

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
INSTITUTO DE CIENCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO E SISTEMAS

PEDRO HENRIQUE SILVA MEDEIROS

# SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO PARA PLANTAS CASEIRAS

João Monlevade

2018

PEDRO HENRIQUE SILVA MEDEIROS

# SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO PARA PLANTAS CASEIRAS

Monografia apresentada ao curso Engenharia de Computação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

Orientador: Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite

João Monlevade

2018

**Folha de Aprovação**  
**Curso de Engenharia de Computação**

**FOLHA DE APROVAÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

**Sistema de Irrigação Automatizado para Plantas Caseiras**

**Pedro Henrique Silva Medeiros**

**Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial da disciplina CSI496 – Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Bacharelado em Engenharia de Computação e aprovada pela Banca Examinadora abaixo assinada:**



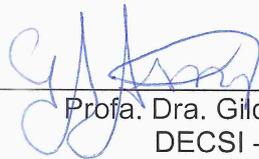
---

Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite  
DECSI – ICEA - UFOP  
Professor Orientador



---

Prof. Dr. George Henrique Godim da Fonseca  
DECSI – ICEA -UFOP  
Professor Convidado



---

Profa. Dra. Gilda Aparecida de Assis  
DECSI – ICEA - UFOP  
Professor Convidado

João Monlevade, 12 de julho de 2018

# Agradecimento

Agradeço, acima de tudo, a Deus por ter me concedido a vida, por todas as oportunidades às quais eu não hesitei em me arriscar e todas as inúmeras coisas às quais a ciência não consegue explicar.

Agradeço a Maria José por ter exercido o papel de pai e mãe, por ter colocado os filhos sempre em primeiro lugar. Por ter me ensinado o que é honra, honestidade e mostrado que esforço vence inteligência e condição financeira.

Agradeço aos meus tios Edicarlos, Elaine, Eliane, Eni, Antônio, Carlos, Aparecida, André, Gum, Valdemar, Marisa e Solange por todo o apoio psicológico, financeiro e motivacional. Por seus exemplos de vida e inspiração transmitida. E, acima de tudo, por sempre terem me tratado como um filho.

Agradeço ao meu irmão de sangue Jota e aos meus irmãos de consideração Kiany, Bruna, Digão, Cia, Belengó, Gnu, Monza, Boné, Peixe e Clube dos Canalhas (Homenagem à Banda Matanza) por terem participado da maior parte dos momentos bons e ruins da minha vida.

Agradeço aos meus companheiros de estrada Paulo, Jader, Mussi, Mônica, Cibele, Otoni, Restart, Carol, Italo, Láys, Herson, Thassila, Eiji, Bianca, Cutia e Marcia que, querendo ou não, me proporcionaram um crescimento pessoal ou profissional.

Agradeço por último, mas com o mesmo grau de importância, a todos os professores que realmente se preocupam com a educação, que sabem a importância do que fazem, que incentivam criatividade e passam inspiração.

“Seize the day or die regretting the time you lost” - Avenged Sevenfold.

# Resumo

Este trabalho consiste no projeto de um sistema automatizado de irrigação para plantas caseiras visando garantir a sobrevivência das plantas e o uso eficiente da água. O sistema utiliza informações provenientes de sensores de umidade e temperatura para controlar o processo de irrigação. A interface do sistema permite a sua configuração de maneira simples a partir de qualquer dispositivo que possua a tecnologia *wireless* e faça acesso *web*, viabilizando a sua operação à distância.

PALAVRAS-CHAVE: sistema de irrigação, irrigação automatizada, automação residencial, eficiência hídrica.

# Abstract

This work consists in the design of an automated irrigation system for home plants to guarantee the survival of plants and the efficient use of water. The system uses information from humidity and temperature sensors to control the irrigation process. The system interface allows its configuration in a simple way from any device that has wireless technology and web access, making it possible to operate by distance.

KEY-WORDS: irrigation system, automated irrigation, residential automation, water efficiency.

# Lista de Abreviaturas e Siglas

**IoT** *Internet of Things* - Internet das Coisas

**DC** *Direct Current* - Corrente Contínua

**NTC** *Negative Temperature Coefficient* - Coeficiente de Temperatura Negativo

**PTC** *Positive Temperature Coefficient* - Coeficiente de Temperatura Positivo

**SMD** *Surface Mounting Device* - Componente Para Montagem em Superfície

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>1</b>
1.1	Motivação . . . . .	2
1.2	Objetivos . . . . .	3
1.3	Organização do Trabalho . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Revisão Bibliográfica</b>	<b>4</b>
2.1	Sistemas de Irrigação Convencionais . . . . .	4
2.1.1	Irrigação por Aspersão . . . . .	4
2.1.2	Irrigação por Microaspersão . . . . .	5
2.1.3	Irrigação por Sulco . . . . .	6
2.1.4	Irrigação por Subirrigação . . . . .	7
2.1.5	Irrigação por Gotejamento . . . . .	8
2.2	Sistemas de Irrigação Automatizados . . . . .	9
2.2.1	Sistemas de Irrigação Baseados em Temporizadores . . . . .	9
2.2.2	Sistemas de Irrigação sem Unidades Temporizadoras . . . . .	10
2.2.3	Sistemas com Sensor de Umidade . . . . .	10
2.2.4	Internet das Coisas na Irrigação . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b>	<b>16</b>
3.1	Visão Geral do Projeto . . . . .	16
3.2	Sistema de Controle . . . . .	17
3.3	Sistema Hidráulico . . . . .	19
3.4	Medição da Umidade . . . . .	20
3.5	Medição de Temperatura . . . . .	24
3.6	Interface de Usuário . . . . .	26
<b>4</b>	<b>Resultados</b>	<b>31</b>
4.1	Medição da Umidade . . . . .	31
4.2	Medição de Temperatura . . . . .	32
4.3	Interface de Usuário . . . . .	33
4.4	Resultado Geral . . . . .	34
4.5	Custo do Projeto . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Considerações Finais</b>	<b>37</b>
5.1	Conclusão . . . . .	37
5.2	Trabalhos Futuros . . . . .	37

# Lista de Tabelas

4.1	Temperatura Exibida para o Usuário pelo navegador do <i>smartphone</i> . . . . .	33
4.2	Controle de umidade entre os dias 21 e 27 de Junho. . . . .	35
4.3	Custo Detalhado do Projeto . . . . .	36

# Lista de Figuras

2.1	Irrigação por Aspersão Convencional (MAROUELLI, 2012)	5
2.2	Irrigação por microaspersão (IDEAL, 2017)	6
2.3	Irrigação por Método de Sulco (ARROZ, 2014)	7
2.4	Irrigação por Subirrigação (CHRISTENSEN, 2011)	7
2.5	Irrigação por Gotejamento Superficial (LACERDA, 2016)	9
2.6	Esboço da estrutura de um tensiômetro (MADALOSSO, 2014)	12
2.7	Funcionamento do Sensor de Umidade Utilizando Irrigás (MADALOSSO, 2014)	13
3.1	Esboço Geral do Projeto	17
3.2	Simulação do sistema de controle no software Proteus utilizando Arduíno	18
3.3	Microcontrolador Atmega328p da Atmel (BUY, 2018)	19
3.4	Tubulação de água do sistema	20
3.5	Esboço do teste de condutividade utilizado para verificar a umidade do solo	21
3.6	Teste utilizando um multímetro para verificar a tensão de saída do solo	22
3.7	Esboço do circuito utilizado para verificar umidade do solo	22
3.8	Versão final do esboço do circuito utilizado para verificar umidade do solo	23
3.9	Termistor NTC 100k (APRENDIENDO, 2015)	24
3.10	Circuito utilizado para fazer a medição da temperatura com resistor e termistor.	25
3.11	Esboço da conexão do circuito medidor de temperatura ao microcontrolador.	25
3.12	Módulo <i>Wireless</i> ESP8266 (NETTIGO, 2015)	26
3.13	Circuito de Ligação do Módulo ESP8266 ao microcontrolador Atmega328p	27
3.14	Interface de Usuário (página inicial, menu de opções e menu de plantas)	28
3.15	Interface de Usuário (opções do planta 4, ativação da irrigação e configuração do tempo de irrigação)	29
3.16	Interface de Usuário (configuração de rede, linguagem e informações de autoria do sistema)	30
4.1	Acompanhamento da umidade durante os primeiros dias.	31
4.2	Registro do Sistema durante a Medição de Temperatura e Umidade com a Irrigação Desativada	32
4.3	Leitura de um Termômetro Digital no mesmo instante de leitura mostrada na Figura 4.2	33
4.4	Antes e Depois das melhorias sugeridas pelos usuários.	34
4.5	Gráfico do controle de umidade entre os dias 21 e 27 de Junho.	35

# Capítulo 1

## Introdução

Irrigação é uma técnica que objetiva o fornecimento de água para plantas na quantidade ideal de forma que estas possam se desenvolver de forma adequada (MAROUELLI *et al.*, 2000). Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, por exemplo, irrigação por gotejamento, aspersão, sub-irrigação, sulco e micro-aspersão.

Um dos métodos mais eficazes é a irrigação por gotejamento. Sua eficiência é dada por utilizar a técnica de irrigação localizada, onde a aplicação da água é realizada com alta frequência e direcionada apenas para a zona da raiz da planta, garantindo que esta receba o suprimento e reduzindo o desperdício do recurso hídrico (característica importante em regiões áridas e semi-áridas com recursos hídricos limitados (YOHANNES & TADESSE, 1998)). Além disso, o sistema possui baixo custo de montagem e, segundo Coelho (COELHO *et al.*, 2007), os métodos de irrigação localizados são os mais recomendados para regiões onde a água é escassa.

De acordo com Geisenhoff (GEISENHOFF *et al.*, 2016), a produtividade é maior quando são utilizadas técnicas de irrigação localizada. Isso se deve ao fato de esse tipo de sistema apresentar maior homogeneidade na aplicação da água, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento das plantas.

Ainda de acordo com Geisenhoff, o cultivo de algodão através de irrigação localizada apresentou um aumento de 30% na produtividade quando comparado ao método de aspersão. Já na produção de brócolis-de-cabeça, o estudo apresentou redução de 33,3% no consumo de água para produzir a mesma quantidade do produto. Isso mostra que diferentes plantas apresentam diferentes tipos de necessidade quanto à irrigação.

Essa necessidade também pode variar de acordo com a condição climática e com a estação do ano. Isso significa que um sistema automatizado para irrigação deve atentar-se a variados

fatores como o tipo de planta, tipo de solo e a temperatura do ambiente. Para Durson ([DURSON & OZDEN, 2011](#)), a demanda altamente crescente de água doce requer o uso de tecnologia de automação e seus instrumentos para gerar eficiência na utilização dos recursos hídricos. De acordo com Macedo ([MACEDO \*et al.\*, 2010](#)), o aperfeiçoamento da estratégia de controle do sistema de irrigação pode resultar em economia de água e conservação de energia. Segundo Reis ([REIS, 2015](#)), há uma profunda repercussão sobre as diferentes tecnologias de sistemas de automação para irrigação, pois possibilita irrigações sem a necessidade de acompanhamento, além de resultar em melhorias na qualidade do processo de cultivo.

Sistemas de irrigação também podem ser aplicados em residências, na irrigação de hortaliças, plantas ornamentais e jardins visando minimizar a necessidade de intervenção humana ([VAELLO, 1995](#)). Combinando as ideias apresentadas pela técnica de irrigação localizada com um sistema automatizado que utilize informações como a umidade do solo e a temperatura do ambiente, é possível desenvolver um sistema automatizado de irrigação que seja viável financeiramente e ecologicamente eficiente para uso em residências, tornando mais simples a manutenção de tais plantas.

## **1.1 Motivação**

Atualmente as pessoas passam a maior parte do seu dia fora de suas casas, além de, eventualmente, deixarem suas casas por longos períodos devido a eventos esporádicos, como viagens e férias. Por esse motivo, muitas plantas caseiras acabam sofrendo os efeitos da falta de água e acabam até mesmo morrendo em algumas circunstâncias.

Considerando que muitas pessoas desejam manter em suas casas plantas caseiras mesmo sem terem o tempo necessário para cultivo, se torna necessário o uso de um sistema de irrigação automatizado. No entanto, a maior parte dos sistemas de irrigação disponível no mercado utiliza temporizadores, como o modelo apresentado por Zazueta ([ZAZUETA \*et al.\*, 1994](#)), ou sistemas de controle mecânicos, como conta gotas, tornando difícil a configuração do sistema para diferentes tipos de plantas, visto que cada espécie requer uma quantidade diferente de água.

