



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CÂMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS  
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

**DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE  
TRANSDUTORES PARA IRRIGAÇÃO EM AGRICULTURA DE  
PRECISÃO BASEADO EM INTERNET DAS COISAS**

**MURILLO VINÍCIUS DOURADO BASTOS**

**PALMAS (TO)**

**2018**

MURILLO VINÍCIUS DOURADO BASTOS

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE  
TRANSDUTORES PARA IRRIGAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO  
BASEADO EM INTERNET DAS COISAS

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado  
à Universidade Federal do Tocantins para  
obtenção do título de Bacharel em Ciência da  
Computação, sob a orientação do(a) Prof.(a)  
Me. Tiago da Silva Almeida.

Orientador: Me. Tiago da Silva Almeida

PALMAS (TO)

2018

MURILLO VINÍCIUS DOURADO BASTOS

DESENVOLVIMENTO DE MÓDULO DE GERENCIAMENTO DE  
TRANSDUTORES PARA IRRIGAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO  
BASEADO EM INTERNET DAS COISAS

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado à UFT – Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas, Curso de Ciência da Computação foi avaliado para a obtenção do título de Bacharel e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 7 / 6 / 2018

Banca Examinadora:

---

Prof. Me. Tiago da Silva Almeida

---

Profa. Dr. Warley Gramacho da Silva

---

Profa. Ma. Juliana Leitão Dutra

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- B327d Bastos, Murillo Vinícius Dourado.  
Desenvolvimento de módulo de gerenciamento de transdutores para irrigação em agricultura de precisão baseado em internet das coisas. / Murillo Vinícius Dourado Bastos. – Palmas, TO, 2018.  
43 f.
- Monografia Graduação - Universidade Federal do Tocantins –  
Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Ciências da Computação,  
2018.
- Orientador: Tiago da Silva Almeida
1. Internet das Coisas. 2. Agricultura de precisão. 3. Redes sem fio. 4. Monitoramento e controle. I. Título

**CDD 004**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

*Dedico este projeto aos meus  
pais pelo apoio, ao meu professor  
orientador pela motivação e a  
todos que me ajudaram a  
concluí-lo*

## RESUMO

O objetivo deste projeto é a criação de um sistema microcontrolado para gerenciamento de transdutores em irrigação para agricultura de precisão. O sistema deverá enviar os dados de irrigação para processamento em um servidor web embarcado, caracterizando o projeto como de internet das coisas. Portanto, haverá a junção de duas áreas em grande expansão, internet das coisas e agricultura de precisão. O desenvolvimento de aplicações em internet das coisa se dá pela crescente integração de vários objetos, televisores, geladeiras, iluminação, portas e outros com serviços web. A agricultura é de grande interesse tendo em vista a característica agrícola do estado do Tocantins. Por se tratar de um projeto extenso, este se limitará ao desenvolvimento do sistema de controle de transdutores em campo, assim como um estudo sobre as tecnologias para comunicação e troca de dados com o servidor de aplicação não abordado neste projeto que se encarregará da interação com o usuário afim de permitir o uso controlado de recursos hídricos.

**Palavra-chave:** Internet das Coisas. Agricultura de precisão. Redes sem fio. Monitoramento e controle.

## ABSTRACT

The objective of this project is the creation of a micro controlled system for management of transducers on watering for precision agriculture. The system shall send the watering data to a web-based server for processing, making it an internet of things project. Therefore, there will be the junction of two expanding areas, the internet of things and precision agriculture. The development of internet of things based applications is growing because of the integration of television systems, refrigerators, lights, and others with web services. The agriculture is a huge interesting area considering the agriculture of the state of Tocantins characteristics. Because it is an extensive project, this one will bound on the development of a field transducers control system, as well as a review about the technologies for communication and exchange of data with the application server not approached in this project which will handle the user interaction to allow the control of water resources.

