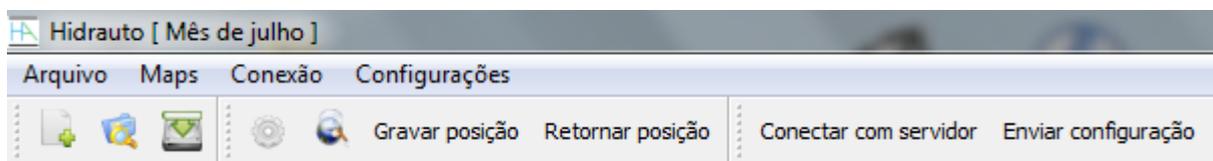


Figura 4.3. Menu e barra de atalhos Hidrauto.

O programa possui ainda uma barra de atalhos, facilitando o rápido acesso das opções disponíveis.

Na opção “Arquivo” (Fig. 4.4) é possível gerenciar o armazenamento dos dados configurados no programa. Pode-se abrir um projeto antigo, salvar o projeto atual, salvar o projeto atual em outro local e ainda iniciar um novo projeto de irrigação, bem como fechar todo o programa. O programa sempre avisa de que configurações alteradas poderão ser perdidas, caso o projeto atual não esteja salvo. O painel de escolha de arquivos/local, aberto para as opções “Abrir”, “Salvar como” e “Salvar” (quando primeira vez) é sempre no formato padrão de cada sistema operacional.

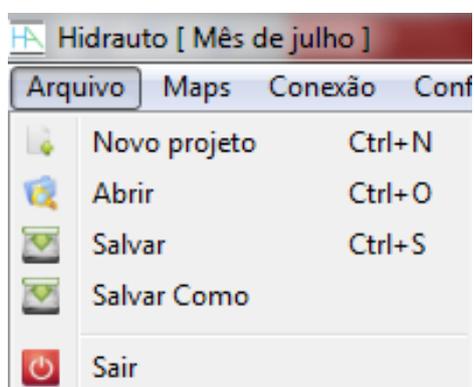


Figura 4.4. Aba da opção Arquivo.

A opção “Mapas” (Fig. 4.5) oferece a possibilidade de pesquisar um local no mapa disponível pelo programa (utiliza a API Google Maps).

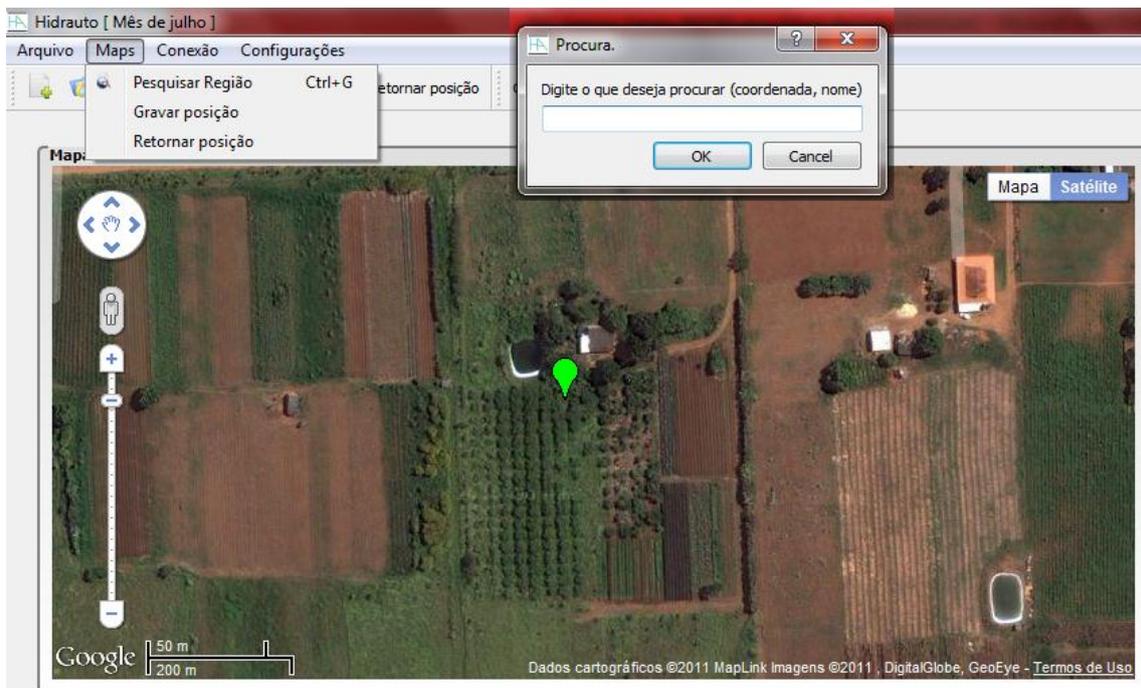


Figura 4.5. Aba da opção Maps.

Encontrado o local desejado, como é o caso da chácara da figura 4.5, pode-se salvar este ponto clicando em “Gravar posição”. Caso o usuário mexa no mapa, alterando a distância visual (*zoom*) ou posição, é possível retornar a este ponto gravado clicando em “Retornar posição”.

Existe ainda a opção de ver dentro do mapa ou satélite, clicando sobre o marcador, qual o nome do setor que ele representa (Fig. 4.6).



Figura 4.6. Identificação do marcador dentro do mapa.

Todo esse processo só foi possível pela integração da linguagem de marcação de hipertexto (HTML), escrito neste projeto, incorporando a linguagem JavaScript com a API Google Maps, junto ao programa desenvolvido em QT, utilizando a ferramenta de navegação de páginas (QWebView). Para isso, é necessário que, na linguagem JavaScript,

seja escrita funções (as quais o QWebView terá acesso) para criar e manipular os marcadores de setor, bem como todo o mapa.

A opção “Conexão” (Fig. 4.7) oferece funcionalidades que serão mais bem explicadas posteriormente. Ele oferece conectar e desconectar com o servidor do sistema, bem como transmitir todas as configurações realizadas para a programação da irrigação. Quando o processo de transmissão é inicializado, surge uma barra de progresso ao lado, indicando a atual situação da transferência dos dados.

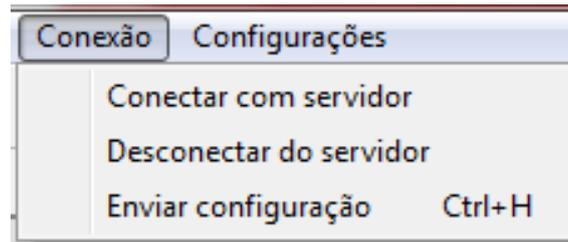


Figura 4.7. Aba da opção Conexão.

Por fim, a opção “Configurações” (Fig. 4.8) permite ao usuário definir parâmetros (Fig. 4.9) que irão determinar o modo de funcionamento do sistema de irrigação.

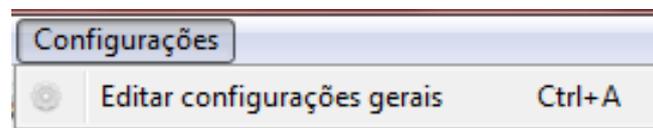


Figura 4.8. Aba da opção Configurações.

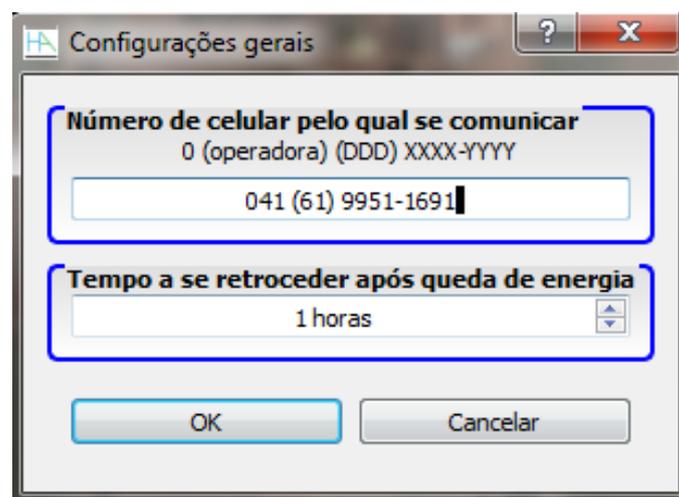


Figura 4.9. Parâmetros da Aba Configurações.