## 1.2 Objetivos

Plantas caseiras apresentam diferentes tipos de necessidades quanto à irrigação. Essas necessidades também podem variar de acordo com a condição climática e com a estação do ano. Este trabalho tem como principal objetivo a construção de um sistema de irrigação automatizado para plantas caseiras que faça uso de sensores para identificar as necessidades de cada planta e assim determinar os momentos em que a irrigação é realmente necessária, otimizando então o consumo de água (GHIZZI, 2016). Espera-se que o sistema possua uma interface de usuário que possibilite a configuração individual de cada planta, permitindo então o cultivo de plantas diferentes, que possa ser controlado via *wireless* e que apresente um baixo custo de desenvolvimento.

## 1.3 Organização do Trabalho

Esta monografia encontra-se dividida em 5 capítulos.

- O Capítulo 1 faz uma breve introdução às necessidades de um sistema de irrigação automatizado que seja eficiente no uso de recursos hídricos e garanta a sobrevivência e desenvolvimento de plantas caseiras.
- O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica onde são desenvolvidas as bases teóricas para a projeto do sistema.
- O Capítulo 3 consiste da apresentação dos materiais e métodos que foram utilizados para a construção de cada parte do sistema projetado.
- O Capítulo 4 apresentada os resultados obtidos após a fase de desenvolvimento e testes.
- O Capítulo 5 consiste da apresentação das conclusões e os objetivos almejados para trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Revisão Bibliográfica

### 2.1 Sistemas de Irrigação Convencionais

Segundo Marouelli ([MAROUELLI et al. , 2000](#)), irrigação é o nome designado ao processo que proporciona a sobrevivência e produtividade das plantas através do fornecimento de água no momento adequado e na quantidade necessária.

Existem diversos tipos de sistemas de irrigação, por exemplo, irrigação por gotejamento, aspersão, subirrigação, sulco e microaspersão. De acordo com Coelho ([COELHO et al. , 2007](#)) a seleção do sistema depende de diversas condições como a quantidade de recursos hídricos disponível, custo de implantação do sistema, tipo do solo e da planta.

Nesta seção são apresentados alguns tipos de sistemas irrigação convencionais, bem como suas características principais e informações a respeito de sua eficiência.

#### 2.1.1 Irrigação por Aspersão

A irrigação por aspersão é um método que caracteriza-se por fazer a distribuição da água em forma de chuva. Isso faz com que a água seja aplicada em alta quantidade e de maneira uniforme sobre o solo da área abrangida pelo dispositivo aspersor ([STONE, 2011a](#)). Normalmente faz uso de bombas que aumentam a pressão de saída da água.

Esse sistema é muito utilizado em grandes plantações pois reduz a quantidade de equipamentos necessários para cobrir as grandes áreas, além de facilitar a irrigação em terrenos irregulares, encostas e terraços. Um exemplo do método de irrigação por aspersão é apresentado na Figura [2.1](#).

A principal desvantagem desse sistema é que o vento afeta a uniformidade da distribuição

de água. O sistema também causa maior desperdício de água em pequenas culturas, pois a água é aplicada em áreas, não diretamente nas plantas. Além disso, esse tipo de irrigação molha as folhas da planta e aumenta a umidade relativa do ar, fatores que ampliam a chance de propagação de pragas.



Figura 2.1: Irrigação por Aspersão Convencional ([MAROUELLI, 2012](#))

### **2.1.2 Irrigação por Microaspersão**

A eficiência dos sistemas de irrigação por microaspersão mostra-se superior a muitos métodos como exemplo da irrigação por aspersão. Isso se deve ao fato de a distribuição da água ser feita em pequenas áreas, melhorando a utilização e garantindo o fornecimento do recurso.

Essa técnica é muito utilizada para a irrigação de culturas perenes (que duram para sempre), é considerada como uma técnica de irrigação localizada e a sua emissão é dada por microaspersores ([SOUSA, 2016](#)). Um exemplo do método de irrigação por microaspersão é mostrado na Figura 2.2.



Figura 2.2: Irrigação por microaspersão (IDEAL, 2017)

### 2.1.3 Irrigação por Sulco

A irrigação por sulco é um método onde a água é canalizada para a plantação através de sulcos, que são aberturas na superfície da terra normalmente deixadas pelas pás de um arado (ferramenta agrícola utilizada para preparar o solo para o cultivo).

Esse tipo de irrigação é facilmente automatizado, pode ser aplicado a vários tipos de solos e culturas, e seu custo de implantação é o menor entre os métodos de irrigação (STONE, 2011c).

Porém, esse método apresenta um índice maior de perda de água e a aplicação do recurso não é feita de forma uniforme. Um exemplo do método de irrigação por Sulco é apresentado na Figura 2.3.



Figura 2.3: Irrigação por Método de Sulco (ARROZ, 2014)

### 2.1.4 Irrigação por Subirrigação

A subirrigação é o método onde é construído um lençol freático sob a cultura e a água alcança as raízes das plantas através da ascensão capilar.

Este é o método que exige a menor quantidade de água e energia. Porém, requer que o solo possua uma reduzida capacidade de retenção de água ou uma elevada taxa de infiltração. Além disso, o método é inadequado para determinados tipos de culturas (STONE, 2011b).

Um exemplo do método de irrigação por Subirrigação é apresentado na Figura 2.4.

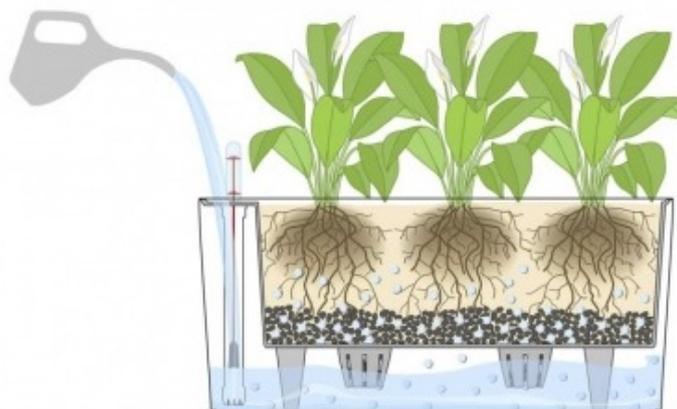


Figura 2.4: Irrigação por Subirrigação (CHRISTENSEN, 2011)

### 2.1.5 Irrigação por Gotejamento

A irrigação por gotejamento é um sistema simples, que não exige conhecimento e habilidades além das de um pequeno agricultor. Sua construção consiste em uma tubulação que percorre a base de todas as plantas com pequenos furos que realizam a distribuição da água pela cultura.

Ele é muito eficiente quando comparado à alguns sistemas, pois, a irrigação é realizada com alta frequência e a aplicação da água é feita apenas na zona da raiz, o que caracteriza os sistemas de irrigação localizada. Além disso, o sistema possui baixo custo de montagem e alta eficiência no uso de água, que segundo Yohannes (YOHANNES & TADESSE, 1998), é um assunto que tem se tornado cada vez mais importante em regiões áridas e semi-áridas com recursos hídricos limitados.

De acordo com Geisenhoff (GEISENHOFF *et al.* , 2016), estudos apontam que a produtividade é maior quando é utilizada irrigação por sistemas localizados. Isso se deve ao fato de esse tipo de sistema proporcionar melhores condições para o desenvolvimento das plantas por apresentar maior homogeneidade na aplicação da água. No exemplo apresentado por ele, o cultivo de algodão utilizando irrigação localizada obteve um aumento de 30% na produtividade comparado ao método de aspersão. Já na produção de brócolis-de-cabeça, o estudo apresentou redução de 33,3% no consumo de água para produzir a mesma quantidade do produto.

A desvantagem principal do método de irrigação por gotejamento é que, a medida em que a planta se desenvolve, sua necessidade hídrica varia e esse sistema não é construído para se ajustar a essa variação. Um exemplo do método de irrigação por gotejamento superficial é apresentado na Figura 2.5.



Figura 2.5: Irrigação por Gotejamento Superficial (LACERDA, 2016)

## 2.2 Sistemas de Irrigação Automatizados

Segundo Reis (REIS, 2015), há uma profunda repercussão sobre as diferentes tecnologias de sistemas de automação para irrigação, devido as melhorias na qualidade do processo de cultivo, pois possibilitam irrigações sem a necessidade de acompanhamento humano, além de otimizar o consumo de água. Para Durson (DURSON & OZDEN, 2011), a demanda altamente crescente de água doce requer o uso de tecnologia de automação e seus instrumentos para gerar eficiência na utilização dos recursos hídricos.

Atualmente, os sistemas automatizados de irrigação se classificam em duas abordagens principais: baseados em temporizadores e sem unidades temporizadoras. Nas subseções seguintes, as duas abordagens serão apresentadas.

### 2.2.1 Sistemas de Irrigação Baseados em Temporizadores

A maior parte dos sistemas de irrigação disponíveis no mercado utilizam temporizadores para fazer o controle do processo de irrigação. Esses mecanismos realizam a liberação de água em intervalos fixos de tempo como o sistema apresentado por Zazueta (ZAZUETA *et al.*, 1994)). Porém, este tipo de mecanismo apresenta vários problemas como: desperdício de água, gerado pela liberação de água quando o solo ainda está úmido; falta de suprimento hídrico para a planta, gerado por intervalos de tempo muito grandes sem irrigação; prejuízos a saúde da planta por irrigações realizadas em instantes com presença de altas temperaturas; entre outros.

### 2.2.2 Sistemas de Irrigação sem Unidades Temporizadoras

São sistemas que não fazem o uso de temporizadores físicos. Para identificar o momento correto de cada irrigação, assim como a quantidade de água, essas unidades apresentam um sistema de controle, alimentado por sensores, que identificam o momento ideal da rega.

NISE (NISE, 2011) afirma que um sistema de controle consiste em subsistemas e processos projetados de forma que dada uma entrada especificada, resulta em uma saída desejada. Segundo ele, os sistemas de controle podem compensar a falta de habilidade humana e mecanismos projetados sobre eles podem ser usados para substituir humanos nos trabalhos em locais remotos, perigosos ou propiciar conveniência.

O desempenho de um determinado sistema pode ser verificado a partir de sua curva de resposta e as duas das principais medidas de desempenho são a resposta transitória e o erro em regime permanente. Os sistemas de controle são construídos em casos de amplificação de potência, controle remoto, conveniência da forma de entrar, compensação de perturbações e automação (NISE, 2011).

A utilização de um sistema de controle em um sistema de irrigação tem como objetivo é automatizar a ação manual de irrigar as plantas e tentar compensar as perturbações provocadas por variações climáticas, tipos de solos, tipos de plantas e variações na temperatura (NISE, 2011).

### 2.2.3 Sistemas com Sensor de Umidade

A aplicação dos sistemas de irrigação baseados em sensores foi estudada em muitos trabalhos. Segundo Durson (DURSON & OZDEN, 2011), a aplicação de uma rede de sensores permite fazer o monitoramento em tempo real da quantidade de água presente no solo, determinando onde, quando e quanto irrigar, proporcionando um uso eficiente de recursos e eliminando a necessidade de mão-de-obra para efetuar a irrigação.

Reis (REIS, 2015) ainda afirma que o sucesso das atividades agrícolas está relacionado ao uso eficiente da água nas culturas principalmente em períodos de estresse hídrico e isso é atingido fazendo-se o controle da umidade do solo. Para Bayer (BAYER *et al.*, 2013), esta eficiência no uso da água está diretamente relacionada com a garantia de boa produção e renda para os produtores de pequeno porte.

Porém, antes de definir qual sensor utilizar, é necessário conhecer os métodos utilizados para determinar a umidade do solo. Esses métodos podem ser classificados em dois tipos: diretos e

indiretos.

Nos métodos diretos, uma amostra do solo é utilizada para fazer quantificação da água presente nele. A quantificação pode ser feita por meio da extração e determinação do volume de água contido na amostra (umidade volumétrica) ou pela umidade gravimétrica, que utiliza pesagens e relaciona a massa da água com a massa dos sólidos da amostra (ALTOÉ, 2012).

Já nos métodos indiretos, a determinação da umidade é feita utilizando as propriedades físicas do solo (capacitância, pressão, resistência elétrica e outras) (MADALOSSO, 2014). Esses métodos possuem maior vantagem na construção de sensores de umidade por não ser necessário extrair amostras de terra para a análise, uma vez que o sensor pode ser conectado diretamente ao solo da cultura. Os modelos mais utilizados são condutividade térmica, tensiômetro, irrigás e blocos de resistência elétrica.