**Keywords:** Internet of Things. Precision Agriculture. Wireless Networks. Monitoring and Control.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Internet of Things . . . . .	14
Figura 2 – Cultura sem o emprego de Agricultura de Precisão . . . . .	16
Figura 3 – Cultura com o emprego de Agricultura de Precisão . . . . .	16
Figura 4 – Exemplo de plantação com o uso do IAM . . . . .	20
Figura 5 – Diagrama de blocos ilustrando os componentes internos do ESP8266.	21
Figura 6 – Diagrama de gerenciamento de energia do ESP8266 . . . . .	22
Figura 7 – O modelo de publicação e assinatura do MQTT para redes de sensores de IoT (YUAN, 2018). . . . .	23
Figura 8 – Nós da rede de Sensores e seus Módulos . . . . .	24
Figura 9 – Diagrama de conexões entre os componentes do módulo $\mu$ Clima. . .	28
Figura 10 – Diagrama simplificado de conexões do módulo $\mu$ Clima que evidencia o circuito multiplexador criado a partir de diodos. . . . .	29
Figura 11 – Diagrama de conexões do módulo $\mu$ Irrigação . . . . .	33
Figura 12 – Diagrama de conexões do nó com módulo $\mu$ Clima e $\mu$ Irrigação . . . .	35
Figura 13 – Módulos instalados e prontos para um ciclo de testes . . . . .	36
Figura 14 – Dados coletados pelo sensor analógico de luz LDR ao longo de um dia	37
Figura 15 – Leituras de umidade do solo coletadas pelo sensor analógico FC-28 ao longo de um dia . . . . .	37
Figura 16 – Leituras de temperatura coletadas pelo sensor digital DS18B20 ao longo de um dia . . . . .	38
Figura 17 – Leituras de chuva ou umidade da folha coletadas pelo sensor analógico YL-83 ao longo de um dia . . . . .	38
Figura 18 – Leituras de temperatura coletadas pelo sensor digital DHT11 ao longo de um dia . . . . .	39
Figura 19 – Leituras de umidade do ar coletadas pelo sensor digital DHT11 ao longo de um dia . . . . .	39

Figura 20 – Corpo de prova oxidado devido ao processo de eletrólise . . . . . 40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tipos de sensores e parâmetros de trabalho . . . . .	25
Tabela 2 – Lista de dados dos sensores publicados pelo módulo $\mu$ Clima ao servidor de aplicação. . . . .	27
Tabela 3 – Lista de comandos enviados pelo módulo $\mu$ Clima ao módulo $\mu$ Irrigação associado. . . . .	28
Tabela 4 – Lista de comandos aceitos pelo módulo $\mu$ Irrigação . . . . .	32

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	IoT: A Internet das Coisas	14
1.2	Agricultura de Precisão	15
1.3	IoT na Agricultura de Precisão	16
1.4	Trabalhos Relacionados	17
<b>2</b>	<b>IAM: IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA MICROCONTROLADA</b>	<b>19</b>
2.1	Visão Geral do Sistema	19
2.2	Microcontrolador	20
2.2.1	O ESP8266	20
2.2.2	Protocolo MQTT	23
2.3	Módulos e Nós da Rede	24
2.3.1	Sensores	24
2.3.2	Atuadores	25
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>26</b>
3.1	Hardware	26
3.1.1	Nó com módulo $\mu$ Clima	27
3.1.2	Nó com módulo $\mu$ Irrigação	32
3.1.3	Nó com módulos $\mu$ Clima e $\mu$ Irrigação	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b>	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, com o crescimento populacional o consumo de água teve um aumento principalmente devido ao seu uso na agricultura, que de forma mal planejada pode levar ao gasto excessivo, desperdiçando-se grande parte desse recurso devido a evaporação e até prejudicando o solo quando ocorre a lixiviação<sup>1</sup>.

A agricultura moderna enfrenta atualmente uma nova era com necessidades de produção crescentes e recursos cada vez mais escassos. O aumento populacional traz consigo a necessidade de uma maior quantidade de produção, a habilidade de controlar os recursos com precisão permite um maior controle de gastos/lucros e ajuda a frear o esgotamento de recursos naturais como rios e nutrientes do solo. A agricultura de precisão permite monitorar variáveis do ambiente e ter uma resposta precisa e visualização detalhada do comportamento da plantação para resolução de problemas específicos em cada caso.

Desde a invenção do circuito integrado, uma série de evoluções nos permitiu aprimorar processos com o uso de tecnologias na área de eletrônica e informática. Atualmente, a tecnologia nos permite contar com sistemas informatizados e microcontrolados para gerenciamento, automação, controle, gestão e tudo isso não só em apenas uma setor, engenharia, medicina, setor automobilístico, industrial e muitos outros já se beneficiam das vantagens que um sistema microcontrolado pode trazer.