4.2.2. CAMPO SETOR DO PROGRAMA

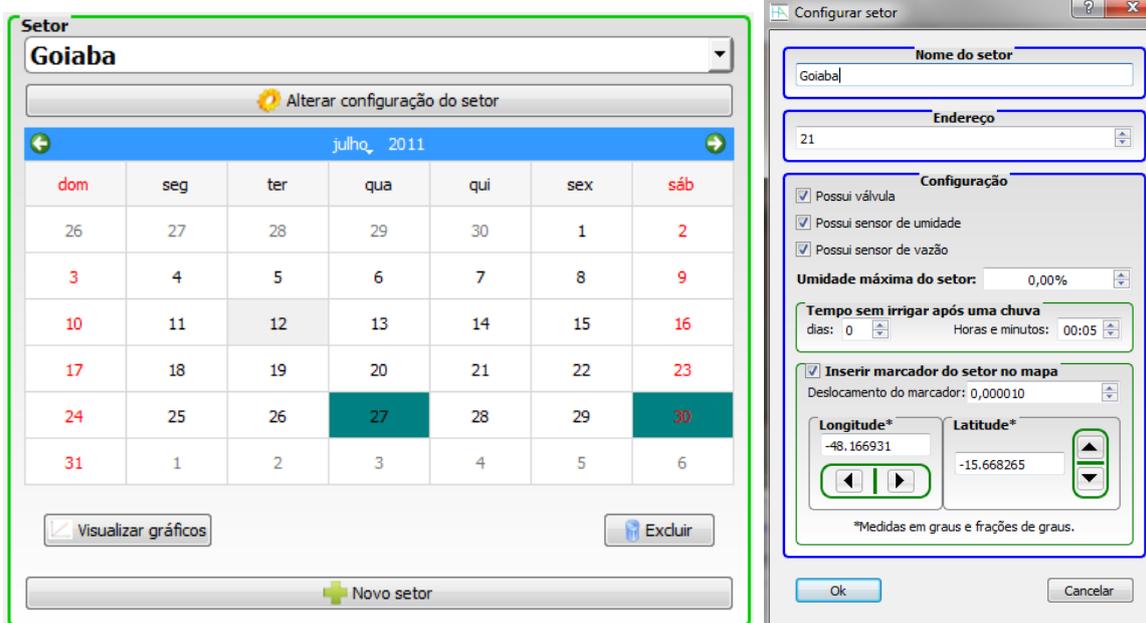


Figura 4.10. Campo de configurações do setor.

No campo da figura 4.10(a) é possível criar, alterar e visualizar diversos parâmetros de cada setor de irrigação disponível. É importante observar que para o correto funcionamento do sistema, ao se criar um novo setor, deve-se ter obrigatoriamente um módulo setor (*hardware*) conectado ao módulo central. O sistema é robusto para ignorar a não existência de um setor criado erroneamente, mas isto não é recomendado para o devido funcionamento geral.

No botão “Novo setor” é possível se determinar as configurações de um setor que se deseja inserir no sistema de irrigação automatizado. Enquanto no botão “Alterar configuração do setor” pode-se modificar todos estes parâmetros. Ambos botões exibem a tela de configuração da figura 4.10(b).

Nenhum setor pode possuir:

- Nome igual a outro setor
- Endereço igual a outro setor
- Nome vazio

Nesta tela da figura 4.10(b) há a opção de se alterar a posição do marcador que representa o local e situação das válvulas ligadas ao setor configurado. Quando o programa está conectado ao servidor e o módulo central está operando corretamente e conectado, o

setor que estiver ativo irá se tornar azul e começará a pular, indicando que aquele setor está ativo, ou seja, irrigando. O Processo lógico desta tarefa será explicado no capítulo 5.

Existe ainda o botão “Visualizar gráficos” para monitoramento dos parâmetros gerais na forma gráfica, apresentada na tela “Gráficos do sistema” (Fig. 4.11).

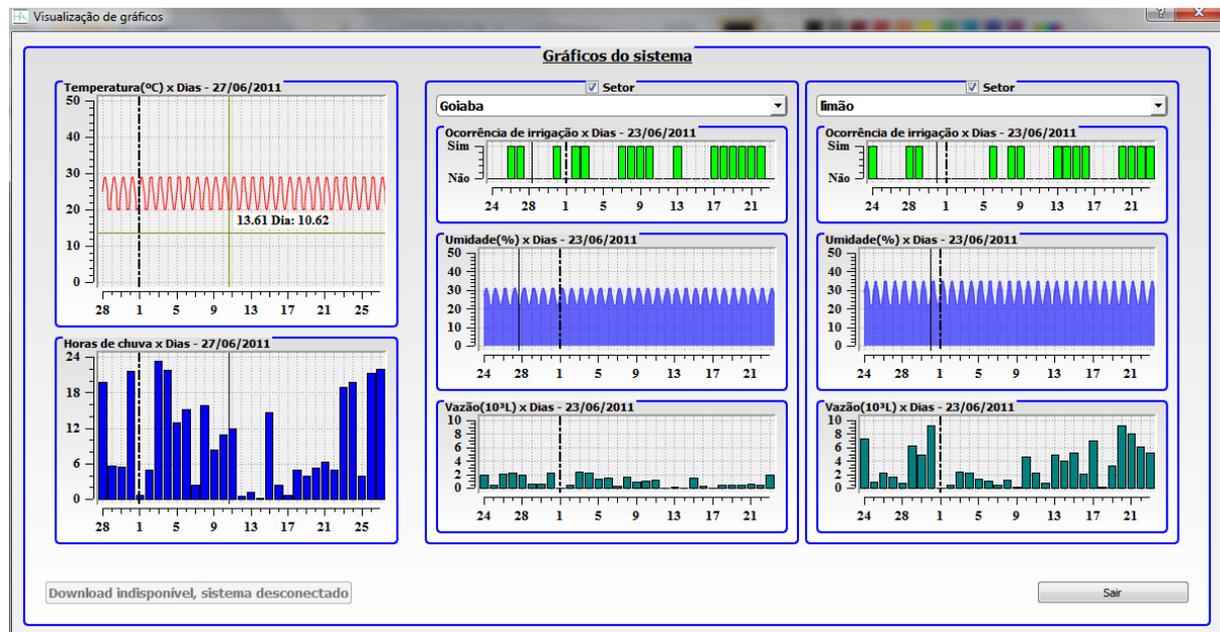


Figura 4.11. Tela de gráficos gerais do sistema (valores simulados).

Nesta tela é possível observar os parâmetros do mês para cada dia, como temperatura, horas totais em que o sensor de chuva esteve ativo, Ocorrência de ativação do setor, umidade do solo e quantidade de água aplicada. Os gráficos possuem uma linha tracejada que indica o dia primeiro do mês atual. Assim, o dia atual está sempre mais a direita e os dados anteriores ao dia primeiro pertencem ao mês anterior.

Para facilitar a manipulação dos gráficos e visualização dos dados, cada gráfico possui ampliação individual, linhas cruzadas paralelas aos eixos X e Y, linhas coincidentes entre gráficos da mesma vertical, texto central da medida sob o ponto do cursor e possibilidade de comparação entre dados de dois setores diferentes.

Os dados devem ser requisitados pelo botão “Download”, quando o sistema estiver conectado. Após salvar o projeto, ficam guardados até que se baixem novos dados e os salve novamente.

Para esta complexa visualização e manipulação dos gráficos é necessário a utilização de um complemento para o QT, chamado Qwt (ambos devem ser recompilados para se integrarem corretamente). Esta ferramenta oferece uma série de novos componentes que permitem realizar um melhor manuseio de gráficos.

Por fim, o botão “Excluir”, que apaga do sistema as configurações do setor selecionado, certificando-se, antes, da confirmação do usuário.

4.2.3. CAMPO DE EDIÇÃO DE HORÁRIOS DE IRRIGAÇÃO

Este campo possui cinco abas diferentes, responsáveis por realizar a configuração dos horários. Estas abas estão associadas ao item selecionado no campo setor e ao seu calendário.