- **Condutividade Térmica:**

Esse método utiliza uma fonte de calor, que normalmente é uma resistência elétrica por possuir dissipação térmica. Então verifica-se a diferença de temperatura entre pontos ao longo de cápsulas porosas cilíndricas. O método é muito confiável, porém, requer que cada cápsula seja calibrada individualmente, dificultando o processo de fabricação e utilização em solos com características diferentes (ALTOÉ, 2012).

- **Tensiômetro:**

O tensiômetro (esboçado na Figura 2.6) é um sistema que determina a umidade presente no solo através de um medidor de vácuo conectado a uma cápsula porosa que é permeável a líquidos, porém impermeável a gases. Dessa forma, estando a cápsula inicialmente preenchida por água, enquanto houver umidade no solo, nenhuma água passará pela cápsula e conseqüentemente não existirá vácuo. A medida que a umidade do solo reduz, a água sai do tensiômetro pelos poros da cápsula e o medidor passa a detectar a presença de vácuo no interior do tubo (MADALOSSO, 2014).

Esse método é vantajoso por proporcionar, em tempo real, a leitura da tensão de água no solo e conseqüentemente o teor de água no solo. Sua principal desvantagem é exigir manutenção constante pois os poros da superfície acabam sendo obstruídos por pequenas partículas.

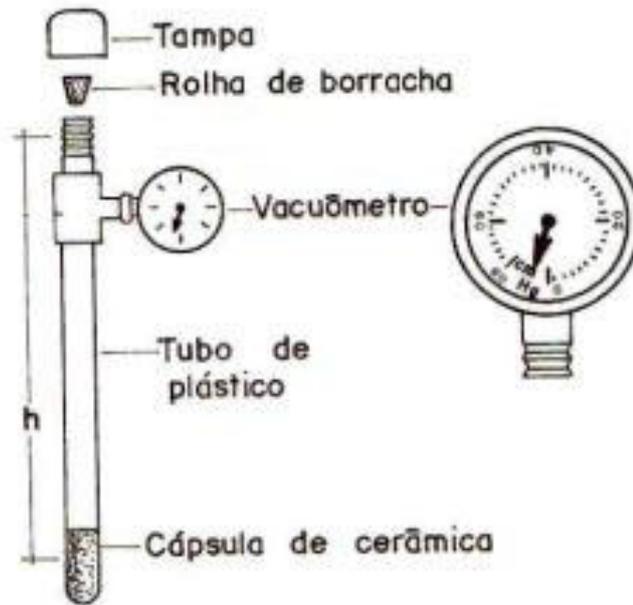


Figura 2.6: Esboço da estrutura de um tensiômetro (MADALOSSO, 2014)

- **Irrigás:**

O Irrigás é um método de determinação de umidade do solo utilizando a passagem de gás através de uma cápsula porosa que deve ser apropriada para cada cultivo. A medida que o solo seca, os poros da cápsula se esvaziam tornando possível a passagem do gás pelo sensor. O tensão crítica é o parâmetro necessário para o uso do Irrigás e é encontrado aplicando pressão no gás até iniciar o borbulhamento na cápsula imersa em água (MADALOSSO, 2014).

O Irrigás possui baixo custo de fabricação, é facilmente utilizado, fácil de ser fabricado e as respostas das medições são lineares. O seu problema é exigir manutenção constante, pois os poros da superfície acabam sendo obstruídos por pequenas partículas. A Figura 2.7 mostra o funcionamento do sensor.

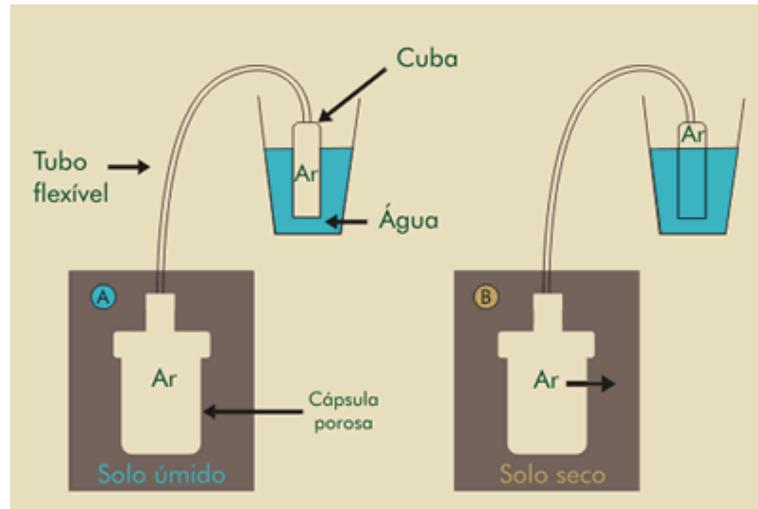


Figura 2.7: Funcionamento do Sensor de Umidade Utilizando Irrigás (MADALOSSO, 2014)

- **Resistência Elétrica:**

A medição de umidade do solo utilizando resistência elétrica é um método que faz uso da resistência presente entre dois eletrodos conectados ao solo. Essa resistência varia inversamente proporcional à variação da umidade (MENDES, 2006).

Esse método possui baixo custo e fácil manuseio. O único critério para aplicação desse tipo de sensor em um sistema automatizado é que o microcontrolador seja capaz de fazer leituras de tensão através de uma porta analógica para determinar a variação ocorrida nessa tensão, obtendo então a variação da resistência através da equação 2.1, onde  $V$  é a tensão encontrada na saída do circuito,  $I$  é a corrente de entrada do circuito e  $R$  é a resistência resultante.

$$R = V/I \quad (2.1)$$

Alguns autores inserem esses eletrodos em blocos constituídos de algum tipo de material que seja capaz de absorver água. O material preferido por alguns fabricantes é o gesso devido à sua característica de troca de umidade com o solo procurando estabelecer um equilíbrio (o material absorve água caso o solo esteja mais úmido e perde água caso o solo esteja mais seco).

Além dessa característica, a construção de blocos utilizando gesso e eletrodos é fácil. A vida útil dos blocos pode chegar a cinco anos e oferecem condições de medições contínuas em campo.

## 2.2.4 Internet das Coisas na Irrigação

Informações são compartilhadas durante todo o tempo por meio da internet. Isso é visível em celulares, *tablets*, computadores pessoais e televisões e também tem se tornado comum em câmeras de monitoramento, veículos, prédios, sensores em pontos de ônibus e muitos outros dispositivos que possuem capacidade de coletar e transmitir dados. Esse compartilhamento de informação pode resultar em melhorias para a qualidade de vida da população (otimizando o transporte público por exemplo) e gera o conceito de Internet das Coisas (IoT) cuja ideia é interligar objetos físicos do cotidiano das pessoas (CONTENT, 2017).

Segundo Zambarda (ZAMBARDA, 2014), a Internet das Coisas tem como objetivo fazer com que o mundo digital e o físico se tornem um só fazendo com que tênis, roupas, maçanetas e outros dispositivos se comuniquem. O termo surgiu em 1999, criado por Kevin Ashton (ASH-TON, 2009).

O avanço da tecnologia tem facilitado a criação de aplicações de IoT para situações cotidianas. Oliveira (OLIVEIRA, 2017) apresenta um sistema de automação residencial para o controle de lâmpadas utilizando o celular.

Ferreira (FERREIRA, 2016) propõe um projeto de gestão de um estufa de forma remota, permitindo a ativação e desativação dos atuadores, e a visualização através da *web* de informações como a temperatura dentro da estufa, umidade do solo e velocidade do vento.

E Marques (MARQUES & PITARMA, 2017) apresenta um *Sistema de Monitorização e Controle de Consumos Energéticos* que é o projeto de uma tomada inteligente colocada entre o eletrodoméstico e a tomada convencional para permitir o cálculo de consumo do mesmo e enviar a informação para o usuário.

A aplicação da tecnologia *wireless* na irrigação também ganhou espaço nos últimos anos. Como exemplos dessa aplicação temos "*Automation of Irrigation System based on Wi-Fi Technology and IOT*" (KUMAR & RAVI, 2016), "*Implementation of IoT in Smart Irrigation System Using Arduino Processor*" (KUMAR *et al.*, 2017) e "*Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and ESP8266 WiFi module*" (SINGH & SAIKIA, 2016). Todos eles referem-se a sistemas de irrigação automatizados com uma página *web* que exibe as informações sobre umidade do solo e temperatura do ambiente. Este último trabalho permite ainda o controle das bombas de irrigação diretamente no *website*.

A aplicação da IoT nos sistemas de irrigação automatizados pode produzir vários benefícios como a possibilidade de configurar o sistema a partir de vários dispositivos diferentes, a

configuração e operação do sistema à distância e a redução dos custos do projeto por eliminar a necessidade do uso de *displays* para a exibição das informações para o usuário, visto que estas serão exibidas em seus *smartphones* e computadores pessoais.

# Capítulo 3

## Materiais e Métodos

### 3.1 Visão Geral do Projeto

O projeto desenvolvido é um sistema de irrigação automatizado. A Figura 3.1 mostra um esboço do projeto onde é possível identificar que o sistema é uma composição de vários sistemas menores, tendo como principais componentes: um sistema de controle, um sistema hidráulico e um sistema *web*.

O sistema de controle tem como objetivo fazer a ligação entre os demais sistemas e o tratamento das informações provenientes dos mesmos. Sua função principal é fazer a leitura dos sensores (umidade e temperatura) e definir quando é necessário acionar a irrigação disponibilizada pelo sistema hidráulico. Além disso, ele troca informações com o sistema *web* possibilitando que o usuário tenha um domínio total sobre o sistema de controle.

O sistema hidráulico recebe uma alimentação hidráulica e aciona a irrigação quando o sistema de controle define que é necessário.

O sistema *web* possibilita que o usuário faça conexão com o sistema de irrigação através do uso do serviço *wireless* e, a partir de uma interface *web*, possa efetuar o controle e configuração.

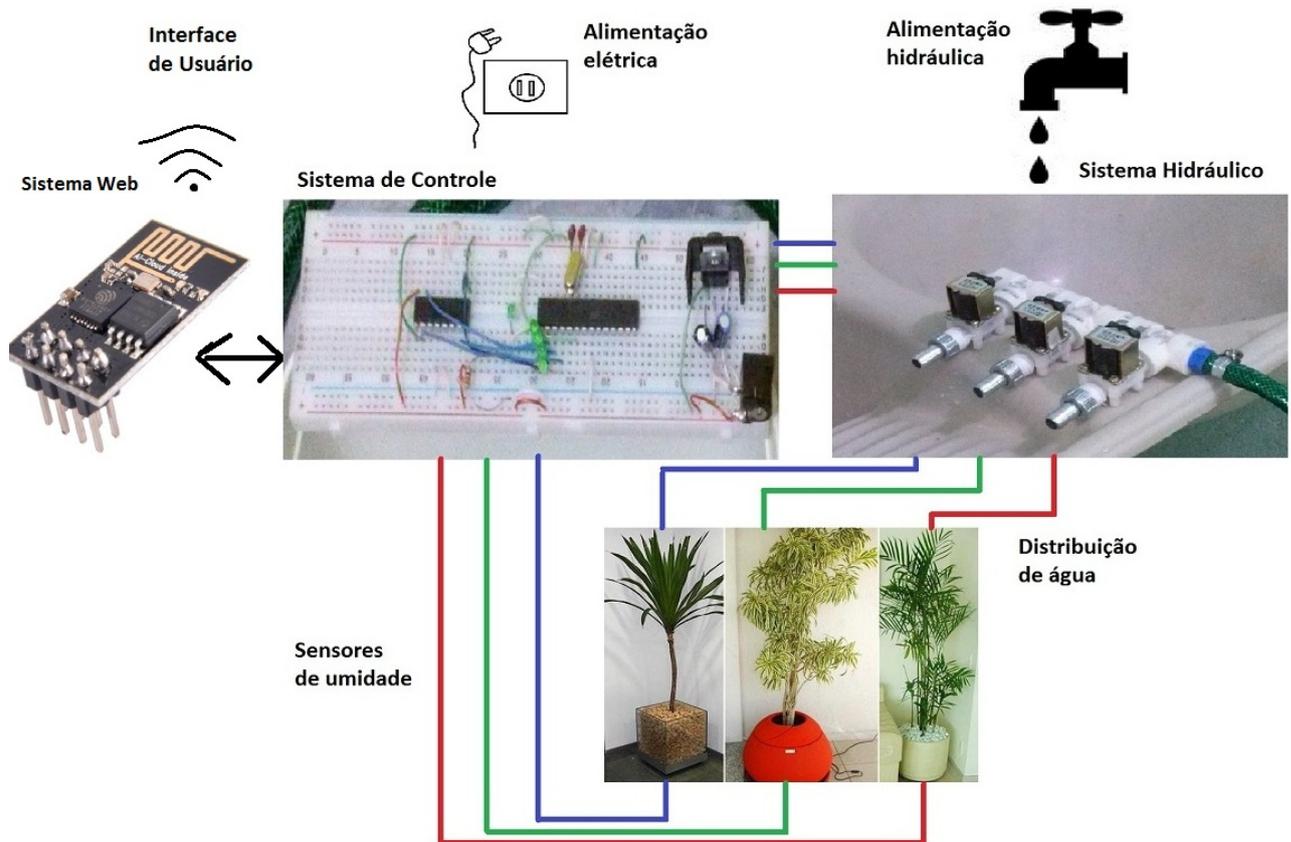


Figura 3.1: Esboço Geral do Projeto

## 3.2 Sistema de Controle

A Figura 3.2 mostra a primeira simulação do sistema de controle. Para realizar a simulação foi utilizado o software Proteus. As válvulas solenoides foram substituídas por motores DC (motores de corrente contínua) pelo fato de o simulador não disponibilizá-las (tanto motores DC quanto válvulas solenoides são considerados cargas indutivas, dessa forma, essa substituição não acarreta mudanças no comportamento do sistema). Alguns botões foram utilizados para simular os sensores de umidade.

