

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

JÉSSICA SARTO DOS REIS

**SISTEMA DE CONTROLE APLICADO À
AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CORNÉLIO PROCÓPIO
2015**

JÉSSICA SARTO DOS REIS

**SISTEMA DE CONTROLE APLICADO À
AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, da Coordenação do curso de Tecnologia em Automação Industrial - COAUT, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Sumar.

CORNÉLIO PROCÓPIO
2015



TERMO DE APROVAÇÃO

SISTEMA DE CONTROLE APLICADO À AUTOMAÇÃO DE IRRIGAÇÃO AGRÍCOLA

por

JÉSSICA SARTO DOS REIS

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado às 20:00 h do dia 25 de junho de 2015, como requisito parcial para a obtenção do título de Tecnóloga em Automação Industrial da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. A candidata foi argüida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Rodrigo Sumar
Professor Orientador
UTFPR / Campus Cornélio Procópio

Prof. Emerson Ravazzi Pires da Silva
Professor Convidado
UTFPR / Campus Cornélio Procópio

Prof. Wagner Endo
Professor Convidado
UTFPR / Campus Cornélio Procópio

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso.

Dedico esta, bem como todas as minhas
demais conquistas à minha família, por
todo amor e apoio.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus colegas de curso pelo companheirismo e amizade durante toda esta caminhada, e também a todos os professores que dividiram comigo parte de seu conhecimento, e que foram tão importantes durante o curso, tornando possível a conclusão deste trabalho.

Agradeço meu namorado, Marcos Antonio, que, de forma especial e carinhosa, me incentivou e apoiou.

Agradeço minhas irmãs, Danielle e Luana pela amizade, incentivo e contribuição. E não deixando de agradecer de forma grata e grandiosa meus pais, Roberto e Maria que me apoiaram nos momentos de dificuldades, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência.

(GATES, Bill, 1995)

RESUMO

REIS, Jéssica Sarto dos. **Sistema de Controle Aplicado à Automação Agrícola**. 2015. 73 pág. Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Automação Industrial - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

O setor agrícola representa cerca de 72% do consumo total de água doce do Brasil e boa parte dos sistemas de irrigação não possuem controle do uso da água para essa atividade. O presente trabalho tem por objetivo apresentar resultados obtidos a partir do desenvolvimento de um controlador eletrônico para aplicação em sistemas de irrigação que utilizam o método de irrigação por microaspersão, visando à economia de energia elétrica, água e mão-de-obra, aumentando, assim, a qualidade da rega do sistema. Esse controle dar-se-á através do monitoramento da umidade do solo por um sensor de umidade, e monitoramento da incidência de luminosidade, para saber se é dia ou noite, por um sensor de luminosidade, utilizando para processamento desses dados uma placa de desenvolvimento Arduíno Uno. Em princípio toda a estrutura foi validada, incluindo os componentes definidos para utilização no sistema. A viabilidade econômica do projeto também foi comprovada devido ao baixo custo de investimento, que se torna insignificante perante a economia de energia e água obtidas e a qualidade do processo de irrigação.

Palavras-chave: Sistema de irrigação. Automação agrícola. Irrigação automatizada. Arduíno Uno.

ABSTRACT

REIS, Jéssica Sarto dos. **Control System Applied to Agricultural Irrigation**. 2015. 73 pag. Work of Conclusion Course of Technology in Industrial Automation - Federal Technological University - Paraná. Cornélio Procópio, 2015.

The agricultural sector accounts for about 72% of the total freshwater consumption in Brazil and much of the irrigation systems have no control of water use for this activity. The present work aims at presenting the results obtained from the development of an electronic controller for use in irrigation systems using the method of irrigation spray. This control allows a saving of electricity, water and hand labor, increasing the quality of the irrigation system. This control will occur by the soil moisture monitoring by a moisture sensor, and monitoring of the incidence of light, to know whether it is day or night, by a light sensor, using for processing such data a development board Arduino Uno. In principle the whole structure has been validated, including the components defined for use in the system. The economic viability of the project has also been proven due to low investment cost, as to be insignificant before the obtained energy saving and water and the quality of the irrigation process.

Keywords: Irrigation system. Agricultural automation. Automated irrigation. Arduíno Uno.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução das áreas irrigadas no Brasil.	18
Figura 2 - Irrigação por superfície na cultura do arroz.....	20
Figura 3 – Sistema de irrigação por sulcos.	21
Figura 4 – Sistema de irrigação por inundação.	21
Figura 5 – Sistema de irrigação por aspersão.....	22
Figura 6 – Sistema de irrigação por gotejamento.....	24
Figura 7 – Sistema de irrigação por microaspersão.	25
Figura 8 – Microaspersores John Deere S2000.....	32
Figura 9 - Exemplos de diferentes modelos de microaspersores.....	34
Figura 10 - Representação do Funcionamento do LDR.	41
Figura 11 – LDR utilizado no projeto.	42
Figura 12 – Resistor de 10 k utilizado no projeto.	43
Figura 13 – Modelo de controlador de irrigação.....	44
Figura 14 – Placa Arduíno Uno utilizado no projeto.	46
Figura 15 – Setorização dos blocos do Arduino Uno R3.....	47
Figura 16 – Pinagem do micro-processador Atmega328p-PU.	48
Figura 17 – Localização das entradas e saídas da placa.....	49
Figura 18 – IDE para programação.	49
Figura 19 – Conexão do Arduíno ao PC.	51
Figura 20 - Válvula solenóide Hunter PGV.....	51
Figura 21 – Válvula solenóide utilizada no projeto.	53
Figura 22 – Módulo relé 5 volts utilizado no projeto.	53
Figura 23 – Materiais utilizados no projeto.....	56
Figura 24 – Interface do CCS Compiler com programa compilado.	59
Figura 25 – Interface da IDE Sketch.	60
Figura 26 – Simulação do circuito no software Proteus ISIS.....	61
Figura 27 – Layout do protótipo.....	62

Figura 28 – Testes no sensor de luminosidade.....	62
Figura 29 – Testes no sensor de umidade.	62
Figura 30 – Protótipo em funcionamento completo.	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Eficiência de irrigação para os principais métodos de irrigação.....	28
Tabela 2 – Eficiência no consumo de energia para os principais métodos de irrigação.....	30
Tabela 3 - Tabela utilizada para seleção de aspersores	33
Tabela 4 – Comparativo entre um sistema de irrigação manual e automático.....	36

SUMÁRIO

1 - INTRODUÇÃO	14
2 - REVISÃO TEÓRICA	16
2.1 - HISTÓRICO DA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA BRASILEIRA.....	16
2.2 - SISTEMAS CONVENCIONAIS DE IRRIGAÇÃO	18
2.2.1- Irrigação de Superfície	19
2.2.1.1 - Irrigação por sulcos.....	20
2.2.1.2 - Irrigação por inundação.....	21
2.2.2 - Irrigação Por Aspersão.....	22
2.2.3 - Irrigação Localizada	23
2.2.3.1 - Gotejamento.....	24
2.2.3.2 - Microaspersão.....	25
2.3 - FATORES ECONÔMICOS	26
2.3.1 - Escassez de Água	27
2.3.2 - Consumo de Energia.....	28
2.3.3 - Escassez de Mão-de-obra	30
2.4 - SISTEMA DE MICROASPERSÃO.....	31
2.4.1 - Escolha do Aspersor	32
2.4.1.1 - Coeficiente de variação de fabricação	33
2.5 - AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO	34
2.5.1 - Vantagens da Automação dos Sistemas de Irrigação.....	35
2.5.2 - Sensores	36
2.5.3 – Sensores de Umidade	37
2.5.3.1 - Blocos de resistência elétrica.....	38
2.5.3.2 - Tensiômetro	38
2.5.3.3 - Condutividade térmica.....	39
2.5.3.4 - Irrigás	39
2.5.3.5 - Sensor escolhido para o projeto.....	40

2.5.4 – Sensores Fotoelétricos.....	41
2.5.5 - Controladores.....	43
2.5.6 - Microcontroladores.....	44
2.5.7 – Arduíno.....	45
2.5.7.1 – Hardware.....	46
2.5.7.2 – Entradas e saídas.....	48
2.5.7.3 – Software.....	49
2.5.7.4 – Construindo um Protótipo.....	50
2.5.7.5 – Gravando o programa na placa.....	50
2.5.8 – Válvulas Solenóides.....	51
2.5.8.1 – Relé de acionamento da válvula solenóide.....	53
3 - DESCRIÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE.....	55
3.1 - HARDWARE.....	55
3.1.1 - Materiais Utilizados Para a Elaboração do Projeto.....	55
3.2 - SOFTWARE.....	56
3.2.1 – PIC C Compiler CCS.....	56
3.2.2 - Proteus ISIS.....	57
4 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PROPOSTO.....	58
4.1 - MODELAGEM DO SISTEMA.....	58
4.2 - ELABORAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DO PROJETO.....	58
4.3 - SIMULAÇÃO.....	60
4.4 - MONTAGEM DO PROJETO.....	61
5 - RESULTADOS OBTIDOS.....	64
6 - CONCLUSÕES.....	66
6.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	67
7 - REFERÊNCIAS.....	68
8 - APÊNDICE.....	71
8.1 – CÓDIGO FONTE DO PROTÓTIPO PARA PIC 16F628A.....	71
8.2 – CÓDIGO FONTE DO PROTÓTIPO PARA ARDUINO.....	72

1 - INTRODUÇÃO

O avanço da agricultura é diretamente conectado ao avanço de um povo, e depende fortemente de fatores ambientais que são aleatórios e muito diferentes para locais distintos, sendo a irrigação fundamental para o seu desenvolvimento. (CHRISTOFIDIS, 1999). Um sistema de irrigação bem projetado, além de garantir um melhor desenvolvimento de culturas diversas, também proporciona um maior aproveitamento dos insumos, contribuindo para um menor impacto ao meio ambiente, minimizando o desperdício de água e energia através do uso eficiente.

A irrigação é uma técnica que tem por objetivo o fornecimento de água para as plantas em quantidade suficiente e no momento certo, propiciando sobrevivência e produtividade. (MARQUELLI, 1998). Mas irrigar não é simplesmente jogar água sem nenhum critério, pois desta forma pode-se acarretar diversos problemas às plantas. Ao aplicar doses excessivas, prejudicam-se as raízes das plantas (apodrecimento, lavagem de nutrientes). Já as doses insuficientes, prejudicam o desenvolvimento e a produtividade (redução do metabolismo). Existe um conjunto de técnicas que, planejadas adequadamente, repõem a quantidade certa de água no solo, garantindo à planta o suprimento necessário para um bom desenvolvimento.

Atualmente os sistemas de irrigação modernos são munidos com equipamentos microprocessados de alta tecnologia e precisão para monitorar e controlar diversas variáveis ambientais que garantem o desenvolvimento da cultura, porém são de alto custo e de difícil acesso ao pequeno agricultor.

Grande parcela dos sistemas de irrigação é dependente de bombas para gerar a pressão na tubulação e fazer a água ser aspergida na lavoura. Essas bombas apresentam melhor desempenho com o uso de motores elétricos, tornando a produção da lavoura dependente da energia elétrica, que é responsável por uma alta participação nos custos da produção agrícola. (PEREZ, 2011).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) estabelece os procedimentos para aplicação de descontos especiais na tarifa de fornecimento relativa ao consumo de energia elétrica das atividades de irrigação e na aquicultura. Segundo a agência, a concessionária de energia deverá conceder desconto sobre o consumo de energia elétrica verificado em um período diário contínuo de oito horas e trinta minutos compreendidos no período de 21h30min às 6h do dia seguinte,

promovendo incentivo tarifário para a irrigação agrícola praticada durante período noturno, período no qual há baixo consumo de energia elétrica. (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 207 DE 9 DE JANEIRO DE 2006).

Tendo visto, segundo o Programa de Irrigação Noturna (PIN), criado pela Copel em parceria com o Governo do estado do Paraná, que durante o período noturno o custo do consumo de energia para irrigação recebe desconto de 60%, logo, o melhor período para a irrigação será à noite, mas como por razões óbvias, o trabalho noturno manual se torna inconveniente, surge então a necessidade de automatização do sistema de irrigação, para que este possa atuar noturnamente sem supervisão do agricultor. (CONSTITUIÇÃO DO ESTADO DO PARANÁ. LEI 15606 – 15 DE AGOSTO DE 2007).

Com os fatores expostos acima, tornam-se necessários meios de produção que explorem de forma sustentável os recursos naturais usando água de forma racional e com baixo custo operacional.

O objetivo proposto neste trabalho é um projeto de sistema de irrigação automatizado de baixo custo e eficiente que possa viabilizar a irrigação no período noturno e reduzir o consumo de água e energia, preservando de forma direta e indireta o meio ambiente e seus recursos. Também é almejada a redução de mão de obra e os custos de produção, mas que, contudo, mantenha a produtividade, garantindo ao agricultor maior retorno econômico em seu negócio.

2 - REVISÃO TEÓRICA

2.1 - HISTÓRICO DA IRRIGAÇÃO NA AGRICULTURA BRASILEIRA

A agricultura brasileira historicamente é uma das principais bases da economia do país, desde a colonização até os dias atuais. De acordo com o estudo da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), feito em 2011, o agronegócio representa mais de 22% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, que representa a soma de todas as riquezas produzidas no País.

Segundo este mesmo estudo, o Brasil lidera a produtividade agrícola na América Latina com crescimento médio de 3,6% ao ano e apresenta índices de desenvolvimento acima da média mundial, por tal motivo cunhou-se a expressão que diz ser o "Brasil, celeiro do mundo" - acentuando a vocação agrícola do país.

Apesar deste cenário favorável, a agricultura brasileira apresenta problemas e desafios, envolvendo questões políticas, sociais, ambientais, tecnológicas e econômicas. Não são apenas as condições favoráveis, como a água em abundância, o solo fértil, a biodiversidade, o clima, trabalhadores qualificados, entre outros, que impulsionam o agronegócio. Para tal, é necessária a incorporação de métodos que melhorem a atividade agrícola, e como a tecnologia está presente em diversos setores, na agricultura não poderia ser diferente.

Com o crescimento demográfico, associado à transformação do perfil socioeconômico, a busca por maior produtividade e qualidade fez com que agricultores recorressem a equipamentos tecnológicos para modernizarem suas plantações, e os que ainda se recusam a fazer uso dessa tecnologia acabam perdendo o espaço no mercado. Assim como qualquer tipo de empresa, a agricultura necessita ter capacidade de competir com a concorrência, oferecendo qualidade e agilidade, e para tanto, existem diversos tipos de máquinas que tornam mais rápidas as etapas de uma plantação, como plantio, colheita, aragem, irrigação, etc. (CHRISTOFIDIS, 1999).

Apesar de ser o maior produtor de alimentos do mundo, há apenas 20 anos as grandes tecnologias passaram a fazer parte da agricultura no Brasil, que tem investido muito em tecnologia na agricultura. Um exemplo de investimento do

governo com o intuito de incentivar a modernização da agricultura no país é o crédito rural que se trata de um empréstimo feito aos agricultores para adquirirem novas máquinas, ampliar os negócios e aumentar sua produtividade. Além do crédito rural, existem outros incentivos ao produtor rural, como o PRONAF e diversos outros. (SOUZA, 2001).