Ao selecionar o dia do calendário (isto é feito clicando no dia desejado) e configurar um horário de início e duração na primeira aba (Fig. 4.12), automaticamente surgirá uma cor de fundo escura naquele dia, indicando que nele ocorrerá irrigação em pelo menos um momento (Fig. 4.10(a)). A remoção de todos os horários de irrigação de determinado dia também irá automaticamente remover a cor de fundo.

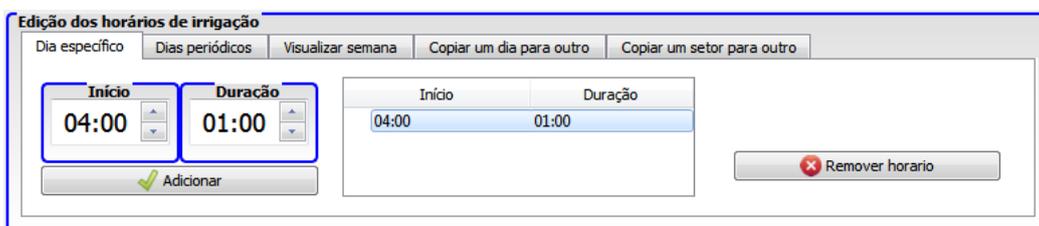


Figura 4.12. Primeira Aba: configuração de horários do dia selecionado.

Pode haver diversos horários de irrigação no mesmo dia, contanto que não haja choque de intervalos de ativação ou ultrapasse o total de 70 horários por setor.

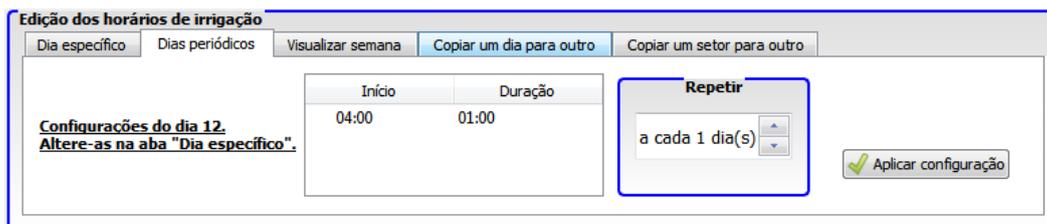


Figura 4.13. Segunda Aba: configuração de horários com periodicidade de dias.

A segunda aba permite criar configurações periódicas, como irrigar a cada dois dias.

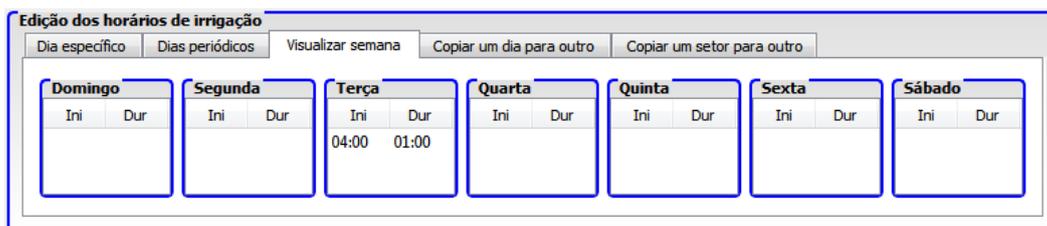


Figura 4.14. Terceira Aba: visualização dos horários na semana do dia selecionado.

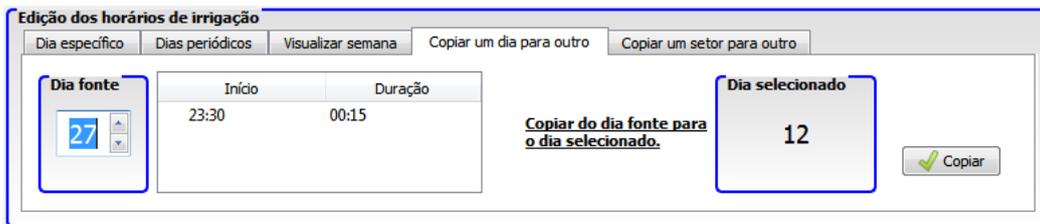


Figura 4.15. Quarta Aba: copia de configuração de um dia fonte para o selecionado.

A quarta aba permite copiar um dia fonte para o selecionado, fazendo configurações não periódicas mais facilmente.

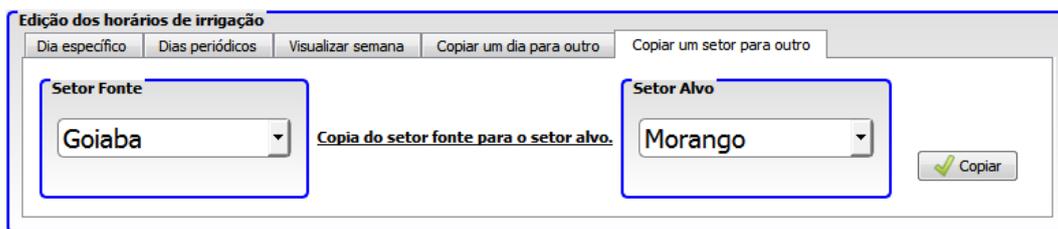


Figura 4.16. Quinta Aba: copia de todos os horários de um setor para outro.

Apesar da possibilidade de se copiar todos os horários de um setor para outro, neste sistema é proibida dupla ativação de setores, ou seja, em nenhum momento pode haver dois setores ativos simultaneamente. Caso ocorra, o sistema avisa sobre o erro e não permite que seja enviada a configuração problemática.

4.3. SOFTWARE EMBARCADO

Existem diversos IDE para se trabalhar com microcontroladores, possuindo ferramentas e bibliotecas que facilitam todo o desenvolvimento. Para o ATMEGA328p é muito comum se utilizar o WINAVR (comumente programada na linguagem C), pois permite desenvolver projetos organizados, bem estruturados e com fácil acesso a maiorias das configurações de mais baixo nível deste componente. Estas IDE também facilitam o processo de gravação e compilação, integrando todos em um só programa.

No entanto, neste trabalho foi utilizado a IDE Arduino. Nela é possível se programa na linguagem C/C++, fornecendo maiores facilidades, além de bibliotecas prontas. Neste ambiente é possível realizar uma só programação portátil para diversos microcontroladores, permitindo uma rápida migração.

Ao passo que essa IDE fornece mais facilidades, ela também ocupa maior espaço de programação, assim como maior espaço na memória RAM (Memória de Acesso aleatório). Tendo em vista que o microprocessador utilizado possui apenas 2048 bytes de RAM, deve-se evitar ao máximo código com excesso de variáveis e sequencias de letras (*Strings*) muito

grandes. Quanto mais direto e objetivo for o código, mais estável irá se comportar o componente.

Quando programas são feitos para PC, geralmente recomenda-se evitar o uso de variáveis globais e outras características consideradas má prática de programação. Já em sistemas embarcados, a forma de armazenamento e organização do sistema permite e favorece a utilização de algumas dessas “más práticas”, pois elas evitam o uso desnecessário de variáveis e ainda aumentam a eficiência do código. A maioria das variáveis criadas ocupa espaço permanente na memória RAM, o que justifica utilizar uma variável global ao uso de várias locais para cada método.

A orientação a objeto, característica fornecida pela linguagem C/C++, favorece a boa prática de programação e melhor organização do sistema. Porém, em sistemas embarcados, essa prática pode ocupar mais espaço de memória do que a programação tradicional de funções em C.

Portanto, ao se programar em microcontroladores é sempre necessário observar o quanto de memória esta sendo utilizada, para saber como e o que é possível se inserir neste componente.

A IDE Arduino utilizada não possui uma fácil ferramenta de identificação de erros e/ou mapeamento da memória como em outros disponíveis no mercado. O que justifica seu uso é a facilidade de se adquiri-lo, sem custo (gratuito), bibliotecas disponíveis, linguagem de programação, portabilidade e facilidade de integração com a gravadora utilizada, citada em 3.5.2.