Nesta simulação, os motores eram acionados no momento em que os botões eram pressionados, isso seria equivalente ao sensor detectar que não havia umidade suficiente no solo do vaso da planta.

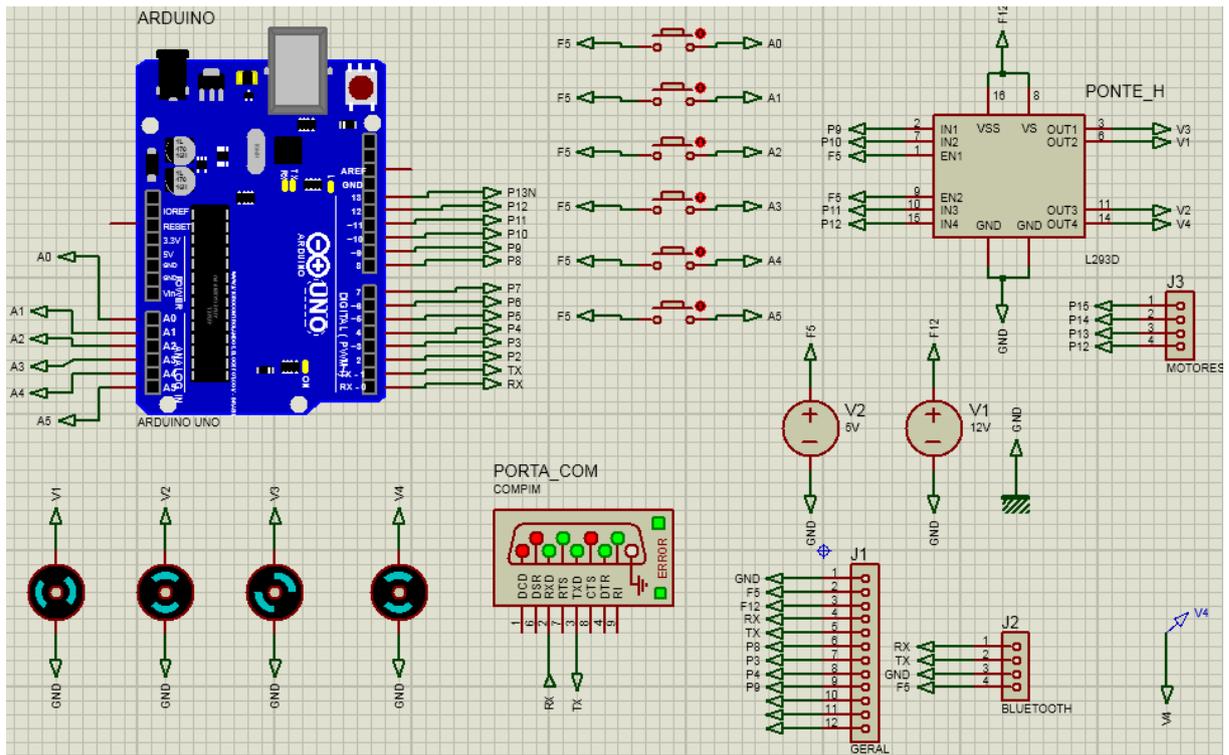


Figura 3.2: Simulação do sistema de controle no software Proteus utilizando Arduino

Uma forma eficiente de controlar a umidade presente no solo de uma planta é utilizar um sistema de controle de malha fechada, onde o sistema repete a ação de liberar água e verificar a umidade instantaneamente até que a leitura da saída seja satisfatória.

O problema encontrado nesse projeto é que as características do solo interferem na leitura temporal, ou seja, em um solo com maior facilidade de infiltração, a detecção da umidade também será maior. Dessa forma, é possível que o solo já possua água suficiente, porém o sistema ainda não foi capaz de identificar. Isso pode ser causado, por exemplo, pelo posicionamento do sensor de umidade. Uma solução para esse problema é configurar o sistema com um intervalo grande suficiente para que a umidade já tenha se espalhado mesmo em solos com taxa de infiltração menor.

O microcontrolador utilizado como sistema de controle no sistema projeto foi o Atmega328p da Atmel (Figura 3.3). Ele foi escolhido pelo baixo custo da sua placa de programação e pela vasta gama de códigos de exemplos de aplicações na área de automação.

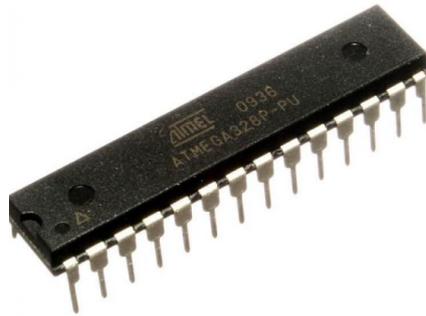


Figura 3.3: Microcontrolador Atmega328p da Atmel (BUY, 2018)

### 3.3 Sistema Hidráulico

O sistema hidráulico recebe uma alimentação hidráulica e realiza a irrigação no momento em que o sistema de controle julga adequado. Através das características de cada sistema de irrigação apresentadas na seção 2.1, foi escolhido para servir de base para o projeto o sistema de irrigação por gotejamento, no qual as tubulações alcançam cada uma das plantas, a água é aplicada com alta frequência e a irrigação é feita apenas na zona da raiz da planta, reduzindo o consumo e aumentando a eficiência na aplicação da água. Porém, para adaptar o sistema aos diferentes solos e às alterações nas necessidades hídricas de cada planta, foi utilizada uma taxa de vazão maior, os intervalos entre as saídas de água foram aumentados e é feita uma verificação da umidade do solo para detectar a necessidade da irrigação.

Para o desenvolvimento da parte hidráulica do sistema foram utilizados os seguintes componentes: 3 tês com rosca de 1/2 polegada, 2 *nipples* duplos com rosca de 1/2 polegada, 1 entrada de mangueira 3/8 x 1/2, 1 bujão com rosca de 1/2, 3 metros de mangueira de jardim, 1 bico de 3/8 polegada, 3 bicos de 1/2 polegada e 2 abraçadeiras de aço. O resultado é apresentado na Figura 3.4. O sistema de controle e o sistema *web* foram projetados para suportar a irrigação de até quatro plantas (ou quarto culturas), porém, uma das válvulas do quebrou durante a montagem e o sistema hidráulico foi montado com apenas três.



Figura 3.4: Tubulação de água do sistema

O sistema hidráulico foi desenvolvido para permitir conexão direta com a rede de água, evitando a necessidade do uso de recipiente reservatório. Esta solução acarreta em uma economia energética, pois elimina a necessidade de bombas para aumentar a vazão da água.

### 3.4 Medição da Umidade

A condutividade elétrica do solo está relacionada com várias propriedades físicas e químicas como a salinidade do solo, o teor de argila, a capacidade de troca de cations, a mineralogia da argila, o tamanho e a distribuição dos poros do solo, teor de água do solo, a condutividade elétrica da água do solo, a densidade do solo e a condutividade elétrica das partículas do solo (SUDDUTH *et al.*, 2005).

Outros fatores que podem influenciar a condutividade elétrica são a temperatura, quantidade de minerais presentes no solo e a poluição do solo.

A temperatura desempenha um papel importante na condutividade elétrica. A capacidade de conduzir energia fica reduzida quando o solo congela e aumenta quando a temperatura está alta. Solos de argila e matéria orgânica em geral possuem mais minerais e elementos que contribuem para uma alta capacidade de troca catiônica. E solos poluídos muitas vezes contêm grandes quantidades de metais pesados e resíduos de extração industrial que conduzem eletricidade. Esses solos possuem maior capacidade de condução de eletricidade. Em solos não salinos, a

condutividade está relacionada principalmente com a textura do solo e o teor de umidade.

A água pura (H<sub>2</sub>O) não conduz corrente, pois, para que haja condução é necessária a presença de elétrons livres, ou seja, elétrons que podem realizar saltos entre as camadas eletrônicas ao serem energizados. A água em contato com os minerais presentes no solo (potássio, sódio, cálcio e outros) perde elétrons de dissociação dos íons e suas moléculas ficam ionizadas possibilitando a passagem de corrente elétrica.

É possível então utilizar a condutividade elétrica do solo para verificar o nível de umidade presente nele através de um teste de continuidade. A Figura 3.5 mostra um esboço do teste.

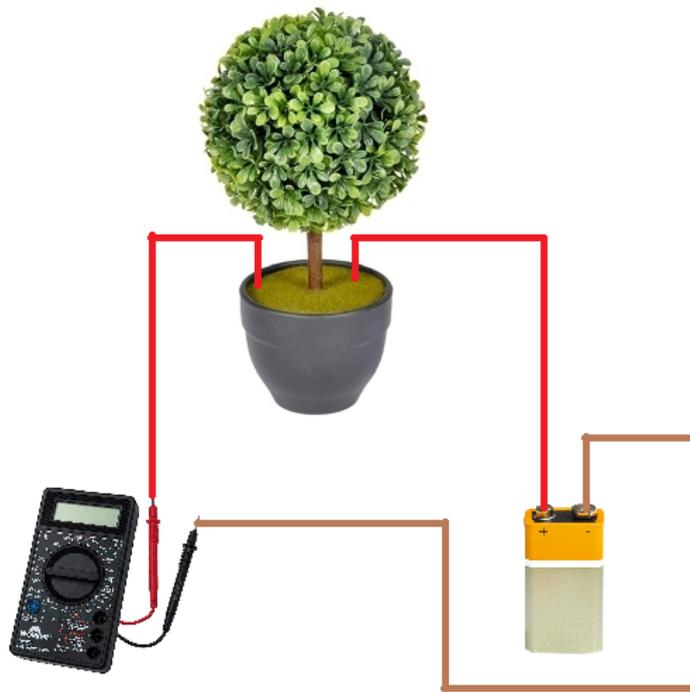


Figura 3.5: Esboço do teste de condutividade utilizado para verificar a umidade do solo

O polo positivo de uma bateria de 9V foi conectado à terra do vaso através de uma sonda (um fio com a ponta reforçada para perfurar a terra), enquanto que o polo negativo foi conectado à entrada negativa do multímetro e a entrada positiva do multímetro foi conectada ao vaso através de uma segunda sonda distanciada da sonda já presente no vaso.

A Figura 3.6 apresenta o resultado obtido. Foi verificado que a diferença de potencial contida entre as duas sondas no primeiro momento foi de aproximadamente 0,28 *volts*. Em seguida a terra foi umedecida e a diferença de potencial entre as sondas passou para 8,31 *volts*. Diante deste resultado, o sensor de umidade foi desenvolvido levando em consideração que, quando umedecida, a terra torna-se "condutora".