Embora seja uma técnica agrícola antiga, a irrigação no Brasil teve início tardio. O primeiro projeto é de 1881, que consistia em um reservatório para suprimento de água a ser utilizada em uma plantação de arroz no Rio Grande Do Sul, com início de operação em 1903. (IICA, 2008). O projeto foi executado por iniciativa privada, enquanto que na região Nordeste era incentivado por órgãos oficiais do governo.

O potencial de irrigação no Brasil, segundo o Banco Mundial, é de cerca de 29 milhões de hectares, porém em 1998 haviam, somente 2,98 milhões de hectares irrigados. No fim do século XX o país tinha como principal forma de irrigação a de superfície com (59%), seguida pela aspersão (35%) e, por último, a irrigação localizada. A Região Sul apresentava a maior área irrigada, com mais de 1 milhão de hectares, depois o Sudeste com mais de 800 mil hectares e Nordeste com mais de 400 mil hectares. (SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS DO MMA, 1996).

Ao incluir a indústria de energia elétrica entre os serviços de utilidade pública e instituir o regime de concessão para sua exploração, o Código das Águas de 1934 criou condições para as grandes obras hidráulicas no país. Os planos de aproveitamento múltiplo dos recursos hídricos foram elaborados em São Paulo nas bacias dos rios Tietê e Paraíba do Sul, e, na região Nordeste, no vale do Rio São Francisco, mas como o objetivo predominante era a geração de energia elétrica, as obras de irrigação desenvolveram-se lentamente em razão de recursos insuficientes.

Ao analisarmos a Figura 1, podemos observar o crescimento das áreas irrigadas no território brasileiro.

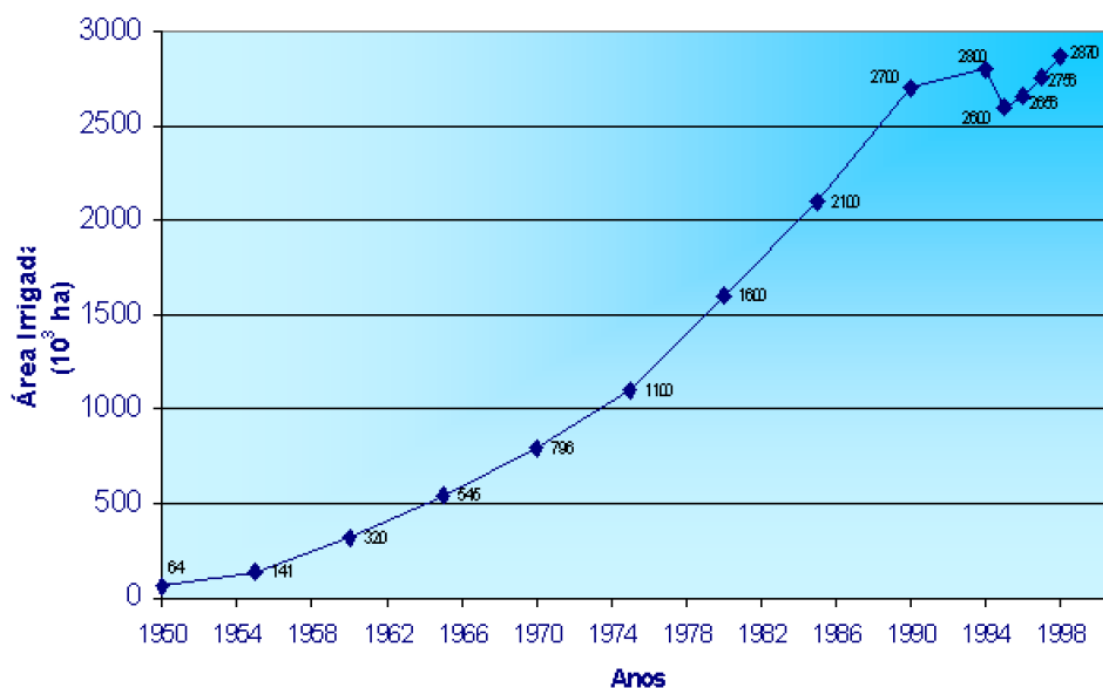


Figura 1 – Evolução das áreas irrigadas no Brasil.
Fonte: Christofidis, (2002).

2.2 - SISTEMAS CONVENCIONAIS DE IRRIGAÇÃO

Irrigação é um conjunto de técnicas destinadas a deslocar a água para determinada região visando corrigir a distribuição natural das chuvas. É uma técnica que proporciona a máxima produção, e complementa as demais práticas agrícolas. A irrigação tem sido de fundamental importância para a produção agrícola em regiões áridas. (CHRISTOFIDIS, 2002).

A prática da irrigação é uma estratégia para aumentar a produtividade das lavouras, porém torna-se necessário o manejo racional da irrigação para a aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto. Sem o controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia e de água. Um sistema de irrigação adequado deve propiciar o uso da água com a máxima eficiência, reduzindo os custos de produção e, aumentando o retorno dos investimentos. (SCALOPPI, 1986).

Existem diversos métodos de irrigação que atendem às diferentes situações que podem ocorrer em cada lavoura. Não existindo um método ideal, cada condição

da plantação deve ser estudada, sugerindo-se soluções em que as vantagens possam compensar as limitações naturais. Portanto, a escolha correta do método de irrigação é importante para o sucesso com a agricultura irrigada, e nessa escolha, todos os fatores devem ser considerados. (MAROUELLI, 1998).

Existem basicamente três métodos de irrigação: o de superfície; por aspersão e a localizada.

2.2.1- Irrigação de Superfície

A irrigação por superfície foi um dos primeiros métodos de irrigação a ser usado pelo homem. Há 6000 anos as civilizações da Mesopotâmia, egípcia e chinesa, ainda que de forma rudimentar, já empregavam esse método de irrigação.

No Brasil, de acordo com REBOUÇAS et al. (1999), a irrigação por superfície representava 51% da área irrigada no Brasil, mostrando a participação significativa desse sistema na produção agrícola nacional. Em 2004, aproximadamente 1,7 milhões de hectares eram irrigados por esse método.

A irrigação por superfície é um método de irrigação não pressurizado em que a água se movimenta por gravidade diretamente sobre a superfície do solo, de canais ou tubos janelados, até qualquer ponto de infiltração, exigindo, portanto, áreas sistematizadas e com declividade de 0 a 6%, de acordo com o tipo de irrigação. Não é recomendado para solos com alta permeabilidade, por proporcionar grandes perdas por percolação, e para solos instáveis, pela formação de crateras quando molhados. (ANDRADE, 2010).

Para implantação do método, devem-se evitar áreas com declividade, acentuadas e superfície do solo desuniforme, pois o gasto com sistematização para adequação da área às exigências desse sistema seria muito alto, além da possibilidade de exposição do subsolo. É um método de irrigação que, quando comparado com os outros sistemas, consome mais água, em razão da menor eficiência de aplicação e distribuição de água, decorrente de grandes perdas durante a aplicação.



Figura 2 - Irrigação por superfície na cultura do arroz.
Fonte: Testezlaf. (2011).

2.2.1.1 - Irrigação por sulcos

O método de irrigação por sulcos constitui um processo de irrigação mais conhecido e usado no mundo, e é tradição no Brasil, sendo indicado principalmente para culturas em linha como: milho, soja, feijão e árvores frutífera. Aplica-se à irrigação de todas as culturas, adaptando-se aos diferentes tipos de terrenos e solos.

A irrigação por sulcos consiste em fazer correr a água em sulcos ou canais situados lateralmente às linhas das plantas, durante o tempo necessário para que a água infiltre no sulco, umedecendo o solo. A distribuição de água para os sulcos pode ser feita por sifão, bacias auxiliares e tubos janelados. Diferindo do método de irrigação por inundação, a irrigação por sulcos não molha a superfície completa do solo, o que diminui a perda por evaporação, reduzindo a compactação e formação de crosta em solos pesados. A eficiência da irrigação depende, principalmente, do movimento da água nos sulcos. (TESTEZLAF, 2011).



Figura 3 – Sistema de irrigação por sulcos.
Fonte: Testezlaf. (2011).

2.2.1.2 - Irrigação por inundação

A inundação é o mais simples de todos os métodos de irrigação superficiais, existindo muitas variações, mas todas envolvendo a divisão do terreno em porções menores, limitadas por diques, de modo que forme uma superfície quase plana, onde é depositada uma lâmina de água que se infiltrará no solo. É um método largamente empregado no Brasil, quase exclusivamente na cultura do arroz. Também é utilizada na irrigação de árvores frutíferas com algumas modificações no sistema. Também pode ser empregado em outras culturas, desde que essas não sejam afetadas pela presença da lâmina de água. (BERNARDO, 1989).



Figura 4 – Sistema de irrigação por inundação.
Fonte: USDA Natural Resources Conservation Service, (2000).

2.2.2 - Irrigação Por Aspersão

O método de irrigação por aspersão consiste em aplicar a água ao solo na forma de chuva artificial, através do fracionamento do jato de água em inúmeras gotículas que se espalham no ar, caindo sobre o terreno. Esse fracionamento é obtido através da passagem da água sobre pressão através dos orifícios dos aspersores, pressão esta que é obtida através do bombeamento da água através de um sistema de tubulação. (TESTEZLAF, 2011).



Figura 5 – Sistema de irrigação por aspersão.
Fonte: Testezlaf (2011).

Este sistema de irrigação permite o controle da lâmina de água aplicada à superfície do solo, possibilitando que a água chegue ao solo suavemente. Também permite uma adaptação a todas as situações presentes na agricultura irrigada. Apresenta uma ampla variedade de equipamentos, desde o mais simples, até os mais complexos e sofisticados, como os mecanismos automáticos.

É conhecido há muito tempo e sua utilização no Brasil iniciou-se por volta da década de 50, com a importação dos primeiros equipamentos utilizados na cultura do café. Por volta de 1975 apareceram os primeiros equipamentos mecanizados, indicando um estágio avançado do equipamento disponível. Com o passar do tempo, foram se desenvolvendo diversos métodos de aspersão, de acordo com as condições e necessidades, como por exemplo: sistemas portáteis e semi-portáteis para transporte manual ou mecanizado, sistemas fixos estacionários ou permanentes, por cima da folhagem ou por baixo da mesma, com diferentes níveis de pressão e vazão. (OLITTA, 1984).

As vantagens desse sistema são muitas, como a operação fácil e cômoda, a rápida adaptação dos operadores, adaptabilidade do sistema às condições

topográficas e geométricas do terreno, possui alta eficiência de aplicação, sendo possível adequar a intensidade de aplicação a todos os tipos de solo. Por estes motivos, as áreas irrigadas por aspersão aumentam continuamente em todas as partes do mundo. No Brasil, o método de irrigação mais utilizado segundo a classificação do censo agropecuário 2006 é o de aspersão, representando 35,3% da área total irrigada.

2.2.3 - Irrigação Localizada

A irrigação localizada é o setor mais promissor da irrigação, sendo a que apresenta atualmente a maior taxa de crescimento nos países desenvolvidos, ocorrendo com base na conversão de sistemas por superfície e de aspersão comum, visando aperfeiçoar o uso dos recursos hídricos disponíveis, por exigência de políticas de gerenciamento ou por interesses econômicos dos proprietários de terras. O método de irrigação a ser utilizado depende das condições do solo, clima, topografia, quantidade de água disponível e aporte tecnológico do produtor. Em regiões sujeitas a ventos fortes e constantes, baixa umidade relativa do ar e altas temperaturas, não se deve optar pelo sistema de aspersão sobre-copa, devido às perdas de água por evaporação e arrastamento das gotas, o que torna o sistema pouco eficiente. Como alternativa, deve-se optar pela irrigação sub-copa. (CHRISTOFIDIS, 1999).

O sistema de irrigação localizada consiste em aplicar a água diretamente na região radicular em pequenas intensidades e alta frequência mantendo esse solo próximo à capacidade de campo. Nesse sistema água se distribui por uma rede de tubos, sob baixa pressão. Os emissores são fixos na tubulação dispostas na superfície do solo ou enterradas, acompanhando as linhas de plantio.

O sistema de irrigação localizada se desenvolveu em função da escassez de água. Este sistema aplica água em apenas parte da área, reduzindo assim a superfície do solo que fica molhada, exposta às perdas por evaporação. Com isto, a eficiência de aplicação é bem maior e o consumo de água menor. Os emissores utilizados podem ser gotejadores ou microaspersores. A irrigação localizada apresenta maior eficiência relativa, 85% a 95% de acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), quando comparada com os demais

métodos. A principal desvantagem desse sistema é o elevado custo inicial de investimento, em especial em relação à irrigação por sulcos.

2.2.3.1 - Gotejamento

O grande interesse pelo método de irrigação por gotejamento deve-se pela economia de água, aliada ao aumento da produção da lavoura. Atualmente esse sistema tem se desenvolvido bastante, devido ao aperfeiçoamento dos materiais utilizados para a fabricação dos componentes e aos resultados obtidos. No Brasil, a irrigação por gotejo ainda está no estágio inicial de implantação, prevendo-se um maior desenvolvimento para os últimos anos, segundo a EMBRAPA. A diversificação do equipamento disponível no mercado incentivará o emprego deste método, devido à possibilidade de maior adaptação ao campo. A maior concentração de área irrigada por gotejamento encontra-se em São Paulo, nas lavouras de hortaliças, frutíferas e flores. (EMBRAPA, 1982).



Figura 6 – Sistema de irrigação por gotejamento.
Fonte: Agronotícias.

O sistema de gotejamento é composto por emissores, denominados de gotejadores, através dos quais a água escoia após ocorrer uma dissipação de pressão ao longo da rede de condutores. As vazões são usualmente pequenas variando de 2 a 10 l/h. É o mais eficiente entre os sistemas de irrigação no requisito de consumo de água, obtendo o maior crescimento na agricultura brasileira nos

últimos anos. Adaptando-se facilmente às diversas culturas e a qualquer tipo de condições topográficas. (EMBRAPA, 1982).

2.2.3.2 - Microaspersão

Trata-se de um sistema de irrigação por aspersão, onde a água é aspergida em forma de gotas através de um aspersor, simulando assim uma condição de chuva próxima à região radicular da planta. Pode ser fixo ou móvel, e dependendo das linhas laterais, ser portátil ou não. O sistema de microaspersão é composto por emissores, denominados de microaspersores, através dos quais a água é aspergida. As vazões são usualmente pequenas e mais baixas que a pressão no sistema de aspersão comum, variando de 20 a 250 l/h. (CHRISTOFIDIS, 1999).



Figura 7 – Sistema de irrigação por microaspersão.
Fonte: Agroconsulte (2014).

É largamente utilizado em fruticultura, irrigação em casas de vegetação, jardins etc. Assim como o gotejamento, também se adapta facilmente às diversas culturas e a qualquer tipo de condições topográficas.