Assim como em outras áreas, a agricultura já vem implementando novas tecnologias, porém ainda há uma ampla gama de possibilidades a serem exploradas para desenvolvimento de novos métodos de cultura da terra que permitam um melhor aproveitamento dos recursos maximizando os resultados na hora da colheita.

O desenvolvimento de aplicações em internet das coisas se dá pela crescente integração de vários objetos, televisores, geladeiras, iluminação, portas etc., com serviços web. A agricultura é de grande interesse tendo em vista a característica agrícola do estado do Tocantins.

O cenário econômico brasileiro evidencia a importância do agronegócio onde os setores de agricultura e pecuária juntos contribuíram com aproximadamente 23,7% do Produto Interno Bruto (PIB) do país em 2017 (IBRAHIM, 2018). O crescimento destes setores é impulsionado tanto pelos pequenos quanto os grandes agricultores, porém, nem todos tem acesso a tecnologias que permitem otimizar o gerenciamento do solo, surge então a necessidade de uma ferramenta com preço acessível para auxiliá-los nessa tarefa.

Neste trabalho será abordada a criação de um sistema de irrigação automatizado microcontrolado que captura dados do ambiente em que se encontra a plantação, processa

---

<sup>1</sup>A “lixiviação” é a extração ou solubilização dos constituintes químicos de uma rocha, mineral, solo, depósito sedimentar e etc. pela ação de um fluido percolante.



Outro problema crescente devido a popularização é a falta de padronização de sistemas baseados em IoT. Fato evidenciado nos trabalhos de (KANSAKAR; MUNIR, 2018) and (AL-QASEEMI et al., 2016). A falta de padronização é tão importante que se estende desde arquitetura lógica dos sistemas até a arquitetura física. Portanto soluções oferecidas por diferentes marcas não serão capazes de interagir entre si.

No caso de automação residencial, um termo que cada vez mais vem sendo associado pela mídia como sinônimo de modernidade, temos sistemas de ar condicionado que gastam muita energia e poderiam ter horários estabelecidos para serem ligados ou desligados, sua potência poderia ser ajustada de acordo com a temperatura atual para aumentar a eficiência energética dos sistemas (AL-ALI et al., 2017).

IoT é muito mais que casas inteligentes ou aplicações conectadas, o foco está em sua escalabilidade que permite sua implementação em cenários muito maiores, tal como uma cidade inteligente (GUANG; LOGENTHIRAN; ABIDI, 2017). Podemos contar com semáforos conectados, gerenciamento e redirecionamento de trânsito através de semáforos conectados, sistema de câmeras unificado, processamento de dados para monitorar o tráfego de pedestres, etc. (SHARIF; LI; SHARIF, 2018; ZHOU; CHAO, 2011).

## 1.2 Agricultura de Precisão

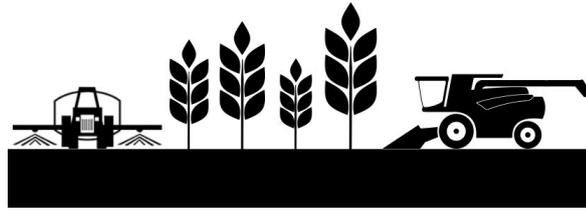
Agricultura de precisão automatiza equipamentos mecânicos já em uso nos campos, trazendo tecnologias e novos conhecimentos de ciência da computação, eletrônica, geoprocessamento entre outros para o campo (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

A agricultura de precisão tenta reverter o quadro, facilitando a identificação de deficiências específicas em certas regiões do solo, isso permite o cálculo correto de quantidades e locais precisos para a aplicação de insumos em regiões específicas da plantação que requerem uma atenção extra (FRAISSE; FAORO, 1998).

Desta maneira, (FERRÁNDEZ-PASTOR et al., 2016) desenvolve e testa um sistema de estufa de baixo custo com produção hidropônica que foi desenvolvida e testada utilizando uma rede de sensores onipresente e controle de ponta dentro do paradigma da Internet das Coisas. A solução é usada para testar as amostras de água e os dados são enviados através da internet para serem analisados. O sistema também provê um sistema de alerta para o usuário remoto, quando a da qualidade da água se desvia dos parâmetros pré-definidos em uma lista de valores padrões.