Sem água

Com água

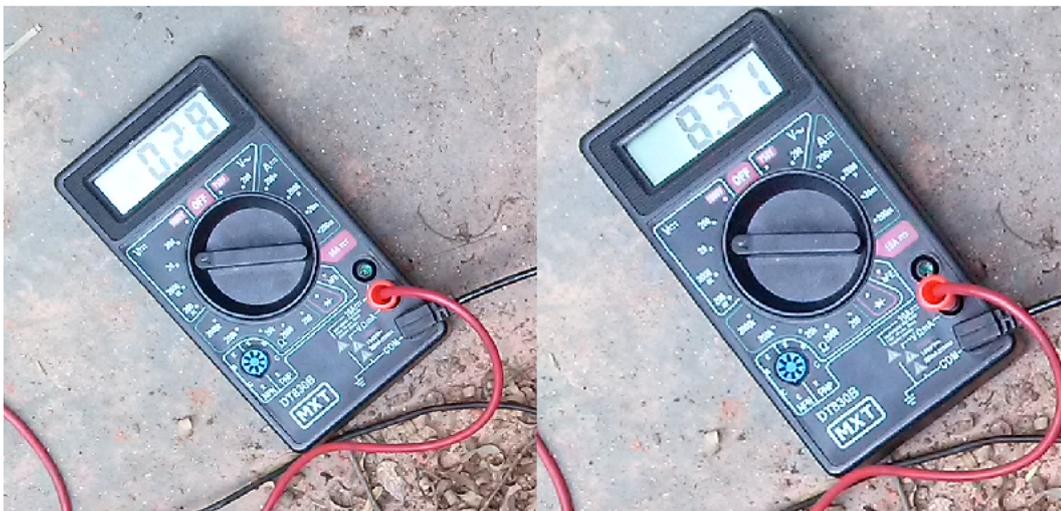


Figura 3.6: Teste utilizando um multímetro para verificar a tensão de saída do solo

Um Arduino foi então configurado para reconhecer essa diferença de potencial através da utilização das portas analógicas do *chip* Atmega328p. Na primeira versão do sensor quando todas as portas detectavam um valor próximo a 5 *volts*, o sistema entendia que o solo estava úmido. Quando uma delas tornava-se inferior a 2 *volts*, o sistema entendia que o solo precisava ser irrigado e acionava a válvula correspondente. A Figura 3.7 apresenta um esboço do circuito resultante.

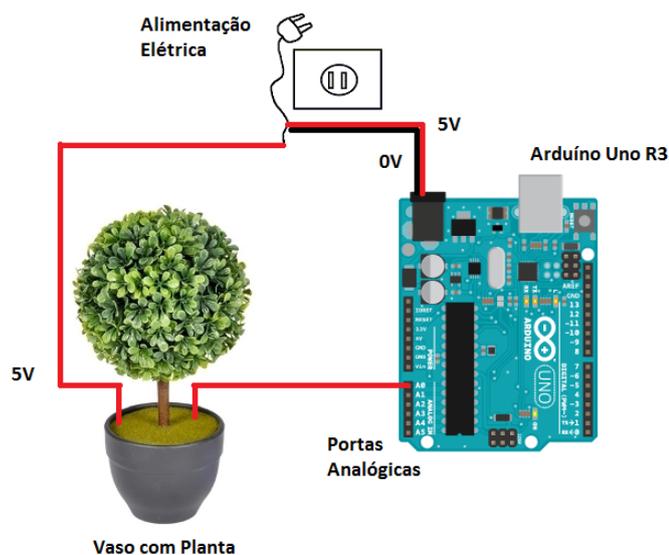


Figura 3.7: Esboço do circuito utilizado para verificar umidade do solo

A função utilizada para aferir a tensão é a `analogRead()` que faz a leitura do valor do pino

analógico especificado. O chip Atmega328p possui 6 canais conversor analógico-digital de 10 bits. Para a medição da umidade é realizado um mapeamento das tensões de entrada que variam entre 0 e 5 volts e são tratadas no software em valores inteiros entre 0 e 1023. O intervalo de entrada e a resolução podem ser alterados no sistema de controle.

O tempo de leitura de cada entrada analógica é de cerca de 100 milissegundos possibilitando uma taxa de leitura de 10 mil vezes por segundo de forma que o tempo para varrer quatro sensores de umidade não prejudica o desempenho do sistema.

A medição da umidade apresentou problemas causados pelo ponto flutuante. O problema foi corrigido adicionando uma resistência conectada ao terra na sonda de leitura do sensor. Esse procedimento faz com que a leitura do sensor seja sempre zero quando não há presença alguma de umidade entre os terminais da sonda. A Figura 3.8 mostra essa alteração realizada no sensor. Uma das sondas é conectada na fonte de 5 volts juntamente com a alimentação do microcontrolador. A outra sonda é conectada ao *ground* por meio de uma resistência e então conectada à porta analógica do microcontrolador.

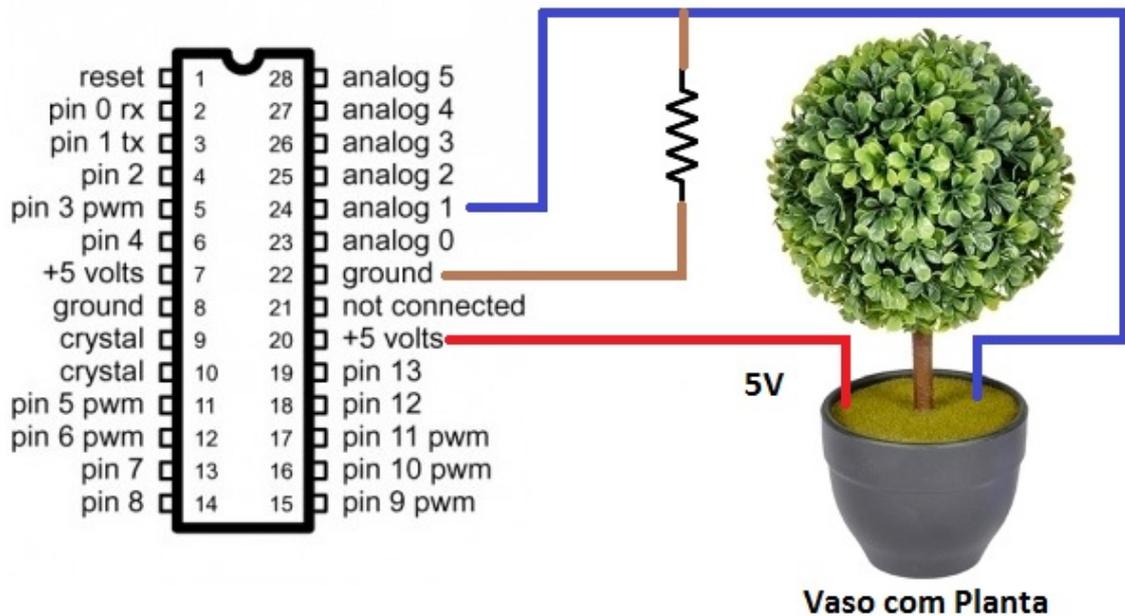


Figura 3.8: Versão final do esboço do circuito utilizado para verificar umidade do solo

Esta alteração faz com que o sensor se torne equivalente ao método de medição de umidade por resistência elétrica descrito na seção 2.2.3 do referencial teórico. Posteriormente foi adicionado um bloco de gesso entre as sondas, isso faz com que o sensor tenha melhor adaptação aos diferentes tipos de solos. O gesso foi escolhido pelo baixo custo, alta disponibilidade no mercado e facilidade de manipulação. Isto também aumentou a precisão do sensor tornando

possível trabalhar com níveis de umidade, ou seja, o sensor não só detecta se há umidade como também consegue definir o nível de umidade em uma escala de 0 a 100.

### 3.5 Medição de Temperatura

Com o objetivo de evitar que o sistema efetue a irrigação em momentos onde a temperatura possa prejudicar o desenvolvimento da planta ou até mesmo leva-la a morte, torna-se necessário o uso de sensores para a verificação da temperatura ambiente. Porém, devido ao alto custo dos sensores de temperatura para projetos com microcontroladores, a medição da temperatura foi realizada utilizando um circuito contendo um resistor e um termistor.

Os resistores são dispositivos com valores fixos de resistência. Sua finalidade é limitar a corrente elétrica em um circuito. Essa limitação ocorre transformando a energia elétrica em energia térmica.

Os termistores são dispositivos projetados com materiais semicondutores cuja propriedade principal é a variação da resistência de acordo com a variação da temperatura. Os termistores podem ser do tipo NTC (Coeficiente de Temperatura Negativo) ou PTC (Coeficiente de Temperatura Positivo). (STROSKI, 2017)

O termistor utilizado foi um NTC (a resistência diminui com o aumento da temperatura) de 100 *Kiloohm* para a temperatura ambiente (25° Celsius). A Figura 3.9 mostra o termistor utilizado no circuito.



Figura 3.9: Termistor NTC 100k (APRENDIENDO, 2015)

A Figura 3.10 mostra o circuito utilizado para fazer a medição da temperatura. Neste circuito, o resistor e o termistor são posicionados de forma a criar um divisor de tensão, que é um circuito que divide a tensão da fonte de alimentação entre as resistências, então é efetuada a leitura dessa tensão entre eles e o resultado é convertido em temperatura pelo sistema de controle. É possível observar que a tensão na saída é aproximadamente metade da tensão na entrada

quando a temperatura é de 25 graus, característica do divisor de tensão.

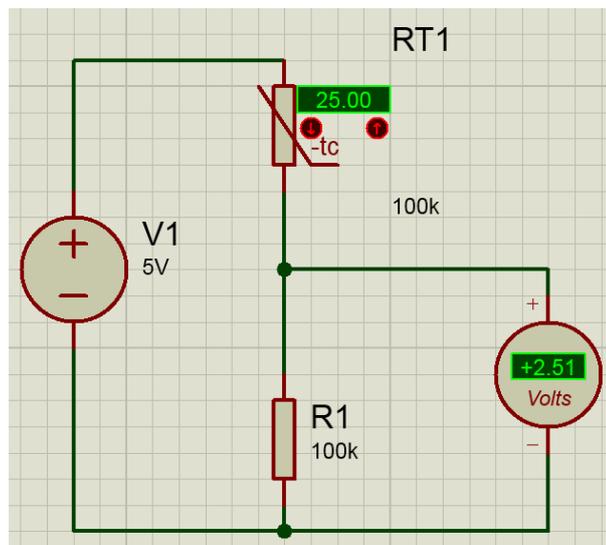


Figura 3.10: Circuito utilizado para fazer a medição da temperatura com resistor e termistor.

O sistema foi configurado para fazer várias leituras de tensão na porta analógica do microcontrolador onde está conectado o sensor e calcular a média entre as amostras para reduzir a ocorrência de erros nos cálculos da temperatura. Em seguida são realizadas operações de transformação da tensão média encontrada em valor de resistência e de transformação dessa resistência em temperatura. O valor do coeficiente do termistor utilizado nas operações é dado pelo *datasheet* do componente (BAPI, 2016). A Figura 3.11 mostra a configuração da conexão do circuito medidor de temperatura ao microcontrolador.

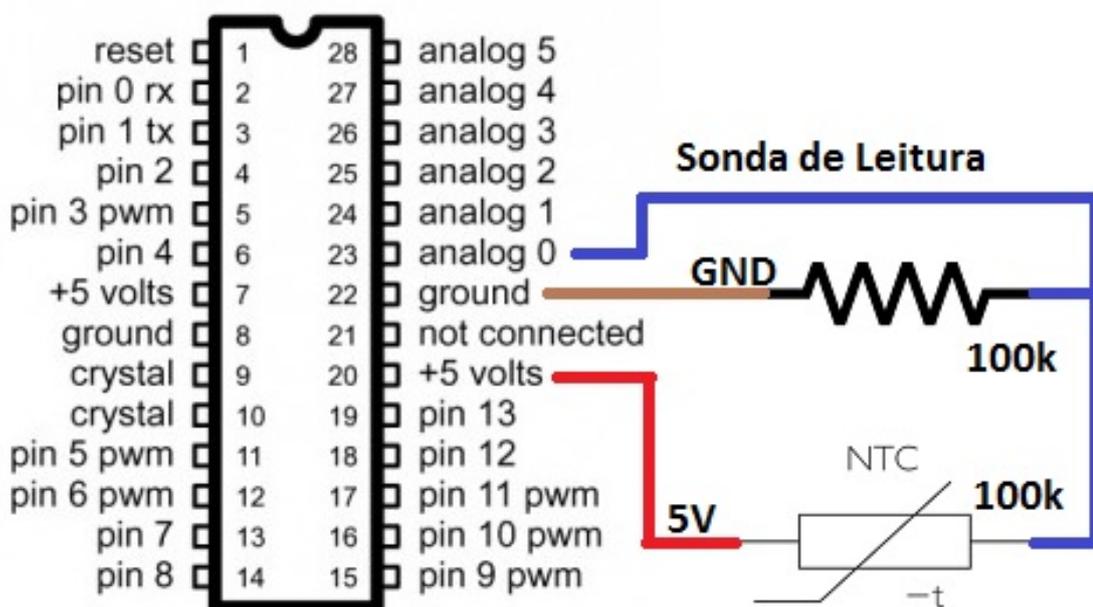


Figura 3.11: Esboço da conexão do circuito medidor de temperatura ao microcontrolador.