A microaspersão apresenta todas as vantagens atribuídas aos sistemas de irrigação localizada, principalmente a facilidade de visualização de distribuição de água na superfície do solo. Comparada ao sistema de gotejamento, oferece menores riscos de entupimento, pois o diâmetro dos emissores é maior do que dos

gotejadores. Em contrapartida, pode favorecer o aparecimento de doenças devido ao fato de permitir o molhamento de parte do caule da planta. Este tipo de sistema pode ser vulnerável a ventos fortes e altas taxas de evaporação. Normalmente, exige mínima filtração e requerimento de manutenção menor que os outros sistemas. (TESTEZLAF, 2011).

2.3 - FATORES ECONÔMICOS

Obviamente, o principal motivo para a automação de um sistema de irrigação é máxima obtenção do retorno econômico. Contudo, os impactos ambientais e sociais não podem ser ignorados. Cada projeto de sistema de irrigação deve ser adequado a cada situação em que será aplicado, levando-se em consideração os parâmetros ambientais, sociais e sua eficiência econômica. A análise da eficiência econômica de um sistema de irrigação é geralmente complexa, devido ao grande número de variáveis envolvidas. Os incentivos governamentais também devem ser considerados na análise econômica.

A implantação de um sistema de irrigação é de custo inicial elevado. Os custos operacionais, principalmente com energia, são geralmente maiores nos sistemas de irrigação por aspersão, intermediários nos de irrigação localizada e menores nos sistemas superficiais. Porém, os custos de manutenção nos sistemas de irrigação por superfície são geralmente mais elevados.

Os impactos ambientais de cada método, como erosão, degradação da qualidade da água e destruição de habitats naturais, devem ser minuciosamente considerados.

Diversos fatores humanos também podem influenciar na escolha do método de irrigação. Hábitos, preferências, tradições, preconceitos e modismo podem determinar a escolha final de um sistema de irrigação, pois existe certa desconfiança entre os agricultores com relação à inovação tecnológica. Outro fator que pode influenciar na escolha do método de irrigação é o nível educacional dos agricultores. Enquanto a irrigação por superfície tem sido a mais praticada por agricultores mais tradicionais, os sistemas de aspersão e localizada requerem maior treinamento dos agricultores. (OLITTA, 1984).

2.3.1 - Escassez de Água

A água é um dos recursos mais importantes para a manutenção da vida na terra, sendo necessária a diversas atividades humanas, apresentando utilidades múltiplas e sua escassez provoca fome e miséria. O uso adequado da água pode levar à obtenção de excelentes resultados na produção de alimentos, porém em contrapartida, seu mau uso provoca degeneração do meio ambiente e sua escassez. Atualmente tem-se o conhecimento dos problemas de disponibilidade e uso dos recursos naturais, mas ainda persistem muitas dificuldades para a aplicação de tecnologias para solucionar, ou evitar tais problemas e para estabelecer programas de preservação desses recursos.

Com o crescimento populacional, a quantidade de solo explorado pela agricultura também se expandiu, o que vem impulsionando o uso da irrigação, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as áreas áridas e semi-áridas. Atualmente, mais de 50% da população mundial depende de produtos irrigados. (CHRISTOFIDIS, 1999). O setor agrícola é o maior consumidor de água no Brasil, sendo que quase metade da água consumida destina-se à agricultura irrigada. (Cardoso et al., 1998). A irrigação é um componente essencial e estratégico ao desenvolvimento eficiente da agricultura, logo, o controle e a administração do uso adequado da água possibilitarão seu manejo justo e equilibrado, preservando a sua quantidade e qualidade, sem tal, não será possível uma agricultura sustentável.

Embora seja um país que possua 8% da água doce disponível no mundo, ostentando posição privilegiada perante a maioria dos países, o Brasil permaneceu por muito tempo sem dar a devida importância ao uso consciente e à preservação dos recursos hídricos. Com isso, muitas providências deixaram de ser tomadas. Busca-se agora recuperar as perdas e aproveitar de forma racional as enormes potencialidades hídricas de que o país dispõe.

Durante a seleção do sistema de irrigação a ser utilizado é fundamental o conhecimento prévio da eficiência de cada método de aplicação de água. A eficiência de irrigação pode ser definida como a relação entre a quantidade de água exigida pela cultura e a quantidade aplicada pelo sistema. Quanto menores as perdas de água devido ao escoamento superficial, evaporação, deriva e drenagem

profunda, maior será a eficiência de irrigação de um sistema. (MAROUELLI, 1998). Os valores médios de eficiência de irrigação para os três principais sistemas estão apresentados na Tabela a seguir.

Tabela 1 – Eficiência de irrigação para os principais métodos de irrigação.

Método de irrigação.	Eficiência de irrigação (%)
Por Superfície.	40 a 75
Por Aspersão.	60 a 85
Localizada.	80 a 95

Fonte: Marouelli, W.A. e Silva, W.L.C. (1998).

Os sistemas de irrigação convencionais são de baixa eficiência, considerando tanto o consumo de água quanto o de energia, indicando a necessidade de utilização de estratégias de manejo para controle da quantidade de água a ser aplicada e operação adequada de sistemas, proporcionando melhoria dos níveis de eficiência. (MAROUELLI, 1998). Os métodos e equipamentos de irrigação podem e devem ser aprimorados para reduzir as perdas e aumentar os ganhos de eficiência do uso da água. Métodos com baixa eficiência tornam-se inviáveis perante as políticas atuais de uso consciente de água e energia.

Pequenos aumentos na eficiência dos sistemas produzem resultados significativos, tanto na preservação da água disponível, quanto na redução dos custos em energia, bombeamento, condução e distribuição da água para irrigação.

2.3.2 - Consumo de Energia

O uso da tecnologia na agricultura significa intenso uso de energia elétrica no lugar do trabalho braçal, que foi substituído na agricultura moderna por máquinas e implementos. (PEREZ, 2011). Toda essa modernização da agricultura requer tecnologias cada vez mais avançadas que dependem de energia elétrica para seu funcionamento. A contrapartida dos benefícios proporcionados pelo desenvolvimento

tecnológico é o crescimento constante do consumo de energia. Para atender à demanda, os governos precisam investir cada vez mais na construção de usinas de geração, linhas de transmissão e distribuição, com sérios prejuízos ambientais.

A energia elétrica consumida pela agricultura é grande parte de origem hidráulica, adquiridas em companhias de energia. Atualmente, o fornecimento de energia elétrica brasileiro no horário de pico, é deficiente, devido aos baixos investimentos, tanto em geração quanto em transmissão e distribuição de energia elétrica. Na tentativa de adiar esses investimentos e reduzir os prejuízos sociais e ambientais, apresentam-se as políticas de uso racional da energia elétrica.

Nosso consumo de eletricidade tem crescido a uma média de 3% ao ano. Logo no início do século XXI, o Brasil estava sob a ameaça de um apagão, pois a capacidade instalada apresentava-se vulnerável até aos pequenos períodos de seca. A crise no setor elétrico brasileiro levou o governo a tomar medidas drásticas e urgentes para evitar a interrupção forçada do fornecimento de energia para vários Estado do Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste. Em 2001, o governo estabeleceu a obrigatoriedade de redução de 20% no consumo, que durou até o fim daquele ano. O problema foi resolvido com a volta das chuvas e a recuperação dos níveis dos reservatórios que abastecem as usinas hidrelétricas, o racionamento foi suspenso. No entanto, a necessidade de economizar energia ainda persiste. (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2003)

Segundo estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG (1993), se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumidas seriam economizadas; sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao redimensionamento e melhoria dos equipamentos utilizados para a irrigação. Segundo valores obtidos no mesmo trabalho realizado pela CEMIG, o consumo médio de energia de uma área irrigada é de 2.714 kWh/há por ano. Portanto, o consumo de energia elétrica para irrigação no Brasil pode ser estimado em 7.789 GWh/ano (0,9 GW), que correspondem a 1,4% da capacidade instalada de geração hidráulica do país que é de 63.3 GW.

Na Tabela 2 podemos observar a eficiência do consumo da energia elétrica para cada um dos três principais métodos de irrigação.

Tabela 2 – Eficiência no consumo de energia para os principais métodos de irrigação.

Método de irrigação.	Uso de energia (kWh/m³).
Por Superfície.	0,03 a 0,3
Por Aspersão.	0,2 a 0,6
Localizada.	0,1 a 0,4

Fonte: Marouelli, W.A. e Silva, W.L.C. (1998).

Os dados obtidos pela CEMIG também demonstram a ocorrência de um desperdício médio de cerca de 30% da energia elétrica utilizada para a irrigação. Tomando como base as estimativas feitas neste trabalho, o manejo adequado da irrigação traria um excedente ao país da ordem de 2.336 GWh/ano de energia elétrica, o que reduziria significativamente as tensões sobre esse recurso de fundamental importância para o país.

2.3.3 - Escassez de Mão-de-obra

Há cerca de 20 anos, a agricultura era basicamente manual e dependia de muitos funcionários para poucas ações. O que levou a reverter esta situação foi a automação, produzindo equipamentos com recursos de gerenciamento e controle do sistema.

Segundo o diretor técnico da Informa Economics FNP, de São Paulo, José Vicente Ferraz, a escassez de mão de obra especializada no campo deve ser a responsável por elevar os custos de produção agrícola no Brasil nos próximos anos. Ferraz expõe ainda que existem uma série de fatores que estão, a cada safra, elevando o custo de produção. São eles o crescente uso de tecnologia, a mecanização e a escassez de mão de obra. Na safra 2011/2012, este custo sofreu uma elevação de 10% em relação à safra anterior e na safra futura (2012/2013), há uma expectativa de uma alta maior.

Além da elevação de preços dos insumos agrícolas, a mecanização e a tecnologia necessárias para elevar a produtividade no campo e a mão de obra ajudarão a encarecer ainda mais o setor nos próximos anos. Tal fato também se deve por conta dos investimentos em preservação ambiental, aliada à elevação de renda do brasileiro, o que não está promovendo o desemprego, mas sim um êxodo rural. Com o aumento da renda, o trabalhador é atraído para a cidade e grande parcela desse pessoal é absorvida por setores urbanos, como a construção civil.

A escassez de mão de obra qualificada é uma das maiores preocupações dos empresários nos mais diferentes setores da economia brasileira, onde os recursos humanos se tornaram o principal insumo, e com a agricultura não é diferente. O meio rural encontrou na tecnologia uma poderosa aliada para suprir com produtividade a carência de pessoal. O investimento em tecnologia de ponta foi uma das formas encontradas para aperfeiçoar os serviços da agricultura garantindo o controle dos custos e o suprimento de mão de obra. (PEREZ, 2011).

2.4 - SISTEMA DE MICROASPERSÃO

São muitas as vantagens da utilização da aspersão, como por exemplo, a operação fácil e cômoda, a rápida adaptação dos operadores, adaptabilidade do sistema às condições topográficas e geométricas do terreno, possui alta eficiência de aplicação, assim como o domínio e o controle da mesma, sendo possível adequar a intensidade de aplicação a todos os tipos de solo. O conhecimento das vantagens e limitações da aspersão é importante na escolha e implantação do sistema, e permite a utilização racional do sistema de irrigação escolhido. (FRIZZONE, 1992).

Os aspersores podem ser considerados como o principal componente do sistema de irrigação, pois são eles os responsáveis pela distribuição da água na superfície do terreno, através de um ou mais bocais, sob forma de precipitação. Normalmente um aspersor é constituído de: braço oscilante, mola de controle, cabeçote, defletor, bocal e corpo.



Figura 8 – Microaspersores John Deere S2000.
Fonte: John Deere.

2.4.1 - Escolha do Aspersor

Um espectro variado de critérios pode ser utilizado na seleção do aspersor a ser utilizado, entre elas temos a pressão de serviço, a vazão, alcance do jato, tamanho de gotas, ângulo de lançamento do jato de água, etc. (VIEIRA, 1996).

Na hora da escolha do tipo de aspersor a ser utilizado no sistema de irrigação por aspersão, devem-se considerar alguns fatores como: cultura, tipo de solo, qualidade da água, manejo da irrigação, condições desejadas na aplicação da água (pressão, vazão, horários), mão-de-obra, cálculos econômicos entre outros. Por outro lado, devem-se considerar as características do próprio aspersor como: eficiência de aplicação, coeficiente de uniformidade, intervalo de pressão e vazão no qual trabalha, funcionamento em condições de vento, etc. (FRIZZONE, 1992).

Na seleção dos aspersores devem-se utilizar as tabelas fornecidas pelos fabricantes. Estas tabelas fornecem as características e especificações de cada modelo de aspersor, como por exemplo: o diâmetro dos bocais (mm), a pressão de serviço (mca), a vazão (m³/hora ou litro/hora), diâmetro de alcance (m), a precipitação (mm/hora), sendo estes valores de precipitação específicos para cada

variação na disposição dos aspersores, ou seja, de acordo com o espaçamento adotado.

Tabela 3 - Tabela utilizada para seleção de aspersores

CARACTERÍSTICAS				ESPAÇAMENTO (m)				
Diâmetro dos bocais (mm)	Pressão (mca)	Raio (m)	Vazão (m ³ /h)	6 X 12	12 X 12	12 X 18	18 X 18	18 X 24
				Intensidade de Aplicação (mm/h)				
4.50 X 3.20	15	14.31	0.95	13.19	6.60	4.40	2.93	2.20
	20	14.72	1.10	15.28	7.64	5.09	3.40	2.55
	25	15.05	1.24	17.22	8.51	5.74	3.83	2.87
	30	15.32	1.36	18.89	9.44	6.30	4.20	3.15
	35	15.56	1.47	--	10.21	6.81	4.54	3.40
	40	15,76	1.57	--	10.90	7.27	4.85	3.63
	45	15.95	1.67	--	11.60	7.73	5.15	3.87

Fonte: Agropolo (2011).

A tabela acima mostra a relação das variantes que devem ser consideradas para a escolha do tipo de aspersor que melhor se enquadra em determinado sistema de irrigação.

2.4.1.1 - Coeficiente de variação de fabricação

Na escolha de um aspersor, deve-se considerar a variação existente entre os emissores, decorrente do processo de fabricação. A fabricação deverá ser exata, uniforme e constantemente monitorada, pois pequenas variações poderão causar grandes diferenças de vazão (VIEIRA, 1996).

O Coeficiente de Variação de Fabricação é um importante fator que influencia a uniformidade de emissão de água e, portanto, a eficiência do sistema de irrigação. Torna-se importante, então, quando se seleciona um emissor, conhecer o Coeficiente de Variação que é fornecido pelo fabricante em seus manuais.



Figura 9 - Exemplos de diferentes modelos de microaspersores
Fonte: Amanco (2010).

2.5 - AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

O processo de automatizar um projeto de maneira simplificada se resume à emissão de sinais elétricos feitos pelo micro controlador central, os quais são recebidos por acessórios, válvulas elétricas e relês (MEYER, 2005). Para viabilizar a automação de um sistema de irrigação é necessário que seja realizado o levantamento dos dados hidráulicos e de equipamentos instalados, servindo para a determinação da melhor estratégia de controle e para a escolha dos recursos de hardware ou software necessários para a aplicação no sistema. A irrigação automatizada consiste, basicamente, em um sistema hidráulico controlado por um controlador eletrônico. O sistema é composto por uma casa de bombas que capta a água de um reservatório e, utilizando uma rede de dutos, lançam água sobre a superfície através de emissores de rega, no caso, os aspersores. (MEYER, 2005).