A estrutura geral de funcionamento do *software* embarcado é apresentada pela figura 4.17. Nela é possível associar que existe um processamento principal periódico que chama métodos de suas bibliotecas, responsáveis por determinado controle do sistema. A estrutura funciona semelhantemente no módulo setor. Portanto são dois *softwares* com funcionamentos parecidos.

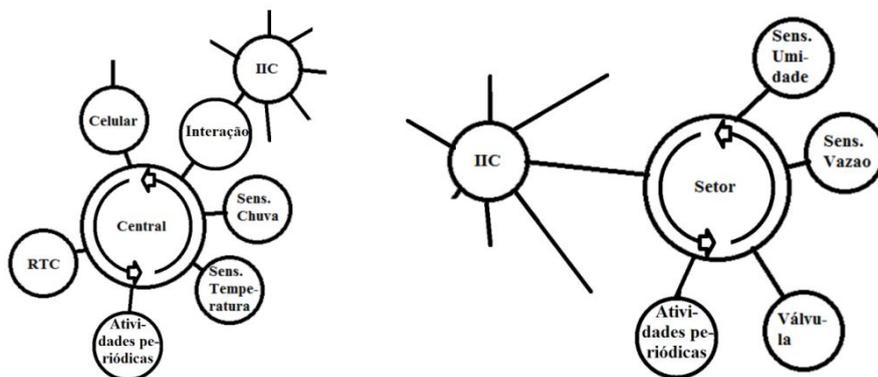


Figura 4.17. Estrutura de funcionamento dos *softwares* central e setor, com suas bibliotecas.

Devido a quantidade de tarefas e variáveis necessárias no módulo central, toda a programação foi feita na linguagem C, com variáveis globais e, para salvar espaço em RAM, as constantes de frases (*Strings*) foram deixadas na memória de programação, utilizando funções especiais para sua leitura e diretivas específicas para seu armazenamento (PROGMEM).

Nestes softwares, o armazenamento de dados em memória é feito de forma definida e com posições estáticas. Em alguns casos, a manipulação bit a bit foi necessária para economia de espaço em memória.

A tabela 4.1 apresenta as posições e o que está guardado na memória EEPROM (Memória programável de somente leitura eletricamente apagável, ou seja, memória não volátil) do módulo central, que somente possui 1024 *bytes* de espaço.

Tabela 4.1. Estrutura de armazenamento na memória EEPROM do módulo central.

Posição (0 a 1023)	Informação armazenada
0 a 10	Número de celular configurado para enviar mensagens
11	Tempo de retroação após queda de energia
12 a 51	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
53	Dígitos do século atual, 2011 → 20
54 a 103	Número de setores conectados, configurados pelo <i>software</i> cliente
104	Ultimo dia de registro, utilizado para controle de registros
105 a 476	Registros de dados de temperatura
477 a 507	Registros de dados da chuva
508 a 1023	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES

Uma diferença importante no modelo desses módulos se dá também na organização e armazenamento de seus parâmetros. As posições de cada um deles e seu significado na memória EEPROM do módulo setor, que possui 1024 *bytes* de espaço, é apresentado na tabela 4.2.

Tabela 4.2. Estrutura de armazenamento na memória EEPROM do módulo setor.

Posição (0 a 1023)	Informação armazenada
0 a 4	Informação sobre o módulo e periféricos conectados: presença de sensor de umidade (1 ^o <i>byte</i>), presença de sensor de vazão (2 ^o <i>byte</i>), RESERVADO (3 ^o e 4 ^o <i>byte</i>), presença de válvulas (5 ^o <i>byte</i>)
5	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
6	Ultimo dia de registro, utilizado para controle de registros
7 a 9	Informação sobre duração da inibição pela ocorrência de chuva: número de dias (1 ^o <i>byte</i>), horas (2 ^o <i>byte</i>), minutos (3 ^o <i>byte</i>)
10 a 12	Caso ocorra chuva, esses três bytes indicam da mesma forma o dia, hora e minuto do fim desta inibição
13 a 30	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
31 a 216	Registros de dados da umidade (1 <i>byte</i> por medida)
217 a 371	Registros de dados de vazão e ocorrência de irrigação (6 <i>bytes</i> por dia, sendo 1 indicando ocorrência de irrigação, 1 reservado e 4, tipo <i>unsigned long</i> , indicando a vazão)
372 a 557	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
558 a 743	RESERVADO PARA FUTURAS APLICAÇÕES
744 a 1023	Configuração de horários de irrigação (cada horário utiliza 4 bytes, por meio de manipulação de bits, organizados segundo a tabela 4.3)

Para se inserir um maior número de programações de horário foi utilizada a manipulação de bits. Esse artifício permite determinar diferentes significados para cada bit e assim aproveitar melhor todos eles, ao invés de se usar somente conjuntos de 8 em 8 *bits* (*byte a byte*).

O processo de manipulação exige mais processamento e operações do microprocessador, como deslocamento de bits e comparações, mas dada as circunstâncias de falta de espaço, este é um custo aceitável e quase sempre necessário em sistemas embarcados.

Tabela 4.3. Posição dos bits e informação representada para um horário de irrigação armazenado em memória.

Posição (0 a 31)	Informação armazenada
0 a 8	Dia do mês
9 a 13	Horas de início
14 a 19	Minuto de início
20 a 24	Hora de término
25 a 30	Minuto de término

4.4. SOFTWARE SERVIDOR

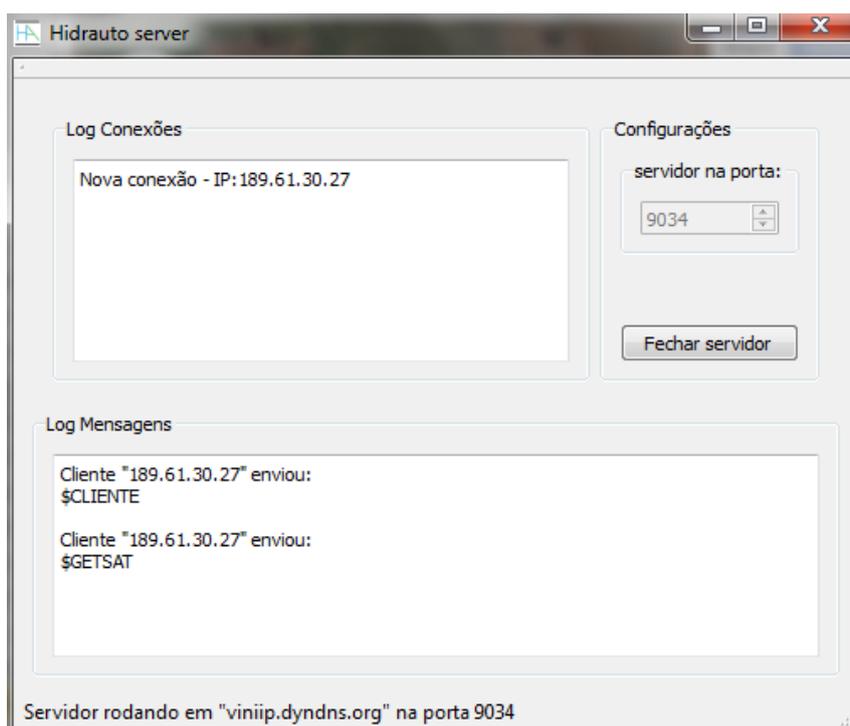


Figura 4.18. Tela de interface do *software* servidor.

A funcionalidade principal deste programa é gerenciar e fornecer conexão constante aos *softwares* cliente e ao módulo comunicador. A segurança e o armazenamento de informações, como banco de dados, não é o foco deste trabalho, por isso não foram inseridos neste contexto.

Para fins de desenvolvimento inicial do projeto, um *software* servidor simples foi desenvolvido e instalado em um computador residencial, de baixo poder computacional. No atual sistema, o usuário não necessita realizar identificação.