## 3.6 Interface de Usuário

A Interface de Usuário foi desenvolvida utilizando um sistema *web* com o objetivo de poder ser acessada a partir de qualquer dispositivo que possibilite a navegação *web*. Isso foi possível através da utilização do módulo ESP8266 que pode ser conectado à microcontrolados e configurado de forma a permitir que estes conectem-se à redes *wireless*. A Figura 3.12 apresenta o modelo mais comum desse módulo e o que foi utilizado neste projeto.

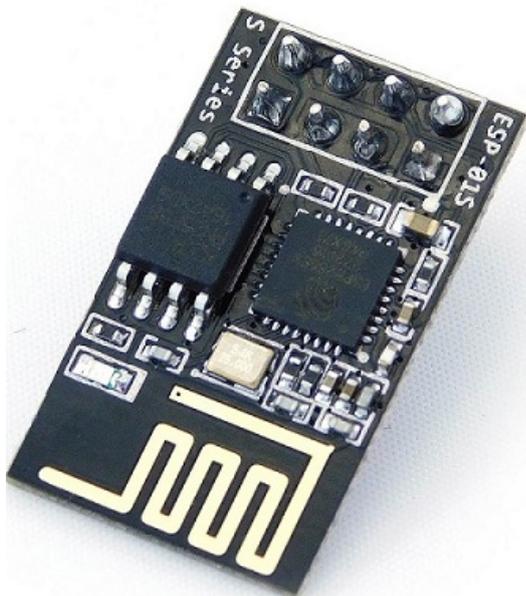


Figura 3.12: Módulo *Wireless* ESP8266 (NETTIGO, 2015)

A Figura 3.13 mostra o circuito de ligação do módulo com o microcontrolador Atmega328p. Os terminais RX e TX do módulo são as portas que fazem a comunicação serial com o microcontrolador. RX e TX são conectados aos pinos 2 e 3 do Atmega328p e esses pinos são configurados como porta de saída e entrada serial de acesso ao módulo. A porta GND do módulo é conectada a GND do microcontrolador. E as portas VCC e CH recebem a alimentação. No caminho da alimentação do módulo foi adicionado um circuito de adaptação de tensão que recebe 5 volts e transforma em 3,3 volts que é a tensão suportada pelo módulo.

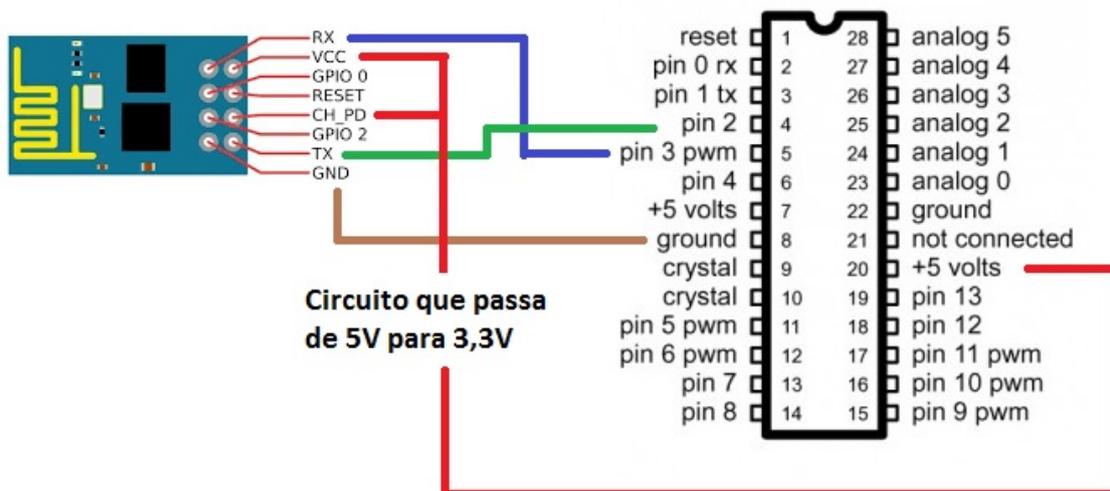


Figura 3.13: Circuito de Ligação do Módulo ESP8266 ao microcontrolador Atmega328p

A Figura 3.14(a) mostra a página inicial do sistema aberta através do navegador de um *Smartphone*. A tabela exibida na imagem permite que o usuário tenha acesso a todas as informações sobre as plantas monitoradas pelo sistema, bem como algumas informações de configuração. A primeira coluna (*Plant*) informa qual a planta monitorada. A segunda (*Active*) mostra para quais plantas a irrigação está ativada. A terceira coluna (*Moisture*) exibe o nível de umidade presente em cada vaso. A quarta (*Wet*) informa o tempo de liberação de água para cada vaso. E a quinta coluna (*Temperature*) informa a temperatura ambiente na região de cada vaso de planta.



Figura 3.14: Interface de Usuário (página inicial, menu de opções e menu de plantas)

A Figura 3.14(b) mostra a página contendo o menu principal de configurações disponibilizadas pelo sistema. O menu "Plants"(Figura 3.14(c)) exibe as configurações disponíveis para cada planta, porém solicita inicialmente que o usuário informe para qual vaso deseja realizar as configurações.

Em seguida é exibido um menu de configurações contendo opções que permitem que o usuário ative o sistema de irrigação em uma determinada planta, configure o tempo de duração da liberação de água ou inicie uma irrigação instantânea (Figura 3.15(a)).

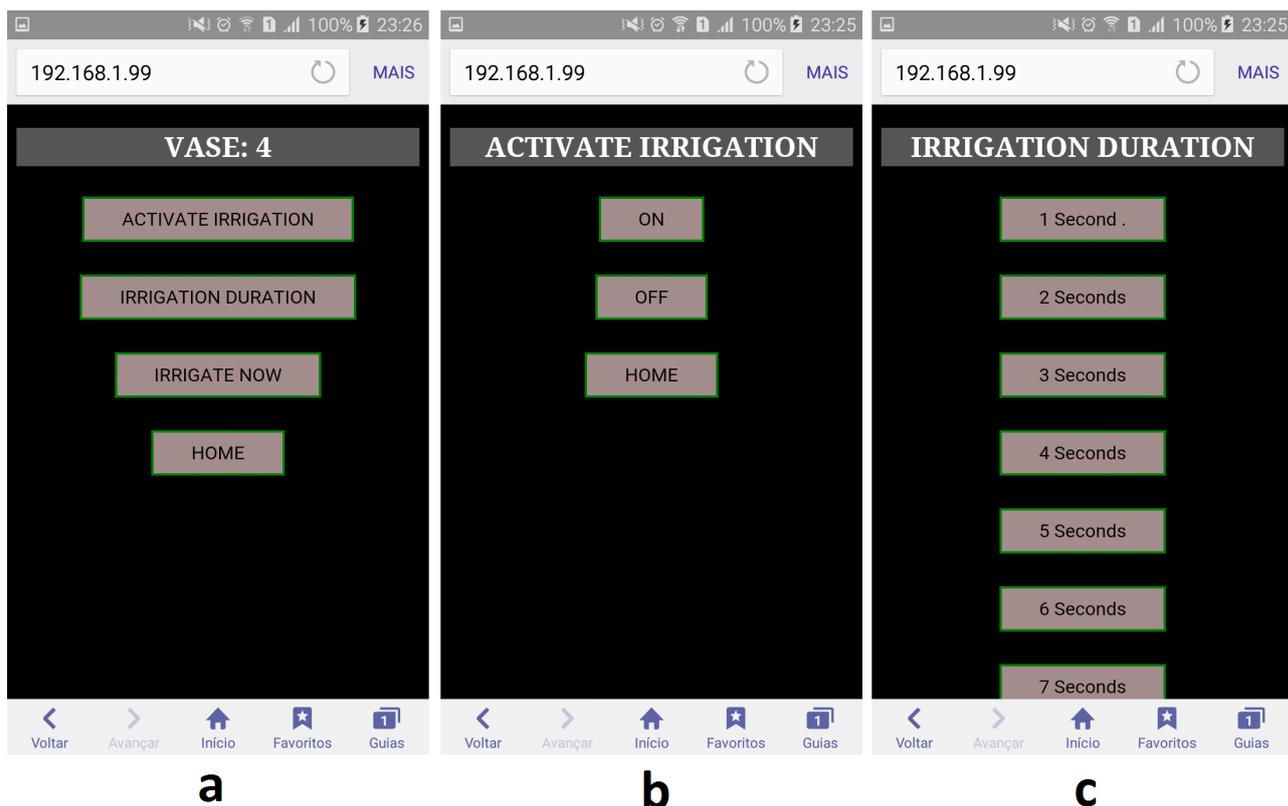


Figura 3.15: Interface de Usuário (opções do planta 4, ativação da irrigação e configuração do tempo de irrigação)

No menu "*Activate Irrigation*". São exibidas as opções "ligado"(*on*) e "desligado"(*off*). Ao selecionar a opção desejada, o usuário é redirecionado para a página principal e poderá observar a alteração da configuração na tabela (Figura 3.15(b)).

No menu "*Irrigation Duration*". São exibidas as opções de tempo disponíveis para o usuário. As opções são limitadas visto que o sistema é voltado para irrigação de plantas caseiras, nesse caso, permitir que usuário configure um tempo muito grande pode resultar em problemas como desperdício de recursos hídricos, aumento exagerado no custo de cultivo, alagamentos, degradação do ambiente doméstico, entre outros. Ao selecionar a opção de tempo desejada, o usuário é redirecionado para a página principal e poderá observar a alteração da configuração na tabela. (Figura 3.15(c))

No menu "*Wifi Configuration*", é possível fazer o sistema ingressar em uma rede *wireless* desejada informando o nome da rede (*SSID*) e a senha (*PASSWORD*). Clicando em "*CONNECT*", o sistema coleta as informações passadas e utiliza para entrar na rede. Em seguida, poderá ser acessado através da faixa de IP gerada pela rede e o final 99. (Figura 3.16(a))

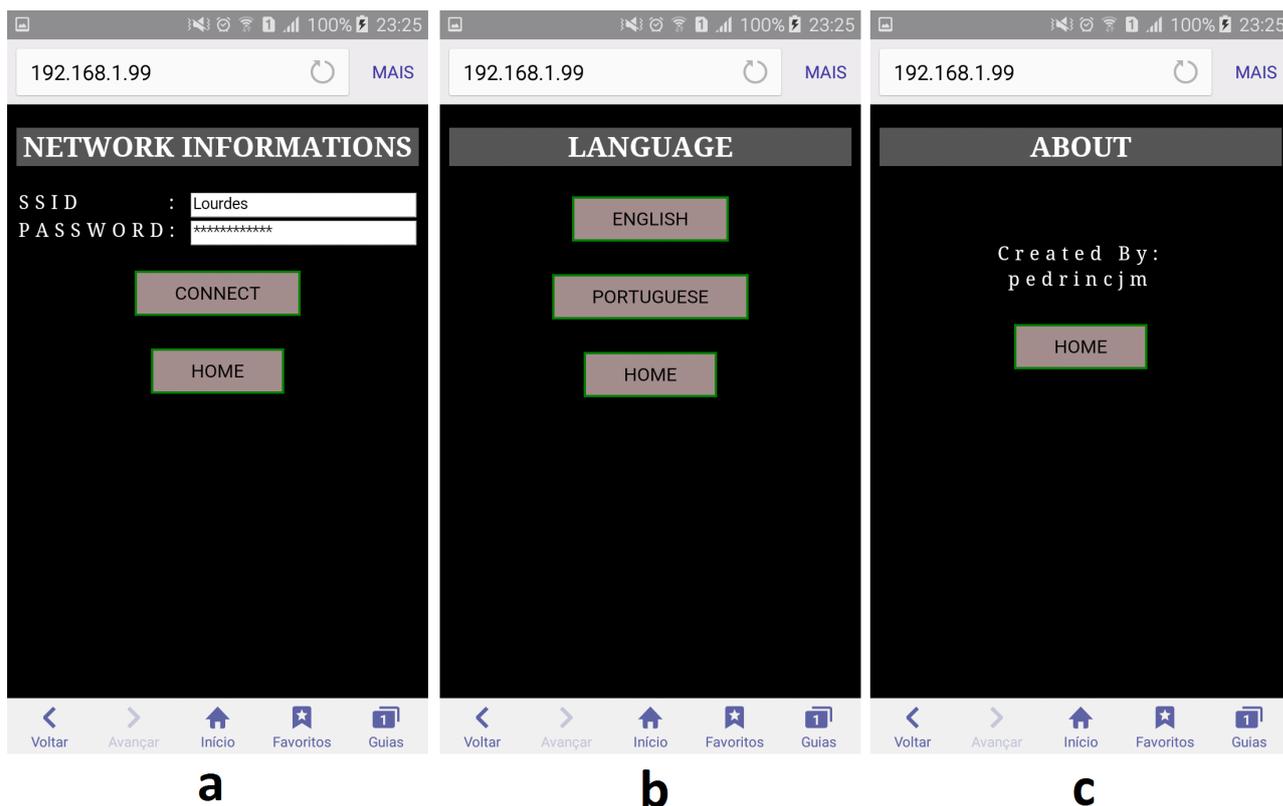


Figura 3.16: Interface de Usuário (configuração de rede, linguagem e informações de autoria do sistema)

No menu "*Language*", mostrador na Figura 3.16(b), o usuário poderá optar alterar o idioma da interface do sistema. Ao selecionar a opção desejada, o usuário é redirecionado para a página principal.