No Brasil, a automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade nos últimos anos, principalmente em função do surgimento de técnicas apropriadas que vem acompanhando a modernização crescente da agricultura e abertura do mercado brasileiro às importações, principalmente com relação à irrigação localizada. A necessidade da busca da otimização dos recursos produtivos, da competitividade, do aumento de produtividade e da redução de custos, levam a uma tendência de implantação de novas tecnologias aos métodos de irrigação. A automação se faz necessária não somente pela possibilidade de

diminuição dos custos com mão de obra, mas principalmente por necessidades operacionais, tais como irrigação de grandes áreas no período noturno.

Os sistemas de automação para irrigações têm sido, neste século, uma tecnologia de profunda repercussão, cuja importância provém não só de substituir o trabalho humano nas tarefas monótonas e/ou cansativas, mas também, e principalmente, do fato de permitir sensível melhoria na qualidade dos processos, com pequena elevação no custo do equipamento (Castrucci, 1969).

2.5.1 - Vantagens da Automação dos Sistemas de Irrigação

As principais vantagens em se automatizar um sistema de irrigação são as seguintes:

- ✓ Diminuição de mão de obra;
- ✓ Possibilita irrigações noturnas sem necessidade de acompanhamento;
- ✓ Diminui a potência de acionamento;
- ✓ Diminui custo de bombeamento;
- ✓ Precisão nos tempos e turnos de irrigação;
- ✓ Eficiência na aplicação de água;
- ✓ Eficiência no consumo de energia.

Por essas vantagens, pode-se ver que uma simples automação supre muita das necessidades de exploração racional e rentável, tais como otimização dos recursos produtivos e redução de custo. Essas vantagens podem ser melhor visualizadas na tabela a seguir, onde foram feitas análises comparativas em uma área de 9,31 hectares do Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos da (UNESP), Universidade Estadual de São Paulo, plantada com uva, aplicando-se uma lâmina de água de 8mm/dia e um volume de 68 litros por planta por dia. O sistema de irrigação utilizado foi a microaspersão.

Tabela 4 – Comparativo entre um sistema de irrigação manual e automático.

ITENS	MANUAL	AUTOMÁTICO
Número de setores	05	10
Vazão do emissor (l/h)	120	120
Vazão do sistema (m³/h)	83	41,5
Tempo de irrigação/setor (h)	1,93	1,93
Tempo de funcionamento total (h)	9,65	19,3
Diâmetro da adução (polegadas)	6"	4"
Potência de acionamento (cv)	50	25
Custo do equipamento (R\$)	55.125,00	46.500,00

Fonte: Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – UNESP.

2.5.2 - Sensores

Sensor é a designação de dispositivos sensíveis a alguma forma de energia do ambiente que pode ser luminosa, térmica, cinética, relacionando informações sobre uma grandeza física que precisa ser mensurada como: temperatura, pressão, corrente, aceleração, posição, etc. Na eletrônica, um sensor é conhecido como qualquer componente ou circuito eletrônico que permita a análise de uma determinada condição do ambiente, podendo ela ser algo simples como temperatura ou luminosidade; uma medida um pouco mais complexa como a rotação de um motor ou a distância de um carro até algum obstáculo próximo. (TOMAZINI & ALBUQUERQUE, 2005).

Apesar de ser imensa a variedade de sensores eletrônicos, podemos dividi-los basicamente em dois tipos: sensores analógicos e sensores digitais. Essa divisão é feita de acordo com a forma a qual o componente responde à variação da condição. Os sensores analógicos são os dispositivos mais comuns. Tais sensores são assim designados, pois se baseiam em sinais analógicos. Sinais analógicos são aqueles que, mesmo limitados entre dois valores de tensão, podem assumir infinitos valores intermediários. Isso significa que, pelo menos teoricamente, para cada nível da condição medida, haverá um nível de tensão correspondente. (SUZUKI, 2014).

Já os sensores digitais baseiam-se em níveis de tensão bem definidos. Tais níveis de tensão podem ser descritos como Alto (High) ou Baixo (Low), ou simplesmente “1” e “0”. Ou seja, esses sensores utilizam lógica binária, que é a base do funcionamento dos sistemas digitais. Ao contrário de um sensor analógico, onde os valores possíveis são teoricamente infinitos, um sensor digital poderá apenas alternar entre certos estados bem definidos, não sendo possível haver um valor intermediário entre eles. (SUZUKI, 2014).

Os dados gerados pelos sensores são gerenciados pelo controlador na forma direta ou na de simulação do comportamento de determinada variável, e são utilizados para definir o manejo adequado. Existem hoje no mercado diversos sensores de tipos e preços diversos. Porém a escolha dos sensores depende de uma série de fatores. Cada projeto tem as suas especificações, necessidades e limitações, ou seja, a necessidade de cada projeto vai determinar o tipo de sensor necessário ao sistema. (MAXWELL BOHR, 2006).

2.5.3 – Sensores de Umidade

Para o sucesso de qualquer atividade agrícola, seja ela de pequeno ou grande porte, é importante controlar a umidade do solo a fim de garantir o aproveitamento eficiente da água para as culturas, especialmente em períodos de estresse hídrico, que no Brasil usualmente ocorre no inverno. Em atividades agrícolas de pequeno porte, como é o caso da produção de hortaliças e frutas, este cuidado é de extrema importância para garantir uma boa produção e renda para os produtores (Bayer et al., 2013).

Para que se possa entender o sensor utilizado no projeto é necessário conhecer um pouco sobre métodos de determinação da umidade do solo.

Existem métodos diretos e indiretos de determinação da umidade do solo. Dentre os métodos diretos, o gravimétrico é o mais utilizado, consistindo em amostrar o solo e, por meio de pesagens, determinar a sua umidade gravimétrica, relacionando a massa de água com a massa de sólidos da amostra ou a umidade volumétrica, relacionando o volume de água contido na amostra e o seu volume. O método gravimétrico possui a desvantagem de necessitar de 24 horas ou mais para obter o resultado. Contudo, é o método-padrão para calibração dos métodos

indiretos. Já os métodos indiretos possuem determinação instantânea da umidade do solo, o que os tornam mais adequados para indicar o início e a duração da irrigação. Os principais métodos indiretos baseiam-se em medidas como a moderação de nêutrons, a resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a constante dielétrica do solo e a tensão da água no solo. Essas são características do solo que variam com a sua umidade. (NEVES, 2012).

A seguir estão descritos quatro sensores de umidade do solo que são utilizados em sistemas de irrigação inteligente.

2.5.3.1 - Blocos de resistência elétrica

Normalmente fabricados de gesso, os blocos de resistência elétrica, são elementos porosos com eletrodos inseridos, cuja passagem de corrente elétrica entre estes eletrodos, causada principalmente pela solubilização em água dos seus eletrólitos componentes (Ca^{2+} e SO_4^{2-}), é função não linear da tensão da água no solo. Estes blocos de gesso requerem calibração individual periódica, já que sua resposta deteriora no tempo, principalmente em solos com tensão de água baixa, que causem importante solubilização e movimentação do cálcio e do sulfato. Apresenta a vantagem de ser um sensor de baixo custo, ser de fácil fabricação e possuir uma ampla faixa de resposta. No entanto, a deterioração da resposta no tempo, e a necessidade de calibração individualizada dos sensores são suas desvantagens. (NEVES, 2012).

2.5.3.2 - Tensiômetro

O tensiômetro é formado por cápsulas porosas contendo água em sua cavidade que são dispositivos de medição de tensão ou sucção que são mantidos em contato com a superfície do solo, ou neste inserido. Em equilíbrio, sua leitura é diretamente a tensão da água no solo, em unidade de energia dividida por volume (pressão). (NEVES, 2012).

As principais vantagens do tensiômetro são que além de sua construção ser fácil ele não necessita de calibração. Sua principal limitação é necessitar freqüentes manutenções, visto que acontece um acúmulo de ar na cavidade da cápsula porosa,

o que ocorre com velocidade crescente, sempre que a tensão da água no solo supera 30 kPa. Por esta razão, o tensiômetro não é um sensor adequado para a automatização de sistemas não assistidos. Outras desvantagens do tensiômetro é o contato precário com o solo, na sua construção como haste cilíndrica rígida. O mau contato diminui consideravelmente a condução de água entre o solo e a cápsula porosa. Nesse caso a resposta pode desenvolver-se com inaceitável atraso. (NEVES, 2012).

2.5.3.3 - Condutividade térmica

Um método confiável de se estimar a tensão da água no solo é através do acompanhamento da condutividade térmica de cápsulas porosas de acordo com sua impregnação com água. Neste caso, a variação da massa de água na cápsula porosa é acompanhada através dos seus efeitos diretos sobre a condutividade térmica. O sensor de tensão de água por condutividade térmica é constituído de uma fonte de calor, com dissipação térmica ajustada e estável, usualmente uma resistência elétrica centralizada, e de um sensor para acompanhar a diferença de temperatura entre dois pontos, ao longo do raio de cápsulas porosas cilíndricas. Neste sistema, cada cápsula porosa precisa ser calibrada, individualmente, e a relação entre a tensão de água e a diferença de temperatura medida não é linear e aumenta conforme o solo seca. (NEVES, 2012).

2.5.3.4 - Irrigás

O Irrigás é fabricado com cápsulas porosas de tensão crítica de água apropriada a cada cultivo. Estas cápsulas porosas, hidrofílicas, entram em equilíbrio de tensão de água com o solo. Assim, quando o solo seca, acima da denominada tensão crítica, alguns poros se esvaziam o que torna o sensor permeável à passagem de gás. A tensão crítica do Irrigás determinada com a aplicação de pressão até iniciar-se o borbulhamento de cápsulas imersas em água, ou com o auxílio da câmara de Richards, descrita para o preparo de curvas de retenção de água de solos. A tensão crítica é o parâmetro necessário para o uso do Irrigás, de modo que o manejo da irrigação com este sensor é efetuado, automaticamente ou

não, com o uso de leituras da passagem do gás através da cápsula porosa. (NEVES, 2012).

A simplicidade de fabricação e uso, o baixo custo e a linearidade de resposta nas medições de tensão de água em função da pressão de gás aplicado são as principais vantagens do Irrigás. Como limitação, é comum o Irrigás necessitar de manutenção após cada ciclo da cultura, pois sua superfície porosa pode sofrer impregnação com partículas finas de argila e matéria orgânica, se utilizado com pressão negativa. (NEVES, 2012).

2.5.3.5 - Sensor escolhido para o projeto

Devido ao baixo custo e à facilidade de manuseio e operação, decidiu-se usar um sensor de umidade de solo higrômetro com módulo para conexão, que é um sensor que usa o princípio de blocos de resistência elétrica para medir a umidade do solo e que atende aos requisitos necessários para o projeto. O tipo de sensor utilizado é um sensor ativo, ou seja, necessita de fonte de energia externa para funcionar. A principal diferença entre um sensor passivo e ativo é a quantidade de pinos, pois geralmente o sensor passivo tem apenas 2 pinos e o sensor ativo possui três pinos, onde o terceiro é a fonte de energia. (NEVES, 2012).

Seu funcionamento baseia-se na condutividade elétrica. Este sensor utiliza dois eletrodos para passar corrente pelo solo e lê o nível de umidade por comparação com a resistência do potenciômetro do módulo do sensor. Quando o solo estiver seco, a sua resistência aumenta, dificultando a passagem de corrente. Com a absorção da água, a resistência do solo diminui permitindo a passagem de corrente entre os eletrodos e fechando, desta forma, o circuito. Dessa forma, pode-se definir quando o solo está molhado, ou quando está seco. (NEVES, 2012).

Este higrômetro é composto por uma sonda e por um módulo de comunicação. Esse módulo fornece tanto uma saída digital (D0), como uma saída analógica (A0). O sinal digital é ajustado para que tenha valor lógico 1 quando a umidade for maior do que um valor predefinido, ajustado através do potenciômetro presente no módulo.

2.5.4 – Sensores Fotoelétricos

Um dos objetivos deste trabalho é a inclusão do agricultor no Programa de Irrigação Noturna (PIN) e para tanto, a rega deve ser, obrigatoriamente, realizada no período noturno. Para garantir que o sistema opere no horário noturno, uma das condições iniciais é de que esteja noite. Com o intuito de verificar essa condição, é necessária a utilização de um sensor de luminosidade para dizer quando é noite. Pelo baixo custo e pela facilidade de montagem e operação, optou-se por utilizar um LDR, também chamado de célula fotocondutiva, ou ainda de foto resistência.

O LDR (Light Dependent Resistor) , como o próprio nome diz, é um resistor cuja resistência varia em função da luminosidade que incide sobre ele, devido ao material fotossensível que cobre o componente. Os LDRs são compostos por sulfeto de cádmio (CdS), um material semiconductor, que é disposto num traçado ondulado na superfície do componente. Esse material tem a propriedade de diminuir sua resistência à passagem da corrente elétrica quando a luminosidade sobre ele aumenta. Ao iluminarmos um LDR, a sua resistência apresenta valores muito baixos. Ao cortarmos a iluminação, a resistência sobe. Esta característica possibilita a utilização deste componente para desenvolver um sensor que é ativado (ou desativado) quando sobre ele incidir certa luminosidade. (TOMAZINI & ALBUQUERQUE, 2005).

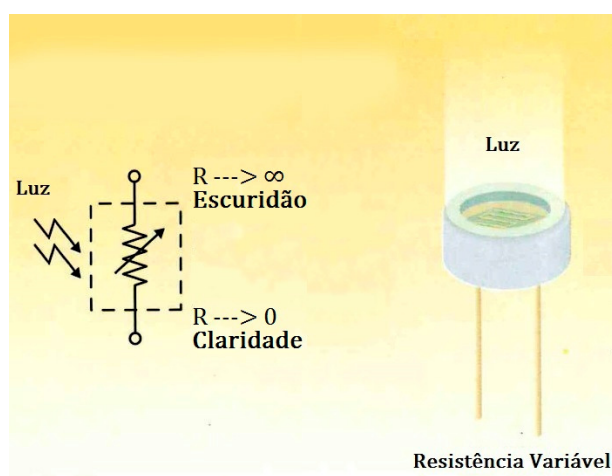


Figura 10 - Representação do Funcionamento do LDR.

Fonte: Saber Eletrônica.

Através dessa característica pode-se utilizar esse sensor para detectar a luminosidade do ambiente, para tomar uma decisão, como por exemplo, ligar uma lâmpada, como ocorre nas fotocélulas, ou ligar uma válvula, no caso do projeto, onde iremos fazer a leitura do sensor LDR, através de uma entrada analógica do Arduino, que irá converter o sinal analógico em digital, entre 0 à 1024 conforme a quantidade de luz no ambiente. Com este valor pode-se verificar a variação luminosa no terminal serial, e acionar a válvula através do relê.