Como o endereço IP tanto do cliente, quanto do módulo comunicador e servidor são variáveis para cada inicialização, é necessário a utilização de uma referência constante para a conexão entre eles. Utilizando um sistema de nomes de domínios (DNS), serviço disponibilizado por outro servidor (DYNDNS), é possível se manter esta referência atualizada. O roteador LINKSYS possui uma importante ferramenta que atualiza as informações no servidor DNS configurado, toda vez que um novo IP é adquirido. Quando o nome associado ao DNS é requisitado, este retorna o endereço de IP. Desta forma, o *software* cliente pode se conectar ao servidor sempre pelo mesmo DNS, assim como o módulo comunicador.

O atual servidor registra as conexões existentes e repassa todas as mensagens recebidas do cliente para o módulo comunicador e vice versa. Existem ainda as mensagens de sincronização, requisitadas pelo módulo central. Elas permitem que o módulo se mantenha atualizado com data e hora referentes ao seu fuso horário.

CAPÍTULO 5 – INTEGRAÇÃO E FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA

Neste capítulo é descrito todo o processo de integração, comunicação e lógica de operação do sistema, ligando e concretizando todas as informações citadas nos capítulos anteriores. Com isso, o leitor será capaz de operar qualquer parte deste, bem como visualizar sua eficiência para a irrigação de precisão.

5.1. ASPECTOS GERAIS

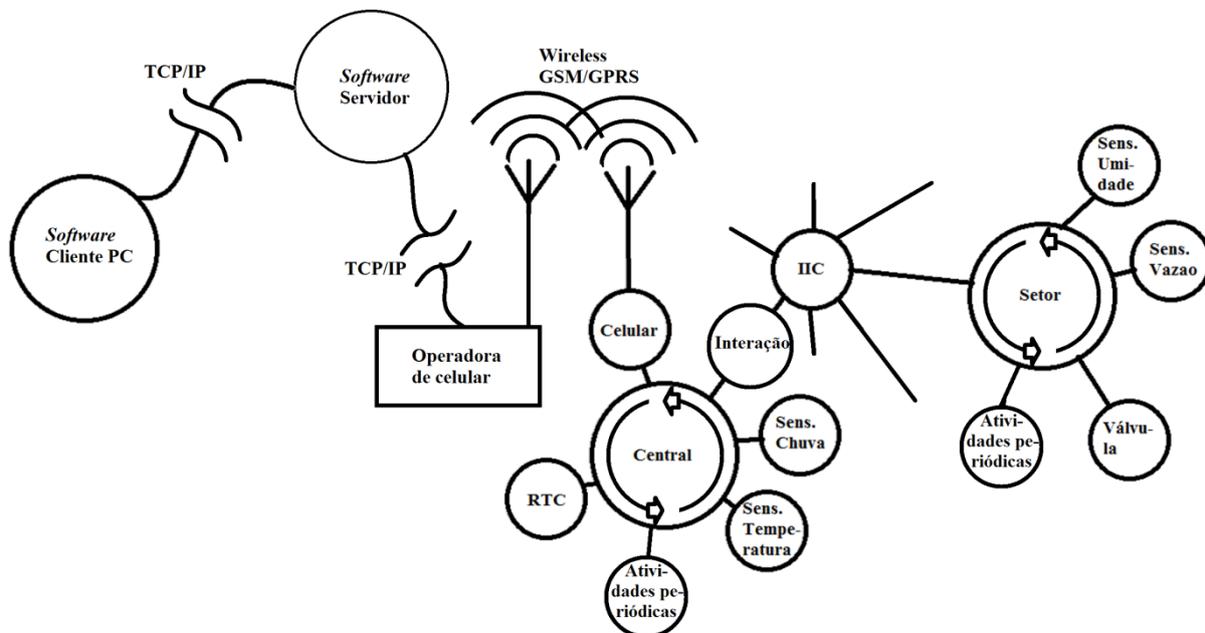


Figura 5.1. Diagrama geral de funcionamento do sistema.

Todos os componentes e meios de comunicação foram explicados nos capítulos anteriores, mas o mais importante é a lógica de operação. Esta determina o funcionamento de todo o sistema.

É importante comentar que as tarefas seguintes ainda se encontram incompletas e, portanto, não estão em exercício no sistema:

- Os dados de sensor nos setores estão sendo lidos e armazenados, mas a forma de envio para a central não está finalizada.
- O controle de umidade não está sendo realizado, ainda que a leitura e armazenamento estejam funcionando corretamente.

- Este sistema possui parte de um processo de escalonamento das atividades não executadas durante uma queda de energia prolongada, ou seja, irrigações não realizadas por falta de energia serão processadas posteriormente conforme configuradas suas durações. A estrutura para isso já está disponível, mas o processo ainda não foi desenvolvido. Depois de resolvido o escalonamento, o módulo central enviará uma mensagem de texto ao telefone configurado, comunicando o ocorrido.

Os demais procedimentos estão funcionando corretamente, e para compreender todo o sistema, neste capítulo será descrito o processo lógico, as mensagens trocadas entre os módulos e a periodicidade de todas as tarefas.

Para um melhor entendimento da estrutura das mensagens, cada sub índice descreve as informações recebidas e somente apresenta o que envia. Portanto, caso se deseje saber o que significa cada valor dentro da frase enviada, procure informação no módulo que a recebe.

5.2. FUNCIONAMENTO DO MÓDULO CENTRAL

5.2.1. SINCRONIZAÇÃO CENTRAL DA DATA E DA HORA

O processo de sincronização geralmente é feito com algoritmos de verificação de atrasos e tempo de comunicação, para estipular o valor mais próximo possível da medida do tempo. Neste trabalho, atrasos de alguns segundos ou mesmo poucos minutos em relação ao servidor principal não é um problema, visto que todo o sistema não depende de uma exatidão bem definida de horário. A única e principal característica na contagem de tempo do sistema é o sincronismo desta medida entre o módulo central e setor.

A cada 5 minutos o módulo central requisita uma mensagem de configuração. Este tempo pode ser bem maior, mas para fins de definição foi escolhido esse período inicial. A mensagem enviada pela central é no formato "\$GETSYN", o servidor automaticamente responde com as informações no formato "\$SRVSYN,HHMMSSDDMMAAAA", onde HH é a hora, MM os minutos, SS os segundos, DD o dia, MM o mês e AAAA o ano corrente atualizado. Esses dados são enviados segundo a hora UTC (Tempo Universal Coordenado). Por exemplo:

→ Módulo envia: \$GETSYN

→ Servidor responde: \$SRVSYN,05000030032011 → 05:00:00, dia 30, Fev de 2011

O módulo traduz as informações e verifica se há divergência nas medidas de tempo locais e recebidas. Caso essa diferença seja maior que 1 minuto, ele automaticamente corrige para o horário e data recebidos.

5.2.2. FUNCIONALIDADES GERAIS

O módulo central pode armazenar até 50 endereços de setores conectados a ele. Outras tarefas periódicas são também realizadas, podendo ser comunicações, instruções ou medições. Essas tarefas estão listadas a seguir:

- Armazenar 31 dias de dados de temperatura, coletados de 2 em 2 horas.
- Armazenar 31 dias de dados sobre a chuva, cada um correspondendo ao tempo total em que o sensor de chuva esteve ativo durante aquele dia, coletados de 6 em 6 minutos, totalizando no máximo 24 horas.
- A cada 5 minutos é feita uma sincronização entre o módulo central e os módulos setores, enviando a mensagem "\$SYN,HHMMSSDDMMAAAA" (semelhante à sincronização central).
- A cada minuto é verificado a situação do sensor de chuva, caso este acuse positivamente, cada setor é avisado pela comunicação IIC, por meio da mensagem "\$CVA".

5.2.3. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES

Quando o módulo central recebe alguma mensagem de comando, ela gera uma sequência de tarefas, que podem ou não gerar resposta ao módulo emissor. Um exemplo disso é a conexão de um novo setor. Sempre que um setor é conectado na linha do sistema central, é gerado um pedido de sincronismo geral dos módulos, atualizando o relógio do novo módulo.

O *software* cliente também envia comandos, que serão mais bem explicados posteriormente. A resposta para cada um desses comandos será descrita a seguir.