No menu "*About*"(Figura 3.16(c)), são exibidas algumas informações sobre autorias do sistema.

# Capítulo 4

## Resultados

### 4.1 Medição da Umidade

A umidade foi acompanhada durante alguns dias utilizando a irrigação desativada visando verificar o funcionamento do sensor e o resultado é exibido na Figura 4.1. A queda de umidade foi pequena devido ao fato de os dias estarem frios, os vasos terem sido colocados em um ambiente com sombra e não estarem com plantas, mas mostrou que os sensores estava funcionando de forma esperada.

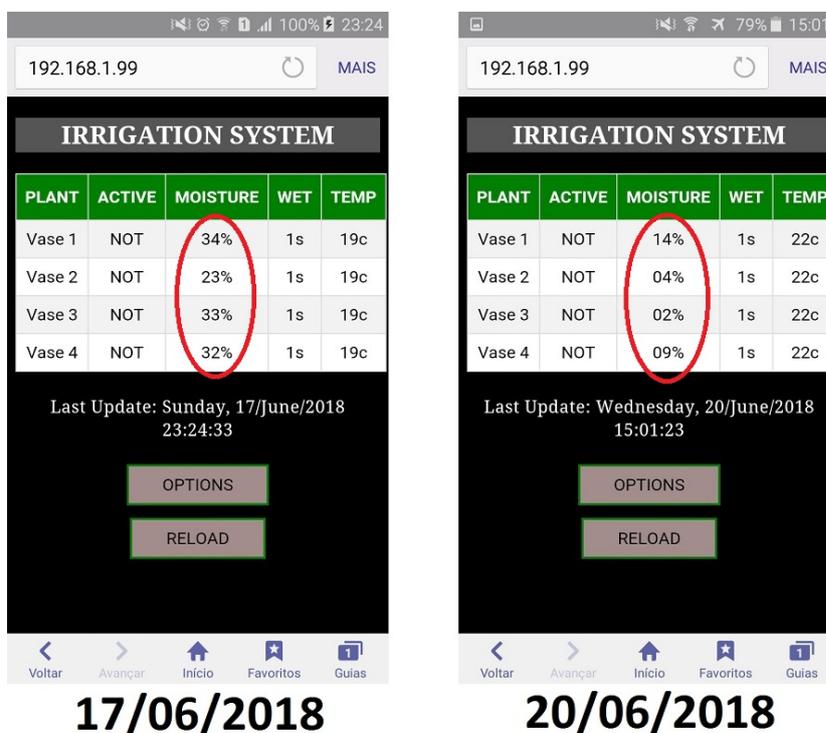


Figura 4.1: Acompanhamento da umidade durante os primeiros dias.

## 4.2 Medição de Temperatura

O circuito de medição de temperatura se mostrou bastante eficiente. Na Figura 4.2 é exibido o registro do sistema durante um teste de medição de temperatura e umidade. Na Figura 4.3 é exibida a temperatura ambiente no mesmo instante utilizando um medidor de temperatura digital.

```
Temperatur 22.94 *C
Umidade em: 1 = 37
Umidade em: 2 = 23
Umidade em: 3 = 33
Umidade em: 4 = 28
Temperature 22.94 *C
Umidade em: 1 = 37
Umidade em: 2 = 23
Umidade em: 3 = 33
Umidade em: 4 = 28
Temperatur 22.88 *C
Umidade em: 1 = 37
Umidade em: 2 = 23
Umidade em: 3 = 33
Umidade em: 4 = 28
NNNN 37230328 1111 22222222 I 0000
Temperatur 22.93 *C
Umidade em: 1 = 37
Umidade em: 2 = 23
Umidade em: 3 = 33
Umidade em: 4 = 28
NNNN 37230328 1111 22222222 I 0000
```

Figura 4.2: Registro do Sistema durante a Medição de Temperatura e Umidade com a Irrigação Desativada

É possível observar que a diferença na medição do circuito projetado e do medidor digital de temperatura encontra-se apenas nas casas decimais.



Figura 4.3: Leitura de um Termômetro Digital no mesmo instante de leitura mostrada na Figura 4.2

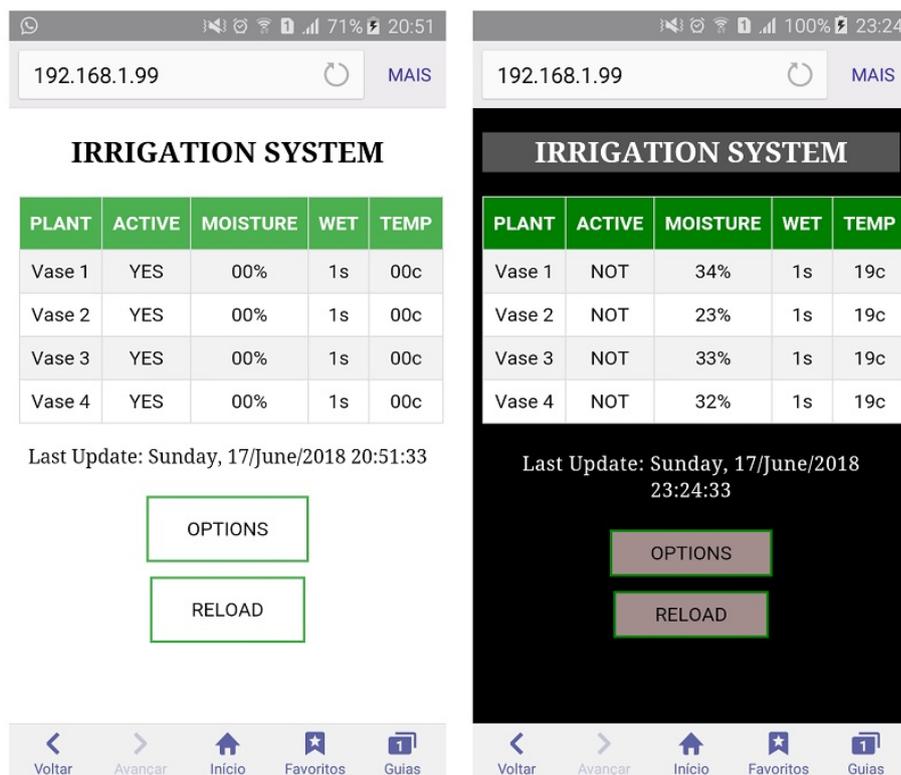
A Tabela 4.1 mostra a mesma temperatura exibida pela interface *web* para o usuário. É possível observar que não foi realizado um arredondamento. O sistema apenas utiliza a parte inteira do valor encontrado, isso é realizado para reduzir tempo de processamento e custo computacional visto que a comunicação entre o sistema de controle e o sistema *web* é feita de forma serial.

PLANT	ACTIVE	MOISTURE	WET	TEMP
Vase 1	NOT	37%	1s	22c
Vase 2	NOT	23%	1s	22c
Vase 3	NOT	33%	1s	22c
Vase 4	NOT	28%	1s	22c

Tabela 4.1: Temperatura Exibida para o Usuário pelo navegador do *smartphone*.

### 4.3 Interface de Usuário

Foi solicitado que 3 usuários fizessem uso do sistema e sugerissem correções. Os usuários ficaram satisfeitos com o sistema, informaram que foi muito fácil fazer as configurações que desejavam e apenas sugeriram melhorias no aspecto visual como a redução do tamanho dos botões, mudança da cor do fundo do sistema, da tabela, dos botões e destacar o título das páginas. As alterações foram efetuadas e são mostradas na Figura 4.4.



**Antes**

**Depois**

Figura 4.4: Antes e Depois das melhorias sugeridas pelos usuários.

## 4.4 Resultado Geral

A Tabela 4.2 mostra o controle de umidade entre os dias 21 e 27 de Junho. Os dados foram coletados manualmente a partir da tela do cliente (como a mostrada na Figura 3.14(a)). O sistema foi configurado para realizar a irrigação automaticamente quando a leitura de umidade de algum dos sensores indicar uma umidade inferior a 20%. O Gráfico mostrado na Figura 4.5 foi extraído da tabela.

No dia 21 a irrigação foi ativada, como a leitura dos sensores indicava uma umidade abaixo de 20%, o sistema realizou a irrigação nos três vasos, porém, o tempo de saída de água estava configurado para apenas dois segundos, então a nova leitura de umidade indicou um acréscimo muito pequeno na umidade. Então o tempo foi reconfigurado para 3 segundos de saída em todos os vasos. O vaso 4 não aparece nos resultados devido à válvula ter quebrado no processo de montagem.

Controle de Umidade			
Dia	Umidade		
	Vaso 1	Vaso 2	Vaso 3
21/jun	45%	30%	37%
22/jun	37%	23%	33%
23/jun	30%	61%	25%
24/jun	26%	57%	68%
25/jun	71%	49%	56%
26/jun	65%	43%	48%
27/jun	57%	38%	43%

Tabela 4.2: Controle de umidade entre os dias 21 e 27 de Junho.

No dia 22 O vaso 2 foi irrigado novamente, pois a leitura do sensor indicava uma umidade inferior a 20%. Após a irrigação, a umidade no seu sensor indicou 61%. Essa umidade foi caindo lentamente no restante dos dias.

O vaso 3 foi irrigado pela segunda vez no dia 24 após a leitura de umidade ter ultrapassado o limite inferior e o sensor passou a indicar 68% de umidade depois da irrigação. O vaso 1 recebeu uma nova irrigação no dia 25, a leitura do sensor após a irrigação foi de 71%. No restante dos dias a umidade dos dois decaíram lentamente.

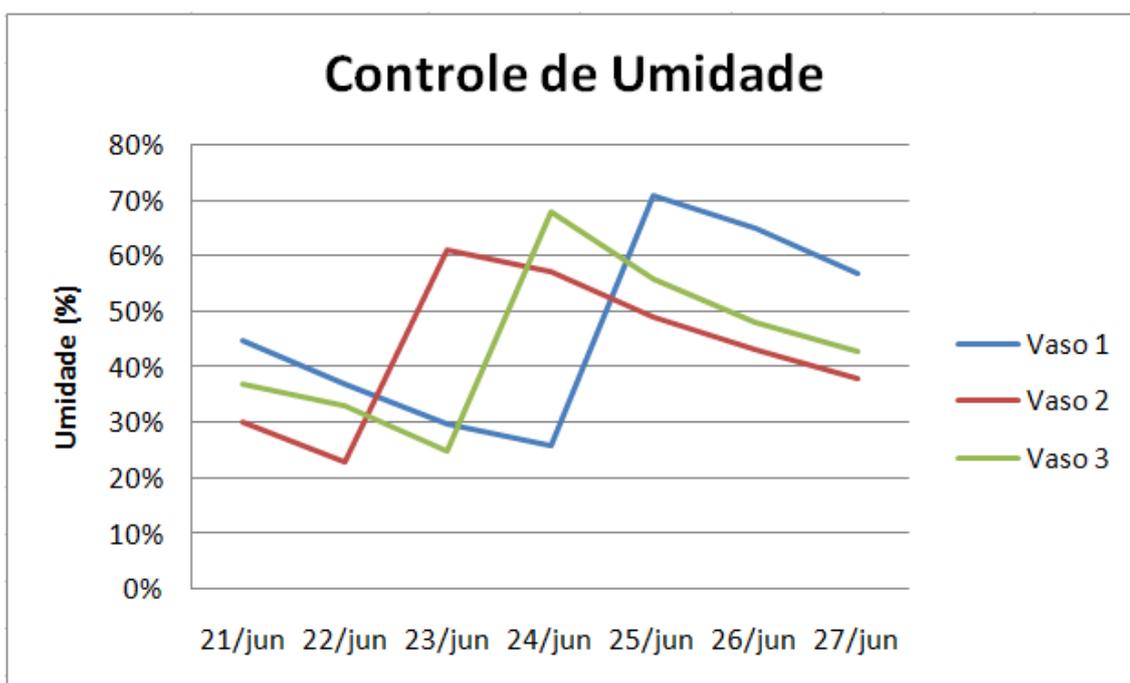


Figura 4.5: Gráfico do controle de umidade entre os dias 21 e 27 de Junho.