O modo de produção mais comumente empregado hoje em dia no Brasil baseia-se em trabalhar na área como um todo (Figura 2), levando ao conceito da média das necessidades para a aplicação de insumos (fertilizantes, defensivos, água etc.) o que resulta em um tratamento impreciso da área atendendo às necessidades médias da região não considerando as necessidades específicas de cada pedaço do campo, causando como resultado, uma produção não uniforme da lavoura.

**Figura 2 – Cultura sem o emprego de Agricultura de Precisão**



A agricultura de precisão tenta reverter a situação atual, de modo que, facilitando a identificação de deficiências específicas em determinadas regiões do solo, permita o correto cálculo de quantidades e locais para a aplicação de insumos agrícolas em regiões específicas da plantação que necessitam de atenção extra (FRAISSE; FAORO, 1998).

O emprego de Sistemas computadorizados (Figura 3) facilita o planejamento, pois os gastos podem ser calculados com mais precisão, o que torna possível acompanhar detalhadamente a cultura maximizando os resultados, usando por completo o potencial que cada porção de solo pode oferecer.

**Figura 3 – Cultura com o emprego de Agricultura de Precisão**



A agricultura de precisão trata-se de uma filosofia de gerenciamento agrícola baseada em informações exatas, precisas para a tomada de decisões do mesmo tipo. Ela representa uma maneira de gerir um campo produtivo metro a metro considerando o fato de que cada pedaço da fazenda tem propriedades diferentes (ROZA, 2000; BATCHELOR, 1997).

Dessa forma, a agricultura de precisão permite um manejo da fazenda de forma que os produtores possam notar a variabilidade dentro de um campo e trabalhá-la em função de aumentar a produtividade e os lucros (BATCHELOR, 1997).

### 1.3 IoT na Agricultura de Precisão

Já sabemos que a agricultura de precisão é muito útil para o homem do campo e pode trazer benefícios não só para a lavoura mas também para o bolso do fazendeiro, sabemos também que o mundo anda cada vez mais conectado, com tudo sendo acessível de forma simples através da internet.

Com o aproveitamento dos dois conceitos podemos agregar funções ao sistema de plantio e gerenciamento já existentes criando uma nova forma de interagir com a plantação. Poderá ser criada uma aplicação acessível pela internet que possibilite a observação dos dados e o envio de comandos onde o agricultor estiver, apenas utilizando seu smartphone, por exemplo.

Na plantação, cada decisão, por menor que seja, afeta os resultados e isso poderá ser observado facilmente com a visualização de gráficos e números obtidos através desse sistema.

O cenário atual da agricultura no Brasil caminha em direção à produção eficiente com proteção ambiental, com isso, a Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) implantou a rede brasileira de pesquisa em agricultura de precisão, com o objetivo de gerar conhecimento e desenvolvimento de ferramentas para agricultura de precisão. Isso evidencia muito desenvolvimento e em um futuro próximo o Brasil conseguirá ter preços cada vez mais competitivos no mercado exterior (TSCHIEDEL; FERREIRA, 2002).

Assim, o desenvolvimento contínuo de distintas ferramentas baseadas nas tecnologias supracitadas representa uma abertura para a melhoria dos procedimentos normalmente adotados no campo visando a minimização de gastos e a maximização de lucros.

#### 1.4 Trabalhos Relacionados

Com o aprimoramento de tecnologias de conectividade acompanhadas do surgimento do IoT, diversas tecnologias baseadas na internet vem sendo exploradas para o desenvolvimento de sistemas conectados e isso pode ser evidenciado em diversos trabalhos científicos publicados ao longo dos últimos anos.

No trabalho “*Sistema Automático de Irrigação*” de Silva (2010) foi criado um sistema capaz de efetuar o acionamento da irrigação automaticamente, para tal, é utilizado o circuito microcontrolador PIC18F4550 que de acordo com as leituras de umidade do solo irá ativar a irrigação conforme seja necessário de acordo com a cultura de plantação em questão. Para as leituras de umidade do solo, foi utilizado um tensiômetro, ele mede a tensão (força) que as raízes das plantas exercem para extrair a água do solo, a força que a água contida no solo exerce para adentrar o corpo de prova é medida por um sensor de pressão dentro do tubo que compõe o corpo de prova, assim temos leituras altas para o solo seco e leituras baixas para o solo úmido. Com base nessas leituras o sistema toma as decisões de quando deverá irrigar a plantação.