A aplicação mais conhecida do LDR é, sem dúvida, na iluminação pública, onde ele é utilizado para que, de acordo com a claridade do ambiente, sejam acionadas ou desligadas as lâmpadas automaticamente, sem que haja a necessidade de alguém para controlá-las. Os LDRs são também utilizados em câmeras para medir o nível de luz do ambiente, permitindo assim o controle do tempo de exposição para a captura de uma boa imagem. Utilizações menos usuais desses componentes foram em mísseis que seguem o calor emanado pelos aviões e em detectores de radiação infravermelha para pesquisas astronômicas. (SABER ELETRÔNICA, 2006).



Figura 11 – LDR utilizado no projeto.
Fonte: Autora.

O programa para este circuito lê o valor da porta analógica (que deve estar na faixa de 0 a 1024), verificando se o valor é maior do que 150 (LDR encoberto =

noite) e conseqüentemente, habilitando o sistema. No circuito também foi usado um resistor de 10K para o LDR.



**Figura 12 – Resistor de 10 k utilizado no projeto.
Fonte: Autora.**

2.5.5 - Controladores

O controlador eletrônico em um sistema de irrigação é considerado o "gerente" da irrigação. É ele que armazena e processa todas as informações nele embutidas e faz o equipamento trabalhar de forma ordenada e eficaz. Portanto, basta saber lançar as informações e deixar por conta dele.

Em geral os controladores apresentam uma fonte de alimentação de 110 ou 220V, com saída para as válvulas de 24 VAC, possuem de 2 a 4 programas independentes, programação dos dias da semana, 3 a 16 horários de partida ("start"), tempo programado em minutos e horas, mantém a hora, data e programação em caso de queda de energia utilizando pilha alcalina 9 volts, programação individual semi-automática ou manual e admitem o acoplamento de sensor de chuva, ou outros sensores de controle da irrigação. Vários são os fabricantes destes controladores. (SUZUKI; HERNANDEZ, 1999, p.01).



Figura 13 – Modelo de controlador de irrigação.
Fonte: Hunter.

Controladores podem ser dispositivos simples, que controlam uma única linha de água com um par de pontos de aspersão ou sistemas extremamente complexos com quilômetros de linhas de água e centenas de pontos de aspersão. (SOUZA, 2001). Dependendo do tipo de instalação, o controlador de irrigação pode ser uma caixa pequena e discreta ligado a uma torneira de jardim ou possuir uma sofisticada configuração de computador de base, tais como aqueles usados para irrigar campos de golfe e outras propriedades.

2.5.6 - Microcontroladores

O microcontrolador é um dispositivo semicondutor em forma de circuito integrado, que integra as partes básicas de um microcomputador - microprocessador, memórias não-voláteis e voláteis e portas de entrada e saída. Geralmente, é limitado em termos de quantidade de memória, principalmente no que diz respeito à memória de dados, é utilizado em aplicações específicas, ou seja, naquelas que não necessitam armazenar grandes quantidades de dados, como automação residencial, automação predial, automação industrial e automação embarcada. (GIMENEZ, 2005, p. 4).

O microcontrolador é um pequeno componente eletrônico, dotado de uma inteligência programável, utilizado no controle de processos lógicos. É pequeno porque em uma única pastilha de silício encapsulada existem todos os componentes

necessários ao controle de um processo. Dotado de inteligência programável porque possui uma Unidade Lógica Aritmética, onde todas as operações matemáticas e lógicas são executadas. E toda essa lógica é estruturada na forma de um programa e gravada dentro do componente, então, toda vez que o microcontrolador for alimentado o programa interno será executado.

Utilizado no controle de processos, que deve ser entendido como o controle de periféricos como led, displays, relés, sensores, etc. São chamados de controles lógicos porque a operação do sistema baseia-se nas ações lógicas que devem ser executadas, dependendo do estado dos periféricos de entrada e saída. São inúmeras aplicações, muitas vezes possuindo não um, mas vários microcontroladores, que juntamente com seus softwares, agregam valor e viabilizam a produtos com maiores funcionalidades, eficiência, usabilidade e segurança. Os sistemas microcontrolados estão presentes nas mais diversas áreas, dentre as quais estão a automação industrial, automação comercial, automação predial, área automobilística, agrícola, produtos manufaturados, eletrodomésticos, telecomunicações, etc.

2.5.7 – Arduíno

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica, criado por Massimo Banzi e David Cuartielles em 2005 com objetivo de permitir o desenvolvimento de controle de sistemas interativos, de baixo custo e acessível a todos. O projeto foi criado pensando em artistas e armadores, ou seja, não é necessário ter conhecimentos prévios em eletrônica ou programação para iniciar-se no mundo Arduino. (SABER ELETRÔNICA, 2006).

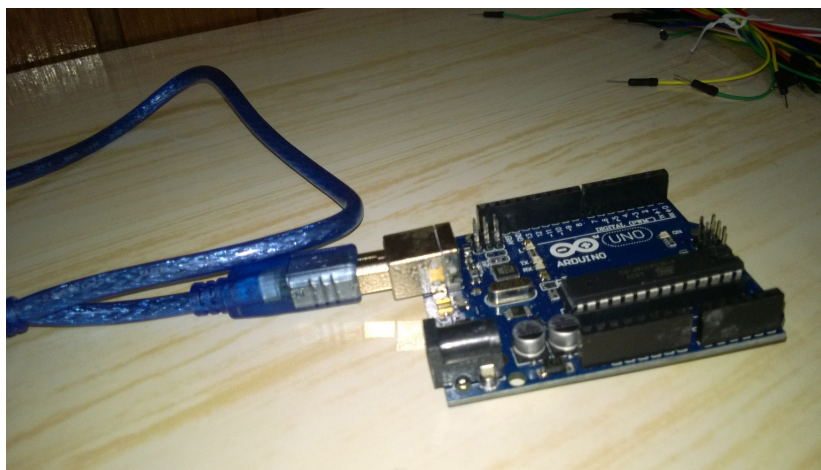
Com o Arduino é possível também enviar e receber informações de praticamente qualquer outro sistema eletrônico. Desta forma é possível construir, por exemplo, um sistema de captação de dados de sensores, como temperatura, iluminação, processar e enviar esses dados para um sistema remoto por exemplo. Outra característica importante é que todo material (software, bibliotecas, hardware) é open-source, ou seja, pode ser reproduzido e usado por todos sem a necessidade de pagamento de royalties ou direitos autorais. (SABER ELETRÔNICA, 2006).

A plataforma é composta essencialmente de duas partes: O Hardware e o Software.

2.5.7.1 – Hardware.

Resumidamente o hardware é uma placa eletrônica que:

- Possui todos componentes necessários para a maioria dos projetos;
- Contém uma eletrônica que permite usar a placa com diversas fontes de energia, baterias e fontes de alimentação;
- Permite o acoplamento de circuitos externos através de pinos de conexão em posições padronizadas;
- A eletrônica é baseada em componentes de fácil obtenção, inclusive no mercado brasileiro;
- O esquema da placa é livre, e pode ser facilmente modificado ou adaptado;
- A placa é programada, ou seja, escrevemos um software que ficará embutido no chip controlador (firmware).



**Figura 14 – Placa Arduino Uno utilizado no projeto.
Fonte: Autora.**

O hardware do Arduino é muito simples, porém muito eficiente. Esse hardware é composto dos seguintes blocos, explicados abaixo:

- Fonte de Alimentação - Recebe energia externa, filtra e converte a entrada em duas tensões reguladas e filtradas;
- Núcleo CPU - Um computador minúsculo, mas poderoso responsável por dar vida à placa;
- Entradas e Saídas - A CPU vem completa com diversos "dispositivos" embutidos dentro do chip;
- Pinos com Funções Especiais - Alguns pinos possuem hardware embutido para funções especiais;
- Firmware - Programa que carregamos dentro da CPU com nossas instruções de funcionamento da placa.

Abaixo está uma figura com a setorização dos blocos acima citados.

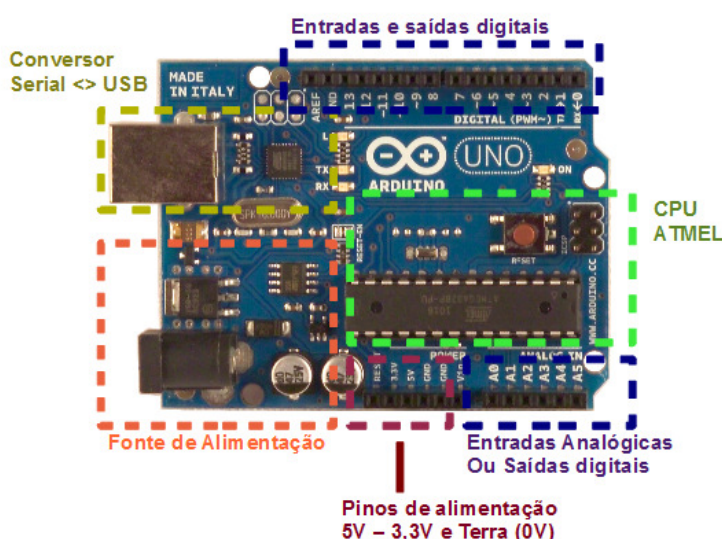


Figura 15 – Setorização dos blocos do Arduino Uno R3.
Fonte: Saber Eletrônica.

O núcleo de processamento de uma placa Arduino é um micro controlador, uma CPU, um computador completo, com memória RAM, memória de programa (ROM), uma unidade de processamento de aritmética e os dispositivos de entrada e saída. Tudo em um chip só. E é esse chip que possui todo hardware para obter dados externos, processar esses dados e devolver para o mundo externo. Os desenvolvedores do Arduino optaram em usar a linha de micro controladores da empresa ATMEL. A linha utilizada é a ATMega. Existem placas Arduino oficiais com diversos modelos desta linha, mas os mais comuns são as placas com os chips

ATMega8, ATMega162 e ATMega328p. Esses modelos diferem na quantidade de memória de programa (ROM) e na configuração dos módulos de entrada e saída disponíveis. (SABER ELETRÔNICA, 2006).

2.5.7.2 – Entradas e saídas

O chip utilizado na placa Arduino Uno é um Atmega328p-PU. Possui 28 pinos de conexões elétricas, 14 de cada lado. É através desses pinos que podemos acessar as funções do micro controlador, enviar dados para dentro de sua memória e acionar dispositivos externos. (DATASHEET ATMEGA). No Arduino, os 28 pinos deste micro controlador são divididos da seguinte maneira:

- 14 pinos digitais de entrada ou saída (programáveis)
- 6 pinos de entrada analógica ou entrada/saída digital (programáveis)
- 5 pinos de alimentação (gnd, 5V, ref analógica)
- 1 pino de reset
- 2 pinos para conectar o cristal oscilador

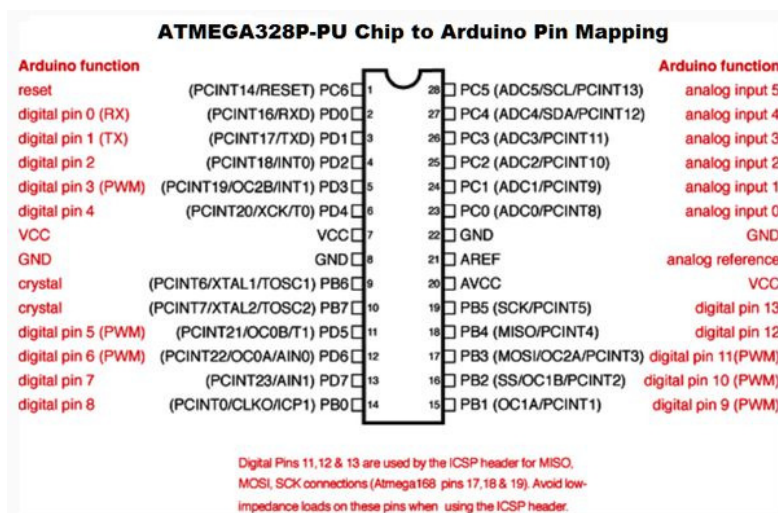


Figura 16 – Pinagem do micro-processador Atmega328p-PU.
Fonte: Atmel.

Os dois primeiros itens da lista são os pinos úteis, disponíveis para o usuário utilizar. Através destes pinos que o Arduino é acoplado à eletrônica externa.

Entre os 14 pinos de entrada/saída digitais temos 2 pinos que correspondem ao módulo de comunicação serial USART. Esse módulo permite comunicação entre

um computador (por exemplo) e o chip. Todos os pinos digitais e os analógicos possuem mais de uma função. Os pinos podem ser de entrada ou de saída, alguns podem servir para leitura analógica e também como entrada digital. As funções são escolhidas pelo programador, quando escreve um programa para a sua placa. (DATASHEET ATMEGA).



Figura 17 – Localização das entradas e saídas da placa.
Fonte: Saber Eletrônica.

2.5.7.3 – Software

O Arduino possui um compilador gcc (C e C++) baseado em Wiring e que usa uma interface gráfica construída em Java baseado no projeto Processing. (SITE ARDUINO). Tudo isso se resume a um programa IDE (ambiente de desenvolvimento integrado) muito simples de usar e de estender com bibliotecas que podem ser facilmente encontradas na internet.

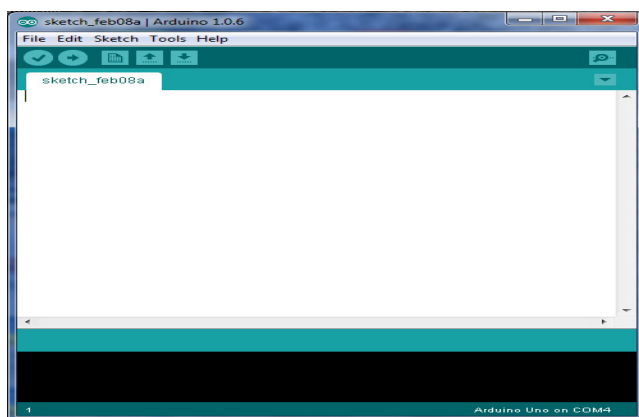


Figura 18 – IDE para programação.
Fonte: Autora.

Depois de criar o programa e compilar usando a IDE, o código gerado é enviado para a placa onde é gravado dentro do chip controlador. Esse software que roda na placa chama-se FIRMWARE. As funções da IDE do Arduino são basicamente duas: Permitir o desenvolvimento de um software e enviá-lo à placa para que possa ser executado. (SITE ARDUINO).

2.5.7.4 – Construindo um Protótipo

O processo de construção de um circuito de controle básico resume-se à:

- Escrever um programa usando a interface de desenvolvimento do Arduino;
- Conectar a placa do Arduino no computador através de um cabo (USB é o mais comum);
- Compilar o programa escrito;
- Enviar o programa compilado para a placa e observar o funcionamento.