Quando ocorre a recepção de uma mensagem:

- **\$HDACN1,(Número de setores),(Config. do setor),(Config. do setor)...**: o módulo central decodifica e envia as configurações de periférico para cada módulo setor citado nesta mensagem. Exemplo:

\$HDACN1,02,04211001,02101001 → central envia,

Ao setor de endereço 42 → \$CN1,11001

Ao setor de endereço 21 → \$CN1,01001

Ao servidor → \$RCVED

- **\$HDAHOR,(Endereço do setor),(Número de horários),(Horário),(horário)...**: o módulo central interpreta, divide em frases sequenciais menores e envia as definições de horários para o setor de endereço citado. Exemplo:

\$HDAHOR,021,02,0108000900,2923000100 → central envia,

Ao setor de endereço 21 → \$HOR,01,0108000900,2923000100

Ao servidor → \$RCVED

- **\$HDACN2,(Número de telefone),(Tempo a retroceder após reset),(Número de setores),(Config. Tempo de inibição após chuva do setor)...**: o módulo central traduz, armazena o número de telefone, o tempo a retroceder e envia as definições de tempo de inibição para cada setor de endereço citado. Exemplo:

\$HDACN2,0416199511691,5,02,021020800,042011000 → central envia,

Ao setor de endereço 21 → \$CN2,020800

Ao setor de endereço 42 → \$CN2,011000

Ao servidor → \$RCVED

- **\$GETSAT**: o módulo central envia para cada setor uma requisição (“\$ATV”) de sua situação, caso esteja irrigando, responde positivamente, se não responde negativamente. Ao coletar quais setores estão ativos, a central retorna ao servidor uma mensagem com estas informações. Exemplo:

\$GETSAT → central pesquisa e, no caso do setor 21 estar ativo, envia,

Ao servidor → \$SETATV,01,21

- **\$GETINF,(Número de setores),(endereço),(endereço)**: o módulo central reuni os dados dos sensores de temperatura, chuva e, caso o número de setores recebido seja maior que zero, os dados dos sensores de umidade, vazão e ocorrência de ativação de cada setor citado. Exemplo:

\$GETINF,01,21 → central reuni os dados e envia ao servidor,

Primeira mensagem → \$CNTINF,10062011001002003004...

Segunda mensagem → \$SETINF,021,10062011001002003004...

Durante o envio, podem ocorrer erros de recepção das informações ao microcontrolador. Quando isso ocorre, a central automaticamente envia ao servidor um aviso (“\$ERRRES”) de erro, que irá notificar o usuário, pedindo que ele reenvie as configurações.

5.3. FUNCIONAMENTO DO MÓDULO SETOR

5.3.1. SINCRONIZAÇÃO SETOR DA DATA E DA HORA

Semelhante a sincronização central, o setor ajusta seu relógio toda vez que recebe uma nova mensagem de hora e data no formato “\$SYN,HHMMSSDDMMAAAA”. A diferença é que não é feita nenhuma verificação do relógio atual, todo comando é aceito e executado segundo os valores recebidos, garantindo um relógio mais próximo do relógio central.

5.3.2. FUNCIONALIDADES GERAIS

O módulo setor é projetado para ficar sob a terra, próximo à válvula solenoide em que irá atuar. Ele deve ser impermeável e pequeno.

Pode haver até 70 horários de irrigação por setor, programados via *software* cliente. A duração máxima de cada horário é de 24 horas.

Cada setor possui também informações sobre quanto tempo ele deve ficar inibido, na ocorrência de chuva e quais periféricos estão ligados a ele, por meio de dados enviados pelo *software* cliente.

Este módulo também possui suas tarefas e dados, que são gerenciados da seguinte forma:

- Armazenar 31 dias de dados sobre a umidade do setor medido, coletados de 4 em 4 horas em cada dia. Esses dados desprezam as casas decimais, pois não se tem tamanha precisão para garantir décimos de porcentagem.
- Armazenar 31 dias de dados sobre a ocorrência de irrigação, permitindo confirmar o programa configurado pelo usuário.
- Está previsto o armazenamento de 31 dias de dados sobre a vazão de água no setor, coletados constantemente, indicando o volume total de água aplicado no dia.

5.3.3. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES

Da mesma forma que a central, este módulo responde a comandos, mas não envia nenhuma outra mensagem, a não ser quando requisitado dados e *status*.

Quando ocorre a recepção de uma mensagem:

- **\$SYN,HHMMSSDDMMAAAA**: o módulo setor traduz a frase e sincroniza seu relógio, como já mencionado anteriormente.

- **\$CN1,(Presença de sensor de umidade),(Presença de sensor de vazão),(Reservado),(Reservado),(presença de válvulas solenoides):** o módulo setor decodifica e armazena os dados recebidos das configurações de periféricos.
- **\$CN2,(dias de inibição),(horas de inibição),(minutos de inibição):** o módulo setor interpreta os valores e armazena esses dados em suas configurações na memória.
- **\$HOR,(Sequencia da frase),(Horário),(Horário)...:** o módulo setor identifica, codifica (manipulação de bits) e armazena em memória os horários recebidos na posição referente à sequencia da frase. Cada mensagem possui no máximo dois horários, finalizando a transmissão sempre com “0000000000”.
- **\$ATV:** Este comando é sempre acompanhado de uma requisição de *status*, portanto ele indica ao módulo setor que a próxima requisição de dados será para saber se este está ou não irrigando no atual momento.
- **\$GET:** Este comando é semelhante ao “\$ATV”, mas ele indica ao módulo setor que a próxima requisição de dados será para receber todos os valores armazenados pelos sensores deste setor. Este processo ainda não está completamente desenvolvido, portanto não é executado.
- **\$CVA:** o módulo setor imediatamente se desativa, cortando a alimentação das válvulas solenoides, caso estejam operando. Este processo inibe a possibilidade de irrigação durante o tempo configurado pelo comando “\$CN2”.

5.4. FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE CLIENTE

5.4.1. FUNCIONALIDADES GERAIS

Além da rápida e fácil configuração geral do sistema de irrigação, o usuário pode administrar certos parâmetros de seu projeto.

A opção de salvar e abrir arquivos, contendo todas as configurações realizadas para o sistema de irrigação do usuário, possibilita transportar e trabalhar seus projetos em qualquer local ou plataforma que execute o programa. Sem a necessidade de uma conexão a internet.

Existindo a possibilidade de conexão, surgem outras funcionalidades que completam o sistema. Como baixar dados de sensores, configurar os horários de irrigação de cada setor e visualizar a atual situação de ativação deles.

Este *software* possui somente uma tarefa periódica, quando conectado ao servidor: requisitar ao módulo central quais setores estão ativos, pela mensagem “\$SETATV”. Este

processo é repetido a cada 20 segundos. Quando um setor é identificado como ativo, seu marcador, caso configurado, inicia um movimento e altera sua cor para azul.

O botão “Enviar configurações”, quando o sistema está conectado ao servidor, também inicia um processo temporário de envio de dados. Este processo se dá pela apresentação da barra de progresso, pausa temporária da tarefa periódica de envio “\$SETATV” e início do contador de tempo limite, o qual acusa quando 20 segundos se passa sem respostas. Quando este tempo se esgota, é feita uma nova tentativa com um prazo maior para resposta, por até no máximo mais três tentativas. Se nenhuma resposta for obtida ainda, é gerado um sinal de erros para o usuário.

Assim o cliente envia inicialmente a mensagem de configuração dos periféricos (iniciada por “\$HDACN1”) e aguarda uma resposta (“\$RCVED”) do módulo central. Este processo se repete para as mensagens “\$HDAHOR” de cada setor e “\$HDACN2”, finalizando o envio dos parâmetros.

O processo de aquisição dos dados de sensor é feita de forma similar, diferenciando somente na mensagem enviada (“\$GETINF”) e na ausência de tentativas (tempo limite único de 1 minuto). Na tela de visualização de gráfico, é possível definir quais e quantos setores serão solicitados, sendo o gráfico da temperatura e da chuva sempre atualizados juntamente.

5.4.2. TAREFAS REALIZADAS POR REQUISIÇÕES

Algumas mensagens são enviadas pelo servidor, comunicando ao usuário sobre certo aviso. Isso é feito pelo comando inicial “\$AVISO” seguido da informação a ser transmitida.