A proposta do “*Sistema de Automação e Controle de um Sistema de Irrigação*” de Pouso (2012) foi a criação de um sistema de irrigação para otimizar o consumo de água em jardins mantendo o nível de umidade do solo dentro de uma faixa predefinida usando o microcontrolador PIC16F877A para gerenciar sensores de umidade do solo, temperatura e fluxo de água, o objetivo é controlar a temperatura do solo por meio da irrigação ao

passo que se mantém a umidade do solo dentro dos limites predefinidos no código e ao mesmo tempo mantendo o registro da quantidade de água utilizada durante o processo.

No artigo “*Irrigação Automatizada com Plataforma de Desenvolvimento Arduino na Horta Didática da Universidade Federal do Ceará*” de Lino et al. (2017) foi montado um sistema para irrigação automática de hortas com autossuficiência energética devido à captação da energia solar para armazenamento em baterias e capacidade de conexão sem fio através de conexão serial via *Bluetooth*. Neste projeto há um sensor de umidade do solo por resistência elétrica, uma válvula solenoide para ativar a irrigação, um módulo RTC (*Real Time Clock*) que provê as horas ao sistema com exatidão, um módulo de cartão de memória para armazenamento das leituras efetuadas e um Arduino nano para o controle do sistema. Esse sistema também é um *datalogger*, isso significa que ele é capaz de armazenar os dados de leituras do sensor e horário das leituras em um cartão de memória para análise posterior dos dados.

O artigo “*Introdução à Agricultura de Precisão: Conceitos e Vantagens*” de Tschiedel e Ferreira (2002) fez uma análise de diversos artigos da área de agricultura de precisão demonstrando as vantagens de se aplicar tecnologias eletrônicas no plantio, irrigação e colheita afim de se obter um maior aproveitamento da safra, manutenção da saúde do solo e economia de água e insumos. O autor também ressalta a possibilidade de um gerenciamento de regiões específicas podendo ser verificada a necessidade da microrregião possibilitando a homogeneização das áreas produtivas a partir do manejo de áreas específicas do solo.

Em “*Design of Wireless Multi-media Sensor Network for Precision Agriculture*” de Shouyi et al. (2013) foi abordada a criação de uma rede de sensores<sup>2</sup> para o gerenciamento preciso dos dados do solo com leituras específicas para cada porção do solo onde há um nó de sensores instalado. Cada nó de sensores coleta dados de temperatura do ar e do solo, umidade do ar e do solo, velocidade do vento, incidência de chuva, etc. e envia para o nó *gateway* que é equipado com conexão 3G para enviar os dados ao servidor. Além disso, cada nó é equipado com placas solares e arrays de baterias para autossuficiência energética.

---

<sup>2</sup>Uma rede “WSN(Wireless Sensor Network)” termo que é muito utilizado atualmente na agricultura de precisão, consiste em uma rede de sensores com capacidade wireless que enviam dados da área de plantio a um servidor ou entre si para processamento e análise dos dados.

## 2 IAM: IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA MICROCONTROLADA

Irrigação automática traz consigo a ideia de um sistema que ajuda o usuário, fazendo desnecessária a interação para tomada de decisões triviais em relação à plantação, minimização de desperdícios é uma consequência do uso desta ferramenta devido à gestão precisa do solo, insumos, irrigação e outros processos.

O monitoramento da saúde do solo gasta muito tempo se for feito de forma manual, a implementação desse sistema permite o monitoramento automatizado e com um maior nível de detalhamento em relação ao tamanho da área abrangida nas leituras realizadas, isso faz com que a manutenção do solo seja menos custosa para o produtor.

O sistema idealizado até então, consiste em módulos sensores/atuadores que são constituídos por placas de prototipagem micro controlada com sensores para a leitura de dados sobre o estado da plantação, com arquitetura WSN (SHOUYI et al., 2013), conectadas via rede sem fio entre si e com o servidor para a propagação das mensagens e comandos ao longo da rede, o sistema toma decisões automáticas no gerenciamento da plantação permitindo também a intervenção direta do usuário.