2.5.7.5 – Gravando o programa na placa

O processo para gravar o programa na placa envolve a preparação da IDE, porém uma preparação externa deve ser realizada: a conexão da placa no PC e a sua energização. A maior parte das placas que possuem entrada USB para gravação, também recebem os 5 Volts necessários para o seu funcionamento diretamente da porta USB. Neste caso, você só precisa conectar a placa ao PC para seguir. Geralmente essas placas acendem um LED quando está tudo certo. Note na figura 19 abaixo que o LED verde está aceso, indicando que a placa está energizada. (SITE EMBARCADOS).

Então, se a verificação/compilação do programa ocorrer com sucesso, pode-se gravar o programa na placa. Para isso, pressionamos o segundo botão na barra de botões da IDE: o botão "Upload". O console nos informa que o upload foi realizado com sucesso. Neste momento o LED laranja da placa começa a piscar como pode ser visto na figura abaixo. (SITE EMBARCADOS).



Figura 19 – Conexão do Arduino ao PC.
Fonte: Autora.

2.5.8 – Válvulas Solenóides

Para irrigação, as válvulas são utilizadas principalmente para setorizar diferentes áreas de irrigação e/ou aumentar a pressão utilizando diferentes bombas. Existem diversos tipos de válvulas que podem ser utilizadas em irrigação e seu acionamento pode ocorrer basicamente de quatro formas: manual, elétrico, hidráulico e pneumático. (PEREZ, 2011).

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



Figura 20 - Válvula solenóide Hunter PGM.
Fonte: Hunter.

A válvula solenóide é um equipamento que tem muitas utilizações na área de controle de fluidos em tubulações, principalmente de modo digital (liga-desliga). Ela é formada por duas partes principais, que são: corpo e a bobina solenóide. Possui uma bobina que é formada por um fio enrolado através de um cilindro. Quando uma corrente elétrica passa por este fio, ela gera uma força no centro da bobina solenóide, fazendo com que o êmbolo da válvula seja acionado, criando assim o sistema de abertura e fechamento. Outra parte que compõe a válvula é o corpo. Este, por sua vez, possui um dispositivo que permite a passagem de um fluido ou não, quando sua haste é acionada pela força da bobina. Esta força é que faz o pino ser puxado para o centro da bobina, permitindo a passagem do fluido. O processo de fechamento da válvula solenóide ocorre quando a bobina perde energia, pois o pino exerce uma força através de seu peso e da mola que tem instalada. (RIBEIRO, 1999).

A válvula solenóide pode estar acoplada a um relé, para operar contatos elétricos. Os contatos são abertos ou fechados, conforme a energização - desenergização da bobina. São disponíveis na construção normalmente fechada ou normalmente aberta. A válvula normalmente fechada abre, quando se aplica corrente (energiza) e fecha quando a corrente é cortada (desenergizada). A válvula normalmente aberta fecha quando a corrente é aplicada e abre quando a corrente é cortada. Os termos normalmente aberto ou normalmente fechado se referem à posição antes da aplicação da corrente. (PEREZ, 2011). São usualmente empregadas com válvulas globo liga desliga com haste deslizante. Há basicamente quatro tipos de operação, tais como: Ação direta, operada por piloto interno, operada por piloto externo e com sede e disco semibalancedos. (RIBEIRO, 1999).

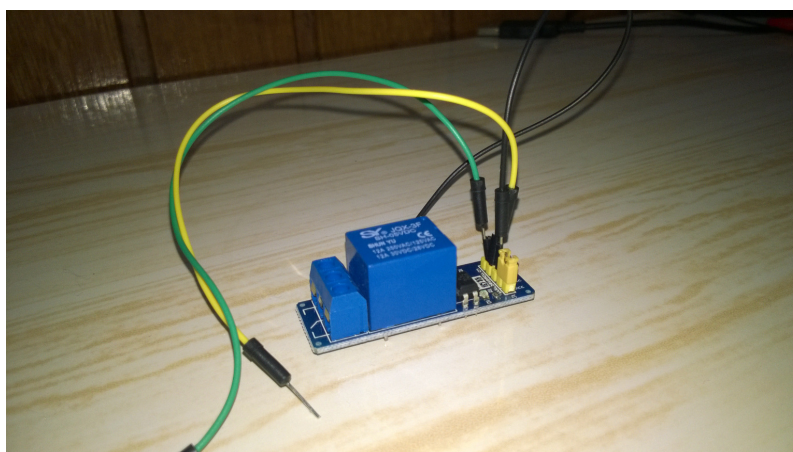
A válvula solenóide usada no projeto é uma válvula de máquina de lavar roupas, posição inicial normalmente fechada, que possui tensão de alimentação de 220V. Essa válvula foi escolhida por atender as necessidades do projeto, ser de fácil manuseio e baixo custo. A foto abaixo mostra a válvula solenóide usada no projeto.



**Figura 21 – Válvula solenóide utilizada no projeto.
Fonte: Autora.**

2.5.8.1 – Relé de acionamento da válvula solenóide

Para acionar a válvula, foi usado um módulo relé de 5V. O relé funciona como interface entre o microcontrolador e a válvula de solenóide. A figura 22 ilustra o relé utilizado no projeto.



**Figura 22 – Módulo relé 5 volts utilizado no projeto.
Fonte: Autora.**

Um relé eletromecânico comum é um interruptor ou chave eletromecânica, acionado quando se estabelece uma corrente através de uma bobina. Quando se aplica uma tensão na bobina, uma corrente circula, criando um campo magnético que atrai a armadura e, portanto, aciona o sistema de contatos. Uma importante característica do relé é que ele pode ser energizado com correntes muito pequenas

em relação à corrente que o circuito controlado exige para funcionar. Isso significa a possibilidade de se controlar circuitos de altas correntes como motores, lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos fracos como transistores e circuitos integrados. (RIBEIRO, 1999).

3 - DESCRIÇÃO DE HARDWARE E SOFTWARE

Este capítulo aborda, de forma detalhada, as especificações dos dispositivos utilizados e seu funcionamento nesse projeto, a parte física e a parte lógica, o hardware e os softwares respectivamente.

3.1 - HARDWARE

3.1.1 - Materiais Utilizados Para a Elaboração do Projeto

Os materiais utilizados para a confecção do projeto foram:

- 1 placa de desenvolvimento Arduino Uno R3;
- 1 sensor fotoelétrico LDR 10mm;
- 1 sensor de umidade higrômetro;
- 1 módulo relé de 5 V;
- 1 válvula solenóide de máquina de lavar roupas 220 V;
- 1 resistor de 10 K;
- 1 placa protoboard;
- Conectores de tamanhos variados;
- Plugue e tomada;
- Mangueira de chuveiro,
- Recipiente para armazenamento de água.

O custo de construção de todo o sistema eletrônico foi relativamente baixo, ficando por volta de R\$ 150,00.

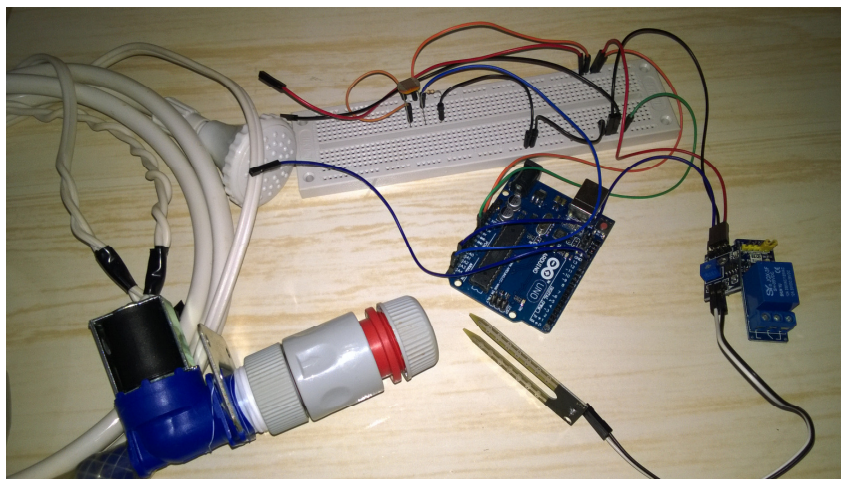


Figura 23 – Materiais utilizados no projeto.
Fonte: Autora.

3.2 - SOFTWARE

Para a elaboração do projeto foi necessária a utilização dos softwares listados abaixo:

3.2.1 – PIC C Compiler CCS

Existem diversas opções de compiladores C para a linha PIC, e um dos mais utilizados é o PICC CCS produzido pela Custom Computer Services. O CCS é um compilador de linguagem C muito utilizado para a confecção de programação. Ele também realiza a embarcação do programa no microcontrolador. O CCS fornece um conjunto de ferramentas completo e integrado para desenvolvimento e depuração de aplicações embarcadas em execução no PIC Microchip ® MCUs e dsPIC ® DSCs.

O compilador PIC C Compiler CCS é desenvolvido pela CCS Inc. e abrange toda a linha de microcontroladores PIC. Este compilador possui uma interface própria onde é possível criar projetos, editar o código fonte, compilar e, utilizando-se do Gravador e Depurador ICD-U64 (desenvolvido pela própria CCS), é possível a programação e depuração do microcontrolador diretamente pela interface. A CCS oferece uma versão de demonstração de seu compilador válida por um período de 45 dias sem limite no tamanho do programa e totalmente funcional para toda a linha de microcontroladores PIC. (SITE CCS).

3.2.2 - Proteus ISIS

O Proteus ISIS é um software de desenho e simulação muito útil para estudantes e profissionais que desejam acelerar e melhorar suas habilidades para o desenvolvimento de aplicações analógicas e digitais. Ele permite o desenho de circuitos empregando um entorno gráfico no qual é possível colocar os símbolos representativos dos componentes e realizar a simulação de seu funcionamento sem o risco de ocasionar danos aos circuitos.

A simulação pode incluir instrumentos de medição e a inclusão de gráficas que representam os sinais obtidos na simulação. O que mais interesse despertou é a capacidade de simular adequadamente o funcionamento dos microcontroladores mais populares (PIC8, ATMEGA-AVR, Motorola, 8051, etc.) Também tem a capacidade de transferir o desenho a um programa integrado chamado ARES no qual se pode levar a cabo o desenvolvimento de placas de circuitos impressos. (MANUAL PROTEUS).

4 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO PROPOSTO

4.1 - MODELAGEM DO SISTEMA

O primeiro passo para a implementação do sistema foi o levantamento dos pré requisitos necessários à implantação e funcionamento do projeto. Após esse levantamento, estudo das opções disponíveis e escolha de alguns componentes foram definidos o tipo de sensor de umidade e de luminosidade, a válvula solenóide e a linguagem de programação, que são os componentes principais. O restante foi definido como consequência dos experimentos da fase de testes e simulação.

O princípio básico de funcionamento do circuito é a medição da umidade do solo. Quanto mais água o solo reter, mais sua condutividade elétrica aumenta devido ao fato de que a água aumenta o número de íons condutores de elétrons presentes no ambiente do circuito. Partindo deste princípio, o circuito deve fazer passar uma corrente elétrica no solo onde a planta reside. Esta corrente, que terá sua intensidade variada pela condutividade do solo, deve se transformar num sinal de informação que indica o estado atual do sistema. Outro detalhe importante é que o nível de sensibilidade do circuito pode ser ajustado com um potenciômetro. Desta maneira, é possível calibrar o nível de irrigação que se deseja alcançar. Com os componentes especificados, o próximo passo foi a compra do material e montagem do protótipo.

4.2 - ELABORAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DO PROJETO

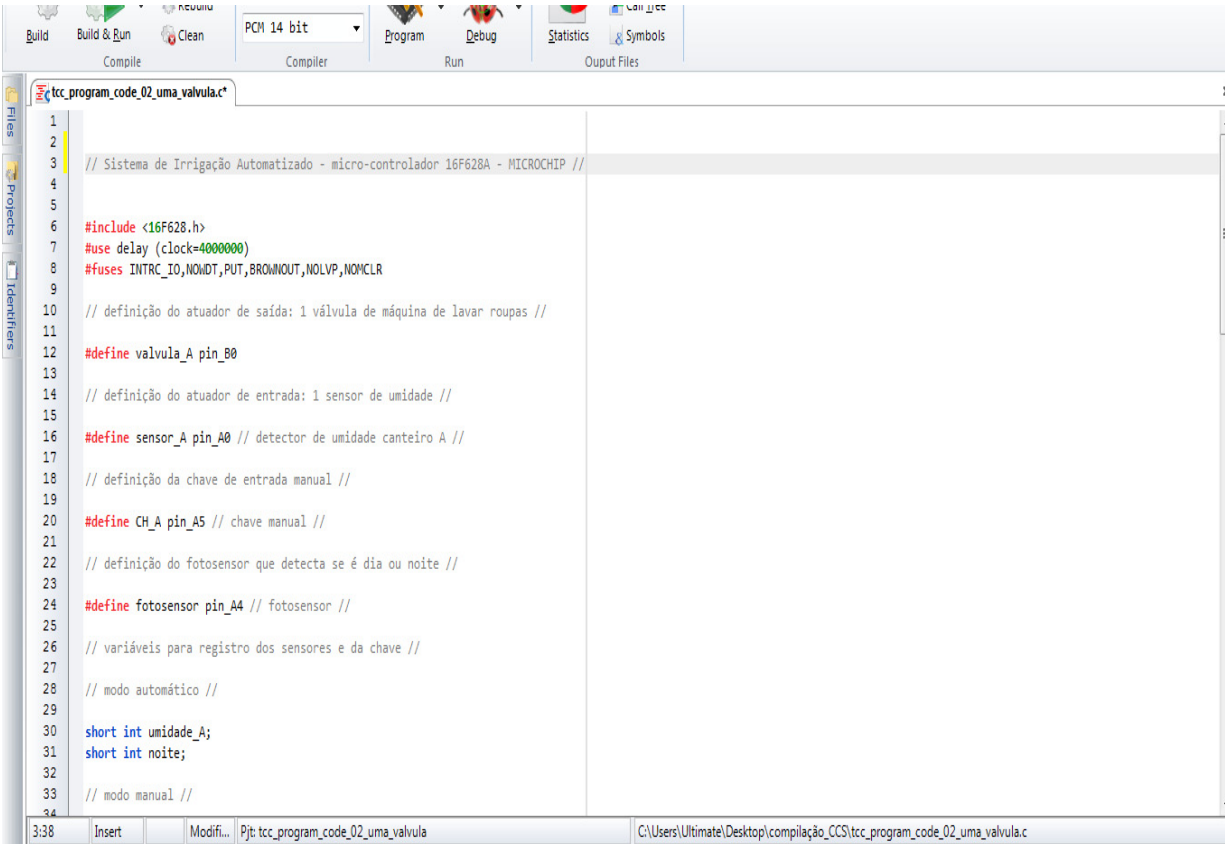
Com base no escopo do projeto e definida a linguagem de programação para desenvolvimento do software do sistema, linguagem C, iniciou-se então a programação usando o compilador PIC C da CCS. O software possui excelente interface gráfica e facilitou o desenvolvimento do projeto.

O programa inicia-se com inclusão de bibliotecas necessárias, definição do clock de 4MHz e portas usadas, entre outras definições. A função principal começa com a condição inicial das válvulas fechadas.