Há ainda o aviso de erro de transmissão (“\$ERRRES”), enviado pelo módulo central. Este aviso somente comunica ao usuário sobre a necessidade de se reenviar os dados.

CAPÍTULO 6 – SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste capítulo foram reunidos todos os resultados obtidos já citados juntamente com alguns comentários a respeito dos processos necessários neste trabalho.

6.1. ASPECTOS GERAIS

O trabalho realizado envolveu a integração de diversos materiais e procedimentos, que juntos formam todo o sistema de automação da irrigação.

Os cuidados durante o desenho dos circuitos são fundamentais para evitar problemas complicados, que muitas vezes tomam horas até serem solucionados. Esses cuidados também se estendem à escolha dos componentes e tipo de conexão utilizada. A falta de organização dos materiais pode ser o principal fator de falhas e imprevistos.

O objetivo primordial do projeto foi realizar o controle da irrigação visando acessibilidade aos produtores familiares, com um sistema completo, agradável interface e de baixo custo. Para isso, cada componente neste projeto foi antecipadamente estudado, observando os custos individuais e, principalmente, a possibilidade de substituição.

Um segundo critério importante para a escolha foi sua disponibilidade quase imediata (aquisição em três ou quatro dias no máximo), pois a demora na entrega poderia atrasar a obtenção de resultados. Neste contexto, o valor total em componentes utilizados para produzir um módulo central, um comunicador e dois setores (Fig. 3.1) não ultrapassou R\$600,00 (tabelas de gastos com componentes no anexo I).

Isso significa que adquirindo peças do exterior, em maior escala (menor custo) e montando-os como produção em série, será possível realizar equipamentos de custo muito inferior ao investido na prototipagem, visto que o preço total em peças compradas individualmente e localmente, à pronta entrega, é normalmente muito superior.

6.2. OPERABILIDADE DO SOFTWARE CLIENTE

O *software* cliente operou de forma bastante estável e rápida, mesmo em computadores de menor poder computacional, como *NETBOOKS* com configuração do tipo: processador Intel Atom 1.6GHz, 1GB de RAM.

A interface ficou intuitiva e prática de se manusear, configurar horários de irrigação, bem como visualizar gráficos e informações, necessitando, entretanto, de adaptações e validação com maior quantidade de usuários. A visualização do mapa funciona igualmente ao Google Maps, portanto muito eficiente e atraente.

A conexão se mostrou bastante estável com o servidor, sem erros de comunicação e rápida troca de mensagens.

O sistema pode possuir versões em Linux, Windows e Mac OS X. Neste trabalho, somente foram testadas as versões Linux e Windows, as quais também se comunicaram corretamente entre si.

A transmissão da configuração da irrigação está funcionando correta e precisamente, bem como a recepção dos dados de temperatura e ocorrência de chuva. Entretanto, devido a alguns problemas de programação no módulo central, podem ocorrer avisos de falha de comunicação, em que o programa solicita nova tentativa de transmissão.

A mensagem chega corretamente ao módulo comunicador, em um prazo máximo de 6 segundos (medidos em laboratório) após início da transmissão no *software* cliente.

6.3. EFICIÊNCIA E FUNCIONAMENTO DOS MÓDULOS COMUNICADOR, CENTRAL E SETOR

O módulo central funciona de forma estável do ponto de vista mecânico e elétrico. O consumo de energia dos módulos (central e comunicador) mais os sensores é de menos que 120 miliampere-hora, medidos com o multímetro digital da fonte, podendo ser considerado um baixo consumo.

As trocas de mensagens entre o módulo comunicador e central funcionam corretamente e com poucas falhas, normalmente geradas por erros ainda existentes de programação. Entretanto, para corrigir esses problemas, há um sistema de correção de erros, que, em casos extremos, o módulo comunicador é reiniciado de forma automática por parte da central.

Medidos da mesma forma, cada módulo setor utiliza, em média, menos de 50mAh (miliampere-hora) desativado (válvulas desligadas) e menos de 100mAh ativo. Estes valores não são de grande influência nos objetivos do projeto, pois o total de energia consumida para alimentar todo o sistema é sempre muito pequeno. Em sistemas alimentados por bateria, o uso econômico de energia é fundamental, mas no caso deste trabalho, a alimentação é dada pela rede de energia.

Se tratando do módulo comunicador, este também opera bem estável, reconhecendo e se registrando com a operadora muito rapidamente, na média, em até 10 segundos. O tempo para que o sistema (comunicador e central) se conecte ao servidor deste projeto é, de até 1 minuto, quando está sendo ligado, e até 30 segundos, se já estiver funcionando. Este tempo é dado pelas trocas de mensagem entre os módulos mais o sistema GSM/GPRS.

É possível reduzir esta espera de conexão, mas o custo de programação seria maior e, neste caso, não justifica ser realizado, visto que se tem pouco espaço de memória para tal e esta espera não acarreta prejuízo ao sistema.

Ainda que o sistema de controle por umidade não esteja totalmente realizado, o controle geral de iniciar e parar a irrigação de cada setor nos tempos programados está funcionando plenamente, aceitando diversos horários e se desligando conforme configurado quando detectado chuva (inibição por ocorrência de chuva).

A integração entre *software embarcado* e *hardware*, *software* cliente e módulos funciona de forma esperada e bem estável. Testes de ativação e controle em laboratório já foram realizados. Assim, para o início da fase de testes em um ambiente real de irrigação, falta somente a integração de mais alguns periféricos, como o ativador da motobomba, e adaptação da programação para estas tarefas.

CAPÍTULO 7 – CONCLUSÕES

Neste capítulo é apresentada a opinião a respeito dos resultados deste projeto. Ao final são feitas sugestões de melhorias e novas funcionalidade para se desenvolver em cima deste trabalho realizado.

7.1. CONCLUSÃO

O projeto alcançou resultados promissores, pois foram observadas as possibilidades e a viabilidade deste sistema de acordo com o objetivo planejado. O sistema demonstrou ser capaz de ser produzido a baixo custo e promover precisão no processo de irrigação, comprovada pelas simulações realizadas, o que motivou este trabalho.

O usuário é capaz de programar horários, duração e frequência de irrigação, tendo uma prática interface na realização da programação desta etapa do processo produtivo, inclusive considerando a ocorrência de chuva, que pode evitar a irrigação desnecessária. O *software* necessita de mais testes para validação, porém já demonstra estar prático e objetivo.

Os ambientes de desenvolvimento utilizados foram fundamentais e providenciaram rápido projeto dos *softwares*, bem como o *software* de desenho de PCB. Entretanto, para o trabalho com microcontroladores é recomendada uma IDE mais elaborada, com ferramentas adequadas de depuração (*DEBUG*), visualização dos registradores e espaços de memória. A IDE Arduino utilizada não fornece essas ferramentas, o que dificulta muito o desenvolvimento.

7.2. PERSPECTIVAS DO PROJETO

Este projeto visa ainda o desenvolvimento de mais periféricos e a integração de outros elementos que poderão melhorar, simplificar e facilitar ainda mais o uso e manutenção deste sistema. Essas perspectivas futuras servem de motivação para continuação deste trabalho.

Necessários para o funcionamento em um sistema de irrigação real, o sistema de identificação da presença de energia trifásica e o sistema de ativação do motor devem ser desenvolvidos e integrados ao controle em *software*.

Após isso, pode-se finalizar o controle de irrigação, baseado em sensor de umidade, utilizando uma versão mais adequada do sensor de gesso (menor e com estrutura mais resistente) ou outro sensor comercializado e mais preciso.

Finalizar o desenvolvimento do código do programa de aquisição de dados dos módulos setores, bem como o código que realiza o escalonamento das tarefas, após uma queda de energia.

Realizar um estudo de materiais para a construção do recipiente protetor, onde se colocará os módulos central e comunicador. O recipiente do módulo setor pode necessitar ser impermeável, pois ficará junto ao solo, perto do seu setor de irrigação.