### 2.1 Visão Geral do Sistema

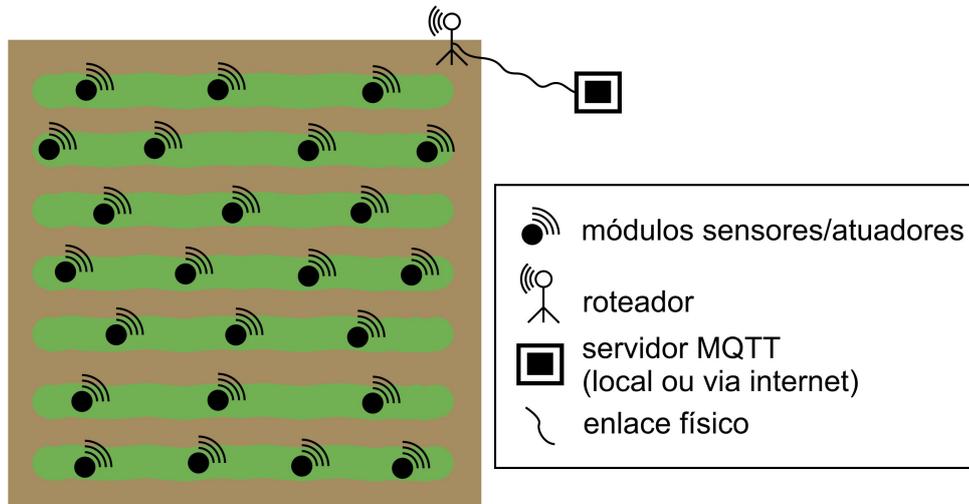
O módulo sensor (Figura 4) é o responsável por coletar os dados da plantação e tomar decisões relativas ao acionamento de módulo atuador conforme perfis estabelecidos pelo usuário. Ele inclui sensores de temperatura do ar, temperatura do solo, umidade do ar, umidade do solo, temperatura do solo e luminosidade. Desta forma, é realizada a leitura de todos os sensores em um intervalo programado pelo usuário e as informações obtidas são enviadas via wireless para serem acessados pelo usuário através de um broker MQTT<sup>1</sup>. Ao coletar as informações dos sensores, irá processar os dados conforme padrões programados pelo usuário para decidir a necessidade de água e será responsável por enviar o comando MQTT ao módulo atuador para ligar/desligar os irrigadores baseado nisso, possibilitando o gerenciamento e racionalização dos recursos hídricos. Destaca-se que o usuário também poderá interagir com um módulo atuador e ativar/desativar a irrigação independentemente da rotina, medida necessária nos casos em que o mal funcionamento de sensores possam implicar em decisões equivocadas.

O módulo atuador tem como encargo aguardar por comandos de irrigação, ativando ou desativando os irrigadores conforme solicitado pelo módulo sensor ou pelo usuário.

---

<sup>1</sup>Broker MQTT é um servidor que fica a cargo de receber, armazenar e reencaminhar, sob o protocolo MQTT2.2.2 (*Message Queue Telemetry Transport*), mensagens de dispositivos em uma rede de IoT.

Figura 4 – Exemplo de plantação com o uso do IAM



## 2.2 Microcontrolador

Dentre os circuitos possíveis, o ESP8266 se destaca por ser um SoC (*System on Chip*) que ocupa um espaço mínimo, tem funcionalidades Wireless 802.11 embutidas, possui uma antena padrão e possui baixo consumo de energia que pode ser reduzido ainda mais utilizando-se de rotinas e funções pré-programadas no próprio circuito.

*System on Chip* trata-se de todos os componentes que constroem um computador ou outro sistema digital embutidos em um só sistema integrado. Pode conter funções digitais, analógicas e Radiofrequência<sup>2</sup>. Muito utilizado em sistemas embarcados.

### 2.2.1 O ESP8266

O ESP8266 é um SoC com capacidade de enlace Wi-Fi e todas as camadas do TCP/IP implementadas que pode carregar aplicações (ESPRESSIF SYSTEMS, 2017). Produzido pela chinesa Espressif Systems (ESPRESSIF SYSTEMS, 2016), ele primeiramente foi pensado e desenvolvido para ser embarcado em dispositivos móveis, seu tamanho reduzido se deve a isso.