O projeto possui uma chave liga-desliga, onde o operador poderá ligar o sistema no horário que desejar. Quando o operador aciona a chave liga-desliga, o

sistema não funciona imediatamente devido ao sensor fotoelétrico que só permite a irrigação no período noturno, logo, assim que escurecer o sensor fotoelétrico mudará de estado e abrirá a válvula que passa a realizar a rega até que o sensor de umidade também mude de estado e desligue a válvula. Se o nível de umidade medido estiver acima do nível estabelecido, ele é considerado bom e não é aberta a válvula de solenóide. Se o nível de umidade medido estiver abaixo do valor estabelecido, a válvula é acionada iniciando o processo de irrigação, que continuará até que o valor medido seja igual ou superior ao valor previamente estabelecido, quando o sistema fecha a válvula, interrompendo a irrigação.

Depois do programa escrito, foi realizada a simulação do sistema e dos circuitos no Proteus ISIS. Os testes no simulador possibilitaram alguns importantes ajustes para evolução do sistema. A figura abaixo mostra a interface do programa CCS Compiler e parte do programa compilado. O programa compilado completo encontra-se no apêndice desse trabalho.

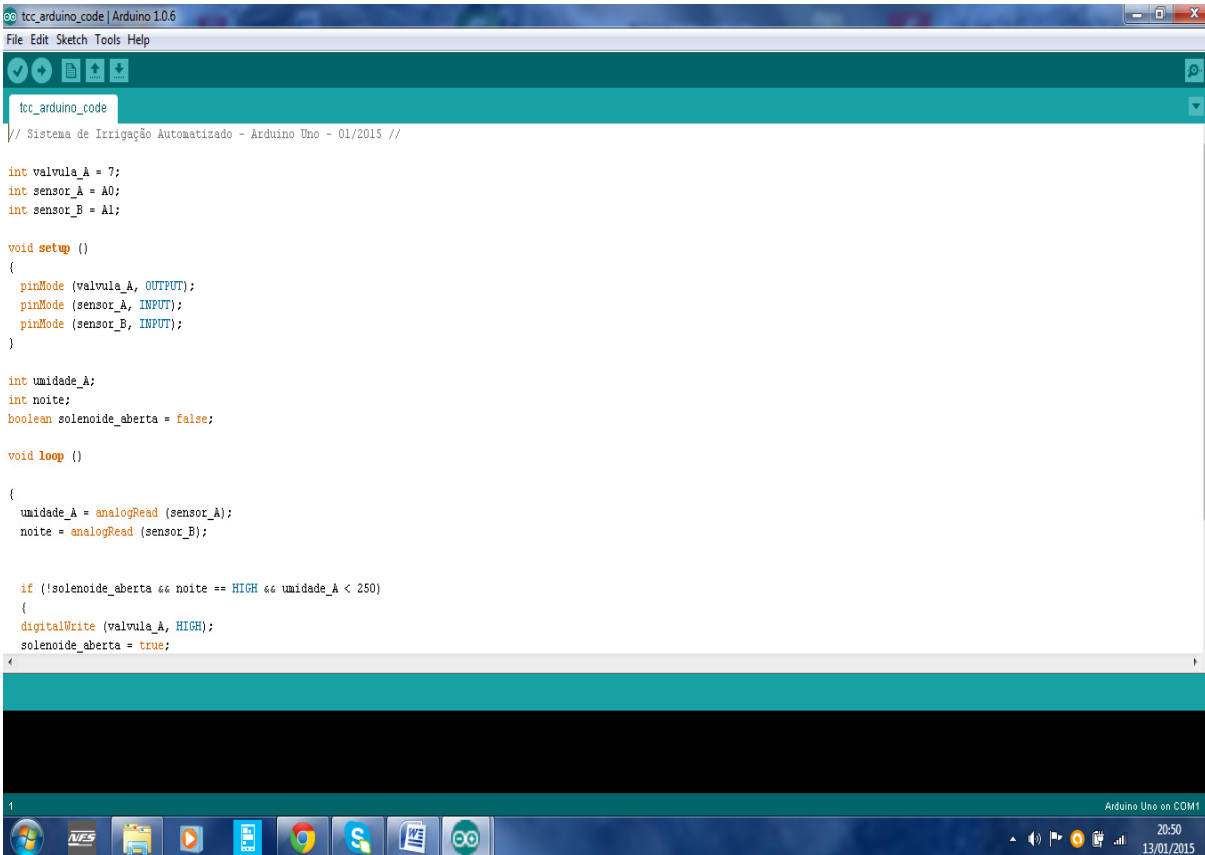


```
1
2
3 // Sistema de Irrigação Automatizado - micro-controlador 16F628A - MICROCHIP //
4
5
6 #include <16F628.h>
7 #use delay (clock=4000000)
8 #fuses INTRC_ID,NONDT,PUT,BROWNOUT,NOLVP,NOMCLR
9
10 // definição do atuador de saída: 1 válvula de máquina de lavar roupas //
11
12 #define valvula_A pin_B0
13
14 // definição do atuador de entrada: 1 sensor de umidade //
15
16 #define sensor_A pin_A0 // detector de umidade canteiro A //
17
18 // definição da chave de entrada manual //
19
20 #define CH_A pin_A5 // chave manual //
21
22 // definição do fotosensor que detecta se é dia ou noite //
23
24 #define fotosensor pin_A4 // fotosensor //
25
26 // variáveis para registro dos sensores e da chave //
27
28 // modo automático //
29
30 short int umidade_A;
31 short int noite;
32
33 // modo manual //
34
```

Figura 24 – Interface do CCS Compiler com programa compilado.

Fonte: Autora.

Como se optou por usar o Arduíno Uno para a elaboração física do projeto, devido à sua versatilidade e menor custo, foi necessária a adequação do código fonte, pois a linguagem para programação do PIC difere um pouco da linguagem para programação do Arduíno. Para fazer essa transformação, foi necessária a utilização de outro software para compilação, IDE do Arduino, o Sketch, que, além da compilação, também faz a embarcação do código no Arduíno. Na figura abaixo, está a interface do Sketch, e o código fonte embarcado no Arduíno. O código completo encontra-se no apêndice deste trabalho.



```
tcc_arduino_code | Arduino 1.0.6
File Edit Sketch Tools Help

tcc_arduino_code
// Sistema de Irrigação Automatizado - Arduíno Uno - 01/2015 //

int valvula_A = 7;
int sensor_A = A0;
int sensor_B = A1;

void setup ()
{
  pinMode (valvula_A, OUTPUT);
  pinMode (sensor_A, INPUT);
  pinMode (sensor_B, INPUT);
}

int umidade_A;
int noite;
boolean solenoide_aberta = false;

void loop ()
{
  umidade_A = analogRead (sensor_A);
  noite = analogRead (sensor_B);

  if (!solenoide_aberta && noite == HIGH && umidade_A < 250)
  {
    digitalWrite (valvula_A, HIGH);
    solenoide_aberta = true;
  }
}
```

Figura 25 – Interface da IDE Sketch.
Fonte: Autora.

4.3 - SIMULAÇÃO

Após a escolha do software Proteus ISIS para a simulação, começou-se a construção do circuito usando dois Switches para simular o sensor de umidade e o

sensor fotoelétrico e um LED para simular a válvula de solenóide. A figura abaixo ilustra o circuito desenhado no Proteus ISIS, usado para a simulação do projeto.

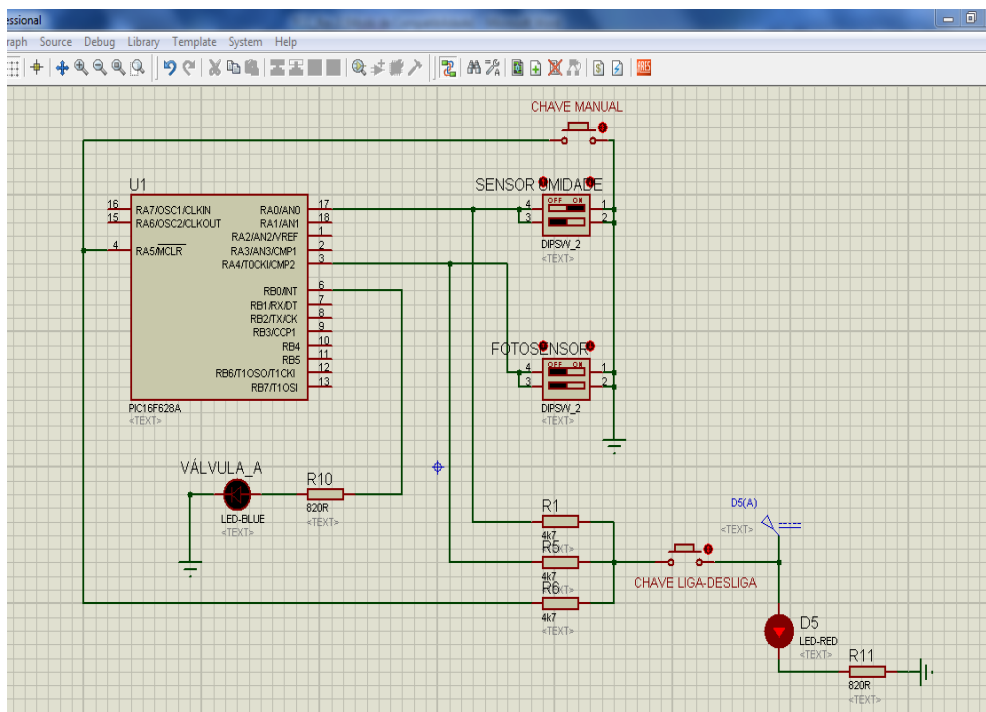


Figura 26 – Simulação do circuito no software Proteus ISIS.
Fonte: Autora.

4.4 - MONTAGEM DO PROJETO

Concluída a simulação do sistema de irrigação, iniciou-se a elaboração do projeto físico do sistema. Primeiramente, foi feito o layout dos componentes para facilitar a montagem. A figura 27 mostra o resultado do layout desenvolvido.

Já com o layout desenvolvido, iniciou-se a montagem do projeto em si. A partir de uma placa de montagem de circuitos protoboard, conseguiu-se montar o circuito do LDR e verificar seu funcionamento. Esta placa permite a fácil conexão de componentes, por isso é indicada para a montagem de protótipos.

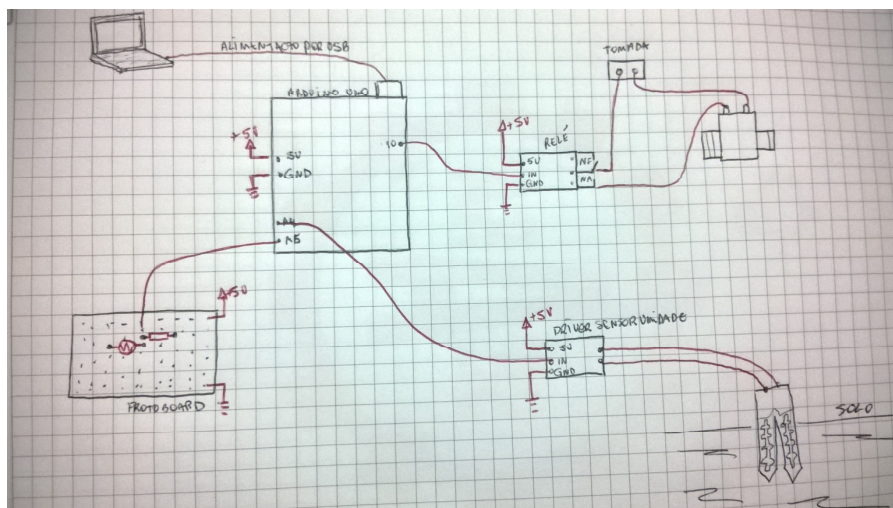


Figura 27 – Layout do protótipo.
Fonte: Autora.

Primeiramente, foi realizado testes dos sensores para verificar se estavam em perfeito funcionamento. As figuras abaixo mostram a realização dos testes do sensor de luminosidade e de umidade, respectivamente.

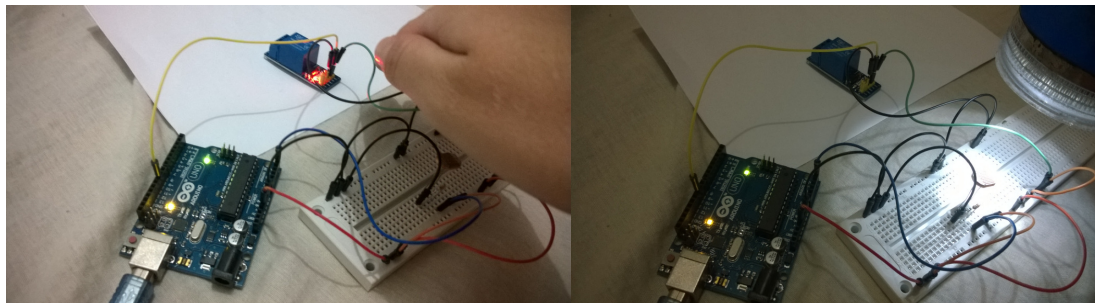


Figura 28 – Testes no sensor de luminosidade.
Fonte: Autora.

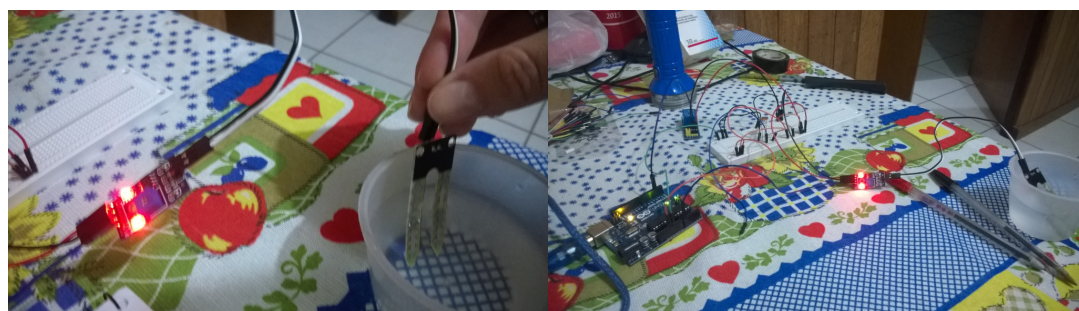
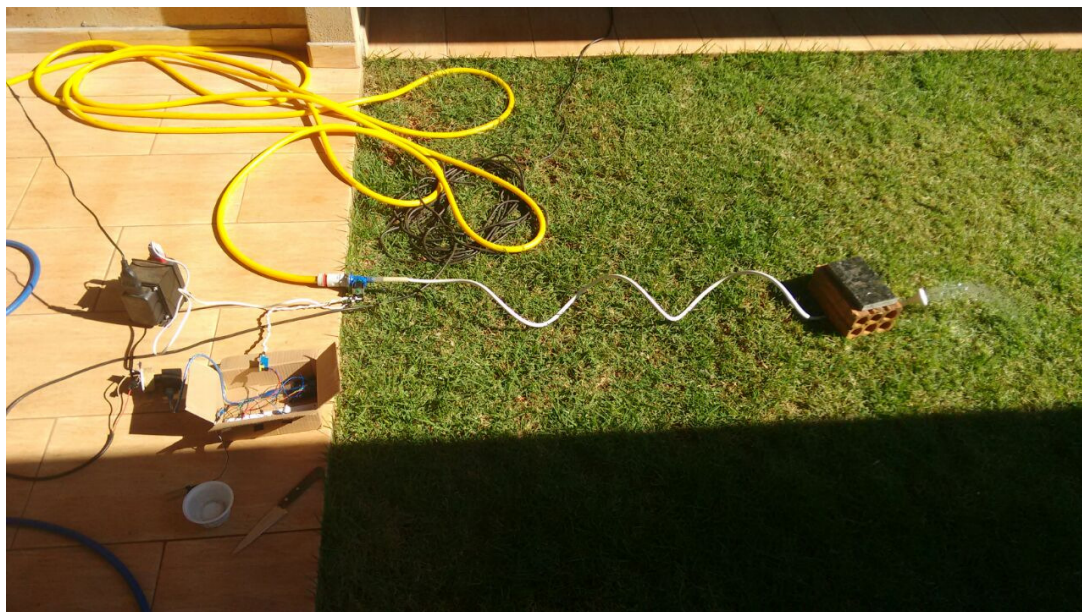


Figura 29 – Testes no sensor de umidade.
Fonte: Autora.