## 4.5 Custo do Projeto

O custo detalhado do projeto é mostrado na Tabela 4.3. É possível perceber que as válvulas solenoides representam aproximadamente 50% do custo.

Orçamento do Projeto			
Item	Quantidade	Modelo	Valor no Brasil
Microcontrolador	1 unidade	Atmega328p	9,99
Módulo <i>Wireless</i>	1 unidade	ESP8266	11,99
Ponte H	1 unidade	CI L293D	5,45
Termistor	1 unidade	NTC 100K	2,99
Fonte 12 <i>Volts</i>	1 unidade		9,99
Válvula Solenóide	4 unidades		108,00
Protoboard	1 unidade	800 furos	12,90
Mangueira de Jardim	9 metros		19,80
Nipples de rosca	2 unidades	Duplo	1,00
Bujão com rosca	1 unidade		1,00
Bico 3/8 polegada	1 unidade	Plástico	2,70
Bico 1/2 polegada	3 unidades	Metálico	8,10
Tês com rosca de 1/2	3 unidades		4,98
Abraçadeira de aço	2 unidades		0,88
Gesso	1 pacote de 1Kg		3,50
Resistências, capacitores, transistores, etc			12,00
Fios 1mm	20 metros		4,50
<b>Total</b>			<b>219,77</b>

Tabela 4.3: Custo Detalhado do Projeto

# Capítulo 5

## Considerações Finais

### 5.1 Conclusão

A construção do projeto mostrou que a área da automação é uma área muito vasta e além de incluir diversos assuntos dentro da própria automação, exige um conhecimento sobre a área à qual se deseja automatizar.

Os resultados apresentados pela Tabela 4.2 para o experimento com o controle de umidade mostram que o sistema é capaz de manter a umidade dentro do limite desejado. Através de alguns ajustes é possível fazer com que o sistema alcance um equilíbrio de umidade no solo do vaso da planta. Além disso, os sensores apresentaram o comportamento esperado e a interface simplificada tornou fácil a tarefa de configurar o sistema para cada planta individualmente.

### 5.2 Trabalhos Futuros

É interessante, para um trabalho futuro, um estudo mais aprofundando sobre os solos e plantas, pois nem todas as plantas exigem o mesmo nível de umidade no solo. Estas informações poderiam ser integradas ao sistema.

O sistema de controle deve ser trabalhado para que suas respostas consigam estabelecer um equilíbrio na umidade do solo de forma que o próprio sistema ajuste o tempo de saída de água necessário para cada planta.

O sistema se mostrou relativamente eficiente, o que torna interessante a passagem do circuito para componentes SMD (Componente Para Montagem em Superfície), fazendo uma redução de volume e melhorando a estética do projeto.

# Referências Bibliográficas

ALTOÉ, M. A. C. 2012. Sistema Automatizado de Irrigação para Culturas Específicas. Centro Universitário de Brasília. Brasília.

APRENDIENDO, T. 2015. *Termistor ntc 100k*. Disponível em: <http://aprendiendo.laconeccion.com/producto/termistor-ntc-100k> Acessado em: 23 de Abril de 2018.

ARROZ, P. 2014. *Rumo a consolidação*. Disponível em: <https://www.planetaarroz.com.br/noticias/13183/Rumo%20%C3%A0%20consolida%C3%A7%C3%A3o> Acessado em: 21 de Junho de 2018.

ASHTON, K. 2009. *That 'internet of things' thing*. Disponível em: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986> Acessado em: 15 de Junho de 2018.

BAPI, S. S. 2016. *100k thermistor output table*. Disponível em: [http://www.bapihvac.com/wp-content/uploads/2010/11/Thermistor\\_100K.pdf](http://www.bapihvac.com/wp-content/uploads/2010/11/Thermistor_100K.pdf) Acessado em: 20 de Janeiro de 2018.

BAYER, A, MAHBUB, I., CHAPPELL, M., RUTER, J., & IERSEL, M. 2013. Water Use and Growth of Hibiscus acetosella 'Panama Red' Grown with a Soil Moisture Sensor-controlled Irrigation System. **48**.

BUY, C. 2018. *Atmega328p-pu atmega328p atmega328 dip-28*. Disponível em: [https://blitztechelectronics.com/wp-content/uploads/2015/11/ATMEGA328P-PU\\_2-600x600.jpg](https://blitztechelectronics.com/wp-content/uploads/2015/11/ATMEGA328P-PU_2-600x600.jpg) Acessado em: 23 de Março de 2018.

CHRISTENSEN, G. 2011. *Sub-irrigation planters*. Disponível em: <http://wrench-works.blogspot.com/2011/05/sub-irrigation-planters.html> Acessado em: 21 de Junho de 2018.

COELHO, E. F., TEIXEIRA, A. H. C., COSTA, E. L., LIMA, M. B., & BORGES, A. L. 2007. *Irrigação por aspersão*. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01\\_19\\_41020068055.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia40/AG01/arvore/AG01_19_41020068055.html) Acessado em: 21 de Junho de 2018.

CONTENT, A. B. 2017. *Entenda o que é a internet das coisas*. Disponível em: <https://exame.abril.com.br/tecnologia/entenda-o-que-e-a-internet-das-coisas/> Acessado em: 13 de Junho de 2018.

DURSON, M., & OZDEN, S. 2011. A wireless application of drip irrigation automation supported by soil moisture sensors. Technical Education Faculty, Gazi University. Turkey. Ankara.

FERREIRA, R. A. C. 2016. *Gestão de um Estufa*. Escola Superior de Tecnologia e Gestão - Instituto Politécnico da Guarda. Guarda. Portugal.

GEISENHOFF, L. O., OLIVEIRA, F. C., BISCARO, G. A., S., ALMEIDA A. C., & SCHWERZ, F. 2016. Produtividade do brócolis-de-cabeça sob diferentes sistemas de irrigação. *Revista Engenharia Agrícola*, **26**(3).

GHIZZI, R. B. 2016. Sistema automatizado de irrigação residencial com reciclagem de águas pluviais. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos. São Paulo.

IDEAL, I. 2017. *Irrigação por microaspersão*. Disponível em: <http://www.idealirrigacao.com.br/3-projeto-irrigacao-por-microaspersao-unai> Acessado em: 21 de Junho de 2018.

KUMAR, M. K., & RAVI, K. S. 2016. Automation of irrigation system based on wi-fi technology and iot. KL University. Andhra Pradesh. India.

KUMAR, V. V., RAMASAMY, R., S., JANARTHANAN, & M., VASIMBABU. 2017. Implementation of iot in smart irrigation system using arduino processor. *Journal of civil engineering and technology*, **8**(10), 1304.

LACERDA, M. 2016. *Produtores fazem revezamento na irrigação por causa da seca no df*. Disponível em: <https://canalrural.uol.com.br/programas/>

produtores-fazem-revezamento-irrigacao-por-causa-seca-63761/  
Acessado em: 21 de Junho de 2018.

MACEDO, A. B. M., MIRANDA, F. R., FILHO, R. R. G., TEIXEIRA, A. S., JÚNIOR, J. A. H. C., & ARAÚJO, H. F. 2010. Desempenho de um sistema de irrigação automatizado através da tensão de água no solo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, **4**(2), 78–81.

MADALOSSO, E. 2014. Sistema Automatizado para Irrigação de Estufas. 76 f. Monografia de Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Computação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014.

MARQUELLI, W. A. 2012. *Irrigação*. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cenoura/arvore/CONT000gnhp6ryj02wx5ok0edacx1wt4ys1a.html> Acessado em: 21 de Junho de 2018.

MARQUELLI, W. A., SILVA, W. L. C., SILVA, H. R., & VILELA, N. J. 2000. Eficiência econômica do manejo racional da irrigação em tomateiro para processamento industrial. *Horticultura Brasileira*, **18**(3).

MARQUES, G., & PITARMA, R. 2017. Sistema de monitorização e controlo de consumos energéticos.

MENDES, P. C. S. 2006. Caracterização de um sensor para medição de umidade do solo com termo-resistor a temperatura constante. Universidade Federal da Bahia. Salvador. Bahia.

NETTIGO, E. 2015. *Esp8266-01s - simple, easy to setup wifi connectivity for arduino*. Disponível em: <https://nettigo.eu/system/images/2121/original.jpg?1490345692> Acessado em: 23 de Janeiro de 2018.

NISE, N.S. 2011. *Control Systems Engineering*. 6th edition edn. Wiley.

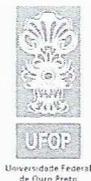
OLIVEIRA, R. R. 2017. Uso do Microcontrolador esp8266 para Automação Residencial. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

REIS, J. S. 2015. Sistema de Controle Aplicado à Automação Agrícola – Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Automação Industrial. **4**(2), 35. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Paraná. Cornélio Procópio.

- SINGH, P., & SAIKIA, S. 2016. Arduino-based smart irrigation using water flow sensor, soil moisture sensor, temperature sensor and esp8266 wifi module. *Ieee region 10 humanitarian technology conference (r10-htc)*, 1–4.
- SOUSA, R. S. 2016. *Tudo sobre irrigação localizada*. Disponível em: <https://www.irrigacao.net/irrigacao-localizada/tudo-sobre-irrigacao-localizada/> Acessado em: 21 de Junho de 2018.
- STONE, L. F. 2011a. *Irrigação por aspersão*. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_37\\_1311200215102.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_37_1311200215102.html) Acessado em: 21 de Junho de 2018.
- STONE, L. F. 2011b. *Irrigação por subirrigação*. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_34\\_1311200215102.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_34_1311200215102.html) Acessado em: 21 de Junho de 2018.
- STONE, L. F. 2011c. *Irrigação por sulcos*. Disponível em: [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01\\_34\\_1311200215102.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvore/CONTAG01_34_1311200215102.html) Acessado em: 21 de Junho de 2018.
- STROSKI, P. N. 2017. *Ntc e ptc*. Disponível em: <http://www.electricalibrary.com/2017/08/14/ntc-e-ptc/> Acessado em: 20 de Janeiro de 2018.
- SUDDUTH, K.A., KITCHEN, N.R., WIEBOLDB, W.J., BATCHELOR, W.D., BOLLEROD, G.A., BULLOCK, D.G., CLAYE, D.E., PALMB, H.L., PIERCE, F.J., SCHULER, R.T., & THELENH, K.D. 2005. Relating apparent electrical conductivity to soil properties across the north-central usa. *computers and electronics in agriculture*. *Elsevier*, **46**, 263–283.
- VAELLO, D. B. 1995. Domestic watering and agricultural irrigation control system. Patent. United States.
- YOHANNES, F., & TADESSE, T. 1998. Effect of drip and furrow irrigation and plant spacing on yield of tomato at Dire Dawa, Ethiopia. *Alemaya University of Agriculture*, **35**(3).
- ZAMBARDA, P. 2014. *‘internet das coisas’: entenda o conceito e o que muda com a tecnologia*. Disponível em: <http://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2014/08/>

internet-das-coisas-entenda-o-conceito-e-o-que-muda-com-tecnologia.  
html Acessado em: 15 de Junho de 2018.

ZAZUETA, F. S., SMAJSTRLA, A.G., & CLARK, G.A. 1994. Irrigation system controllers.  
University of Florida. Flórida.



**ANEXO III – Termo de Responsabilidade**

**TERMO DE RESPONSABILIDADE**

Eu, Pedro Henrique Silva Medeiros,  
declaro que o texto do trabalho de conclusão de curso intitulado  
“Sistema de triagem automatizado para  
Plantas caseiras” é de  
minha inteira responsabilidade e que não há utilização de texto, material fotográfico, código  
fonte de programa ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem as devidas  
referências ou consentimento dos respectivos autores.

João Monlevade, 26 de Julho de 2018

Pedro Henrique Silva Medeiros  
Assinatura do aluno

Certifico que o aluno PEDRO HENRIQUE SILVA MEDEIROS, autor do trabalho de conclusão de curso intitulado “SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO PARA PLANTAS CASEIRAS”, efetuou as correções sugeridas pela banca examinadora e que estou de acordo com a versão final do trabalho.

A handwritten signature in black ink, consisting of a series of loops and strokes, positioned above a horizontal line.

Prof. Dr. Harlei Miguel de Arruda Leite

Orientador

João Monlevade, 27 de Julho de 2018.