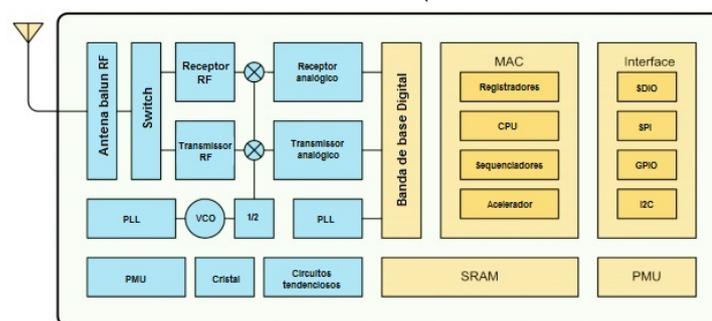
Designado para aplicações de rede, dispositivos *wearables* e *mobile* (NEVER UNDERESTIMATE REAL DEVELOPMENT SPACES (NURDS), 2016). Dentre suas características (ESPRESSIF SYSTEMS, 2017), as que mais se destacam são:

- Suporte ao padrão 802.11 b/g/n
- MCU de 32-bits de Baixo consumo
- CPU RISC de 32-bis: Tensilica Xtensa L106 rodando a 80 MHz (ou 160 MHz)

<sup>2</sup>Radiofrequência geralmente se refere a oscilações eletromagnéticas que abrangem aproximadamente de 3 kHz a 300 GHz

- 64 KiB de RAM de instrução, 96 KiB de RAM de dados
- Camadas do protocolo TCP/IP integradas
- Suporta uma ampla variedade de antenas
- WiFi 2.4 GHz, com suporte a WPA/WPA2
- Suporte aos modos STA(station)/AP(cess point)/STA+AP
- Suporta função Smart Link para ambos Android e iOS
- SDIO 2.0, (H) SPI, UART, I2C, I2S, Controle remoto IR, PWM, GPIO
- Gasto em modo deep sleep de  $< 10 \mu\text{A}$ , com perda de energia de  $< 5 \mu\text{A}$
- Volta do deep sleep e começa a transmitir em  $< 2\text{ms}$
- Consumo de energia em standby  $< 1.0\text{mW}$  (DTIM3)
- Potência de saída de +20 dBm em modo 802.11b
- Temperatura de operação  $-40\text{C} \quad 125\text{C}$
- Certificação FCC, CE, TELEC, WiFi Alliance, e SRRC

**Figura 5 – Diagrama de blocos ilustrando os componentes internos do ESP8266 (Fonte: ESP8266 Datasheet (ESPRESSIF SYSTEMS, 2017)).**