Na figura abaixo temos toda a montagem do circuito em ambiente de teste, finalizando assim os testes e ajustes finais.



**Figura 30 – Protótipo em funcionamento completo.
Fonte: Autora.**

5 - RESULTADOS OBTIDOS

Concluídas todas as etapas de desenvolvimento, iniciou-se a instalação de todos os componentes que fazem parte do sistema projetado. Após a instalação dos componentes e alimentados os circuitos e a válvula, concluí-se a montagem do protótipo. A figura 30 ilustra o projeto montado com todos os dispositivos interligados e alimentados.

Com o sistema em funcionamento, depois de realizados todos os testes, foi possível visualizar que o microcontrolador leu valores confiáveis de ambos os sensores e foi capaz de medir se o solo estava ou não nos níveis de umidade desejados, e se era dia ou noite, acionando e desligando a válvula de solenóide como esperado. Como pode ser observado no esquema, o sistema é alimentado por um cabo USB que atua como fonte de energia para o Arduino Uno e para o circuito. A válvula solenóide é alimentada por uma tomada 220V. Nesta configuração, o sistema se liga ao anoitecer e permanece em funcionamento até o sensor de umidade acusar que o solo está molhado.

Por questões de usabilidade e melhor manuseio e demonstração do protótipo, foi necessária a alteração na programação para que o sensor de luminosidade funcionasse como um contato selo, eliminando a necessidade de demonstrar o projeto com a luz apagada. Logo, quando o sensor lê a baixa luminosidade, ele mantém a válvula ligada, mesmo quando o valor da luminosidade aumenta. Assim sendo, para testar o protótipo, somente será necessário retirar a luz do sensor até que acione a válvula, depois poderá receber luminosidade ambiente normal, possibilitando a visualização.

Foram definidos um valor mínimo lido pelo sensor para a ativação e um valor máximo para o fechamento da válvula solenóide. Quando o sensor de umidade atinge um limiar menor ou igual ao mínimo crítico (no caso o valor 250), a válvula solenóide é ativada e permanece aberta, liberando o fluxo de água, até que o nível de umidade registrada pelo sensor atinja o valor máximo definido em 700. É importante destacar que para o bom funcionamento desse sistema, o sensor de umidade deve estar suficientemente enterrado, por exemplo, a 10 ou 20 centímetros da superfície do solo. Caso contrário, poderá entrar em contato com a água, retornar

rapidamente a um sinal analógico elevado, fechar a válvula solenóide e tornar a irrigação insuficiente.

6 - CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvido um protótipo de um sistema de irrigação automatizado que simulasse o real funcionamento de um sistema de irrigação de um pequeno produtor, objetivando um melhor aproveitamento dos recursos hídricos, aumentando a produção e facilitando a vida do agricultor no cultivo do produto desejado. Após a análise dos atuais sistemas de irrigação verificou-se que muitos agricultores utilizam ainda um modo manual de irrigação e gastos excessivos com o uso de água e eletricidade, o que pode ser melhorado projetando um sistema para cada tipo de cultura e clima e automatizando-os, de forma a obter um rendimento mais elevado e que seja viável economicamente e ecologicamente.

O sistema foi desenvolvido para cultivo de culturas com diferentes demandas de água, utilizando um sensor de umidade do solo, um sensor de luminosidade, uma válvula solenóide para controlar o fluxo de água e microcontrolador Arduíno. Para desenvolvimento deste trabalho foram utilizados diversos conhecimentos abordados no curso, principalmente eletrônica, programação e integração de tecnologias através da simulação, montagem e testes do circuito, com o intuito de obter, experimentalmente, uma medida da umidade do solo e da luminosidade ambiente. A escolha dos sensores que permitiram a leitura compatível com a realidade, a programação, o acionamento válvula de solenóide, a simulação e construção do projeto foram importantes etapas superadas e fundamentais para o êxito.

É possível concluir que os resultados obtidos cumpriram com as propostas e os objetivos planejados para este trabalho e o protótipo encontra-se em funcionamento e operando de acordo com a programação almejada. Os resultados das simulações mostraram que é um projeto de base, que possui funções limitadas, mas capaz de progredir para formar um sistema mais robusto, com boa capacidade e capaz de concorrer com os atuais módulos de automação agrícola no mercado, de custo elevado.

6.1 – SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O modelo construído aborda um assunto amplo e com muitas possibilidades de crescimento. Como proposta para trabalhos futuros, possíveis pontos para continuidade e melhorias do projeto são:

- Envio de dados dos sensores por meio de comunicação sem fio;
- Usar vários sensores e válvulas, possibilitando o cultivo de diferentes culturas em uma mesma área;
- Estudo de um sensor de umidade que não sofra oxidação tão rápida;
- Alojamento do sistema em um recipiente à prova de água;
- Adição de um sensor de chuva.

7 - REFERÊNCIAS

[01] ANDRADE, C. L. T. **Seleção do Sistema de Irrigação**. 1. ed. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2001. (Embrapa Milho e Sorgo, *Circular técnica*, nº14).

[02] ANDRADE, Rogério S. **Irrigação por superfície: sulco e inundação**. 2010. 53 f. Dissertação de graduação em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2010.

[03] AQUATECH. **Aqua Tech Solenoid Valves**. Disponível em: <[https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/Aqua Tech Solenoid Valves.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Robotics/Aqua_Tech_Solenoid_Valves.pdf)>. Acesso em: 17 set. 2014.

[04] **Arduino Uno**. Disponível em: <<http://www.embarcados.com.br/arduino-uno/>>. Acesso em: 08 de fev. de 2015.

[05] ARDUINO. **Arduino Uno**. Disponível em: <<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardsUno>> . Acesso em: 17 set. 2014.

[06] AZEVEDO, H.M. **Irrigação localizada**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 12(139):40-53. 1986.

[07] BAYER, A; MAHBUB, I.; CHAPPELL, M.; RUTER, J.; IERSEL, M. **Water Use and Growth of Hibiscus acetosella ‘Panama Red’ Grown with a Soil Moisture Sensor-controlled Irrigation System**. HortScience, vol. 48, 980-987, 2013.

[08] BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa, UFV. Imprensa Universitária, 1989. 596p.

[09] CEMIG. **Estudo de Otimização Energética**. Belo Horizonte, 1993. 22p.

[10] CHRISTOFIDIS, D. **Recursos Hídricos e Irrigação no Brasil**. Brasília: CDS – UnB, 1999.

[11] **C Compiler**. Disponível em: <www.ccsinfo.com>. Acesso em: 08 de fev. de 2015.

[12] **Datasheet ATmega328P**. Disponível em: <http://www.atmel.com/Images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A48PA-88A-88PA-168A-168PA328-328P_datasheet.pdf>. Acesso em: 08 de fev. de 2015.

[13] DFROBOT. **Moisture Sensor** (SKU:SEN0114). Disponível em: <[http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Moisture Sensor \(SKU:SEN0114\)](http://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Moisture_Sensor_(SKU:SEN0114))>. Acesso em: 17 set. 2014.

[14] EMBRAPA. **Sistemas de produção de melão - Irrigação**. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Melao/SistemaProducaoMelao/irrigacao.html>>. Acesso em: 25 set. 2014.

[15] FARIA, M.A.; VIEIRA, J. **Irrigação por aspersão: sistemas mais usados no Brasil**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 12(139):27-39. 1986.

[16] FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência**. Piracicaba, ESALQ, 1992. 53p. (Série Didática 003).

[17] LITJENS, Otto Jacob. **Automação de estufas agrícolas utilizando sensoriamento remoto e o Protocolo Zigbee**. 2009. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso Para graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em eletrônica, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2009.

[18] **Manual Proteus**. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&ct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=16&cad=rja&uact=8&ved=0CD4QFjAFOAo&url=http%3A%2F%2Fpaginapessoal.utfr.edu.br%2Frosangela%2Fcircuitoimpresso%2FManual_Proteus_portugues.doc%2Fat_download%2Ffile&ei=yqvXVPzCKfGsQShyYKwCQ&usg=AFQjCNFgzynq5Aa8gpAWbFiPj9m-JAYZQ>. Acesso em: 08 de fev. de 2015.

[19] MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. **Seleção de Sistemas de Irrigação para Hortaliças**. Brasília: Embrapa. 1998. 15p.

[20] MEYER, Gabriel Ladeira. **Controle de sistemas de irrigação com monitoramento via programação**. 2005. 79 f. Monografia de graduação em Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 2005.

[21] NEVES, Giovani. **Principais métodos para determinação da umidade do solo**. Disponível em: <<http://giovanijr.wordpress.com/agriculturairrigada/principais-metodos-dedeterminacao-da-umidade-do-solo>>. Acesso em: 21 de abr. de 2014.

[22] OLITTA, A.F.L. **Os Métodos de Irrigação**. 1. ed. São Paulo: Editora Nobel, 1983.

[23] PEREZ, Antônio Daniel Catunda. **Módulo de controle aplicado à automação agrícola**. 2011. 53 f. Monografia de graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

[24] RIBEIRO, Marco Antônio. **Instrumentação industrial**. 9ª Ed. São Paulo, Tek Treinamento & Consultoria Ltda., 1999.

[25] SABER ELETRÔNICA. São Paulo: Editora Saber, n. 405, out. 2006.

[26] SCALOPPI, J.E. **Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação**. Informe Agropecuário. Belo Horizonte, 12(139):54-63. 1986.

[27] SOUZA, R.O.R.M. **Desenvolvimento e avaliação de um sistema de irrigação automatizado para áreas experimentais**. 2001. 83 f. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.

[28] SUZUKI, Marcelo Akira. **Automação de sistemas de irrigação**. Disponível em: <<http://www.agr.feis.unesp.br/curso2.htm>>. Acesso em: 18 ago. 2014.

[29] TOMAZINI, Daniel. ALBUQUERQUE, Pedro U. B. **Sensores Industriais - Fundamentos e aplicações**. 5ª ed. São Paulo: Érica, 2005. 222p.

8 - APÊNDICE

8.1 – CÓDIGO FONTE DO PROTÓTIPO PARA PIC 16F628A

```

C:\Users\Ultimate\Desktop\compilação_CCS\tcc_program_code_02_uma_valvula.c
1:
2:
3: // Sistema de Irrigação Automatizado - micro-controlador 16F628A -
MICROCHIP //
4:
5:
6: #include <16F628.h>
7: #use delay (clock=4000000)
8: #fuses INTRC_IO, NOWDT, PUT, BROWNOUT, NOLVP, NOMCLR
9:
10: // definição do atuador de saída: 1 válvula de máquina de lavar roupas
//
11:
12: #define valvula_A pin_B0
13:
14: // definição do atuador de entrada: 1 sensor de umidade //
15:
16: #define sensor_A pin_A0 // detector de umidade canteiro A //
17:
18: // definição da chave de entrada manual //
19:
20: #define CH_A pin_A5 // chave manual //
21:
22: // definição do fotosensor que detecta se é dia ou noite //
23:
24: #define fotosensor pin_A4 // fotosensor //
25:
26: // variáveis para registro dos sensores e da chave //
27:
28: // modo automático //
29:
30: short int umidade_A;
31: short int noite;
32:
33: // modo manual //
34:
35: short int MANUAL_A;
36:
37: void main ()
38: {
39: while(true)
40: {
41:
42: // condição inicial: válvulas fechadas //
43:
44: output_low (valvula_A);
45:
46: // registra nas variáveis os resultados das entradas //
47:
48: umidade_A = input(sensor_A);
49: noite = input(fotosensor);
50:
51: MANUAL_A = input(CH_A);
52:
53: // confirmação se é noite ou se a chave manual foi apertada //
54:
55: if (noite == 1 || MANUAL_A == 0)
56: {

```

```

57:
58: // rega no canteiro A //
59:
60: if (umidade_A == 1) // sensor de umidade seco //
61: {
62:   output_high (valvula_A); // abre válvula A //
63:
64:   Delay_ms(300); // ajuste do tempo ideal para cada canteiro //
65:
66:   output_low (valvula_A); // fecha válvula A com a mudança de estado do
   sensor //
67: }
68:
69: }
70: }
71: }
72:
73:
74:

```

8.2 – CÓDIGO FONTE DO PROTÓTIPO PARA ARDUINO

```

// Programação_Arduino_Tcc_01_09-02-15
// Definição dos portas para cada componente
int porta_solenoide = 10;
int porta_umidade = A3;
int porta_luz = A5;
void setup ()
{
  // Define a porta da solenoide como saída de sinal
  pinMode (porta_solenoide, OUTPUT);
  // Define as portas dos sensores como entrada de sinal
  pinMode (porta_umidade, INPUT);
  pinMode (porta_luz, INPUT);
}
// Armazena os valores do sensor de umidade
int valor_umidade;
// Armazena os valores do sensor de luz
int valor_luz;
// Condição inicial de válvula fechada
boolean solenoide_aberta = false;
void loop ()
{
  // Leitura do sensor de umidade
  valor_umidade = analogRead (porta_umidade);
  // Leitura do sensor de luz
  valor_luz = analogRead (porta_luz);
  // Condição de solenóide fechada, ser noite e sensor de
  umidade seco
  if (valor_luz >= 150 && valor_umidade <= 250 &&
  !solenoide_aberta)
  {
    // Envia sinal de abertura da solenoide
    digitalWrite (porta_solenoide, HIGH);
    solenoide_aberta = true;
  }
  // Ser dia e sensor de umidade molhado
  else if (valor_luz < 150 && valor_umidade > 700)

```



```
{  
  // envia sinal de fechamento da solenoide  
  digitalWrite (porta_solenoide, LOW);  
  solenoide_aberta = false;  
}  
// Repete as ações a cada 1 segundo  
delay (1000);  
}
```