Outras melhorias previstas também podem ser realizadas, como:

- Integração com estação meteorológica online;
- Criação de variantes dos módulos comunicadores, facilitando outro meio de comunicação mais que GSM/GPRS;
- Melhoria na estrutura elétrica, como utilização de PCB multicamadas (neste projeto, foi utilizada somente uma camada de trilhas);
- Alteração do microprocessador para um modelo com maior poder computacional, mais entradas e saídas, e que possua RTC interno e assim reduzir ainda mais o tamanho do circuito alguns componentes;
- Integração com módulo GPS, para marcação de áreas e setores em campo;
- Integração com banco de dados e armazenamento em servidor das informações, permitindo vários usuários utilizando um só servidor, oferecendo mais liberdade ao usuário;
- Criação de um sistema de segurança dos dados e acesso por meio de senhas;

BIBLIOGRAFIA

- [1] ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília, DF: Embrapa, 2008.
- [2] COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. **Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água**. [S.l.]. 2005.
- [3] MACIEL, W. M. **MONTAGEM E INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO DE IRRIGAÇÃO**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ. CEARÁ. 2005.
- [4] STEVENS, W. R. **TCP/IP Illustrated: The Protocols**. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., v. 1, 1994.
- [5] THOMSON, S. J.; ARMSTRONG, C. F. 1987. Calibration of the watermark model 200 soil mixture sensor. *Applied engineering in agriculture*. 3(2):186-189.
- [6] VALADÃO, L. T. et al. **Uso conservativo da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: Projeto água certa, 2007.
- [7] WANDERLEY, M. N. B. O agricultor familiar no Brasil: um ator social da construção do futuro. In: PETERSEN, P. (Org.) **Agricultura familiar camponesa na construção do futuro**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2009. p. 32-45.

LITERATURA CONSULTADA

- ALVES, A.; LIMA, H. Agricultura Familiar. **Revista Eletrônica da FJAV**, n. ANO I - nº 01, p. 32-54, 2008.
- ASSIS, A. C. Sistemas Supervisórios para Automação Industrial usando Software Livre. Centralmat, 2006. Disponível em: <<http://www.centralmat.com.br/Artigos/Mais/supervisorioLivre.pdf>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2011.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. Irrigação de Fruteiras por Microaspersão. **Circular Técnica**, Bento Gonçalves, Setembro 2004.
- FERNANDES, Â. E. B. **O PERFIL DA AGRICULTURA FAMILIAR BRASILEIRA**. Secretaria da Agricultura Familiar. [S.l.]. 2009.
- KLEIN, V. A. **UMA PROPOSTA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA CONTROLADO POR TENSÍÔMETROS**. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo. Passo Fundo, RS. 2001.
- MENDES, P. C. S. **CARACTERIZAÇÃO DE UM SENSOR PARA MEDIÇÃO DE UMIDADE DO SOLO COM TERMO-RESISTOR A TEMPERATURA CONSTANTE**. Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Bahia. Bahia. 2006.
- MONTENEGRO, S. M. G. L. et al. Dinâmica Hidro-salina em Aquífero Utilizado para Agricultura Irrigada Familiar em Região Semi-árida. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. n.2, p. 85-92, Abr/Jun 2003.
- NETO, L. G. **Goiaba Produção**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2001.

SITES CONSULTADOS

- **Elipse Software**, 2011. Disponível em: <<http://www.elipse.com.br/inicial.aspx?idioma=1>>. Acesso em: 10 Fevereiro 2011.
- **Qt - Cross-platform application and UI framework**, 2011. Disponível em: <<http://qt.nokia.com/>>. Acesso em: 12 julho 2011.
- **Arduino**, 2011. Disponível em: <<http://arduino.cc/>>. Acesso em: 14 Janeiro 2011.
- **GOOGLE Maps JavaScript API V3. Google**, 2010. Disponível em: <<http://code.google.com/intl/pt-BR/apis/maps/documentation/javascript/>>. Acesso em: 25 janeiro 2011.
- **CadSoft**, 2011. Disponível em: <<http://www.cadsoftusa.com/>>. Acesso em: 21 Março 2011.
- **IRRIGAÇÃO. WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre**, 2011. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Irriga%C3%A7%C3%A3o&oldid=23616957>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2011.
- **OPENJDK. OpenJDK**, 2011. Disponível em: <<http://openjdk.java.net/>>. Acesso em: 9 Fevereiro 2011.
- **QWT User's Guide. Qwt**, 2011. Disponível em: <<http://qwt.sourceforge.net/>>. Acesso em: 18 Junho 2011.
- **RAIN Bird. Rain Bird**, 2011. Disponível em: <<http://www.rainbird.com/>>. Acesso em: 8 Fevereiro 2011.
- **SISTEMAS de Supervisão e Aquisição de Dados. WIKIPÉDIA, a enciclopédia livre**, 2011. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org/wiki/Sistemas_de_Supervis%C3%A3o_e_Aquisi%C3%A7%C3%A3o_de_Dados>. Acesso em: 7 Fevereiro 2011.

ANEXO I: TABELAS DE GASTOS

O custo dos componentes utilizados para a realização das quatro placas de circuito impresso (Fig. 3.1) deste trabalho foi superior ao esperado em uma fabricação em larga escala, pois todos eles foram comprados individualmente, em poucas unidades e a pronta entrega de fornecedores próximos.

A tabela I.1 e tabela I.2 apresentam os custos de cada componente e o custo aproximado de cada módulo, respectivamente, considerando os valores gastos neste projeto.

Tabela I.1. Preços dos componentes comprados.

Componente	Preço adquirido
AVR – ATmega328p	15,00
DS1307 (RTC)	11,00
Bateria lítio para alimentação RTC	3,00
CI GSM/GPRS + antena e conectores	167,00
Válvula 1" DVF-100 (solenóide)	80,00
Sensor Temperatura (LM35)	6,00
Sensor Chuva (RSD-BEX)	90,00
Demais componentes (resistores e outros)	150,00
Fonte estabilizada de 12VCC	70,00
Transformador 220V para 24V/2A	25,00
Relé para ativação da válvula	9,00
Cabo de rede 4 pares CAT5E (metro)	1,00

Tabela I.2. Preço aproximado gasto em cada módulo, de acordo com o apresentado na figura 3.1 e na tabela I.1.

Componente	Preço aproximado
Módulo Central (sem sensor de chuva)	200,00
Módulo de comunicação <i>wireless</i> (completo)	205,00
Módulo Setor (sem válvula solenoide, sem sensor de umidade do solo e sem cabo de conexão com a central)	45,00
Total calculado para os 4 módulos (considerando 2 setores)	495,00

Nesta proposta, considera-se o sistema de irrigação exemplificado em 2.1 pré-instalado, ou seja, motobomba, tubulações, emissores e outros já disponíveis e instalados. Assim, a principal substituição a ser realizada é a inserção das válvulas solenoides no lugar dos registros e a linha de comunicação entre os módulos setor e central.

É importante lembrar que neste trabalho, certos componentes, já mencionados nos capítulos anteriores, não foram desenvolvidos. Esses são necessários para a completa instalação deste projeto em um ambiente real de irrigação. Dessa forma o preço total do sistema ira ser alterado, mas os periféricos restantes não possuem custos significantes, o que mantém a acessibilidade aos produtores familiares.

Outra observação deste sistema é que a utilização da comunicação *wireless* GSM/GPRS tende a ficar cada vez mais barata, como já se pode presenciar hoje. O custo de se manter a conexão constante por todo o mês foi bastante acessível, visto que foi gasto menos de R\$16,00 por mês para isso.

ANEXO II: DESCRIÇÃO DO CONTEÚDO DO CD

No CD está incluso todos os códigos desenvolvidos neste trabalho, bem como uma versão do executável dos *softwares* Cliente e Servidor para Windows. Adicionalmente são fornecidos os principais *datasheets* dos componentes presentes no sistema.

Dessa forma, o CD possui três pastas: resumo, arquivos e relatório.

A pasta “Arquivos” contém as seguintes subpastas:

- Principais *datasheets*
- Programação do *software* Cliente
- Programação do *software* Embarcado
- Programação do *software* Servidor
- Projeto das PCB em EAGLE

São disponibilizados os arquivos do projeto PCB em EAGLE utilizado para construção dos *hardwares* e o manuscrito está disponível na pasta “Relatório”, juntamente aos *slides* da apresentação.