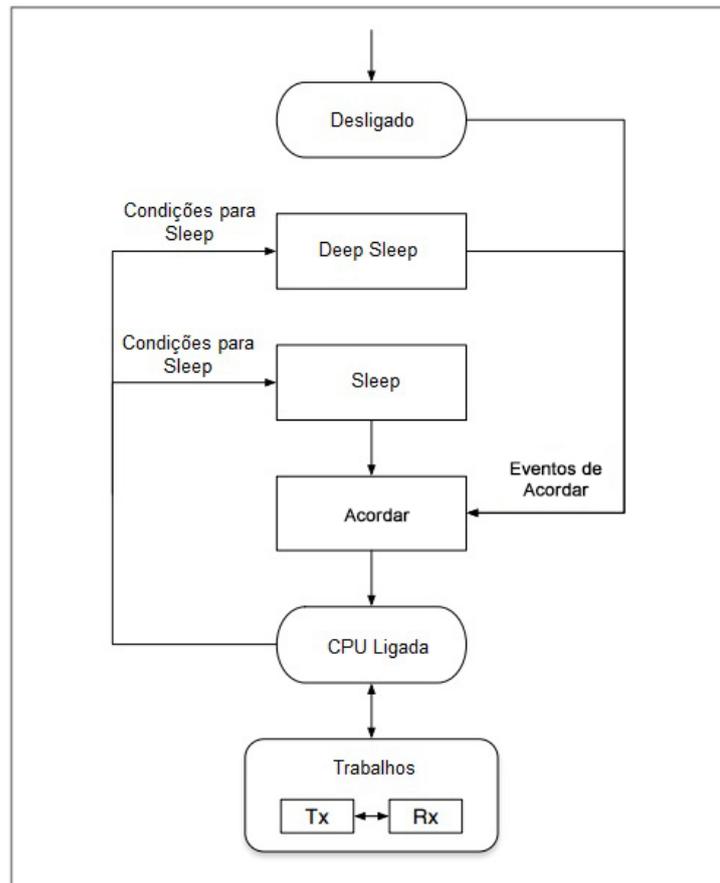


O diagrama funcional do ESP8266 é ilustrado na Figura 5, ele integra uma Unidade Microcontroladora Tensilica Xtensa L106 de 32 bits que por padrão funciona a 80MHz, com seu clock podendo ser aumentado para até 160 MHz. Dos seus estágios de processamento MIPS (*Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages*), 20% já são utilizados na implementação do conjunto de camadas Wi-Fi e suas sub-rotinas, todo o resto pode ser utilizado para o desenvolvimento de aplicações.

Este SoC integra controlador de memória, assim como unidades de memória SRAM e ROM. Todas as unidades de memória podem ser acessadas por meio de requisições, um árbitro de memória decide a ordem de acesso conforme a fila de requisições gerada.

Entende-se que este SoC classifica-se para uso em dispositivos móveis, *wearables* e de internet das coisas, portanto, ele foi projetado levando em consideração aplicações com restrições de consumo de energia.

**Figura 6 – Diagrama de gerenciamento de energia do ESP8266 (Fonte: ESP8266 Datasheet (ESPRESSIF SYSTEMS, 2017)).**



Como pode ser visto na Figura 6, a arquitetura de baixo consumo de energia opera em 3 modos: Ativo, Sleep e Deep Sleep que podem ser alternados durante seu uso por meio de comandos específicos e eventos do sistema, eles são descritos a seguir:

- CPU Desligada - Clock desativado, registradores limpos;
- CPU Ligada - Todo o circuito está em seu pleno funcionamento;
- Sleep - Apenas com RTC (*Real Time Clock*) executando, o circuito é desligado, conexão Wi-Fi mantida no mínimo de interações possíveis, qualquer evento Wake pode trazer o circuito para o estado Ativo;
- Deep Sleep - Consome cerca de 20  $\mu\text{A}$  apenas com o RTC executando, o circuito é desligado e a troca de pacotes Wi-Fi é interrompida.

Seu consumo energético no uso cotidiano pode variar entre 62mA e 215 mA, sendo que o circuito possui modos de baixíssimo consumo que aumentam drasticamente a economia de energia desativando partes do circuito e mudando sub-rotinas do sistema fazendo com que os gastos caiam para até 10  $\mu$ A.

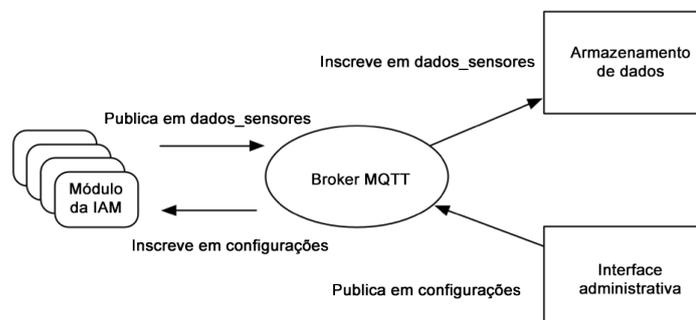
### 2.2.2 Protocolo MQTT

O protocolo MQTT foi projetado para um baixo consumo de banda de rede e requisitos de hardware extremamente baixos, assim, ele é uma solução muito utilizada em projetos IoT. Sua flexibilidade possibilita o suporte a diversos cenários e por isso ele foi escolhido para ser utilizado na troca de mensagens dos módulos ESP8266 entre si e com o cliente (YUAN, 2018).

O protocolo MQTT é definido com dois tipos de entidade na rede: um message broker e clientes. O broker é um servidor que recebe todas as mensagens dos clientes publicadores e as encaminha para os clientes que fizeram assinatura. O funcionamento é descrito a seguir:

- O cliente pode se conectar ao broker e fazer assinatura em qualquer tópico de mensagens no broker sinalizando que tem interesse em receber as mensagens desse tópico;
- O cliente pode publicar mensagens em qualquer tópico, enviando a mensagem e indicando a qual tópico no broker ela pertence;
- Em seguida, o broker encaminha a mensagem a todos os clientes que assinaram a esse tópico.

**Figura 7 – O modelo de publicação e assinatura do MQTT para redes de sensores de IoT (YUAN, 2018).**

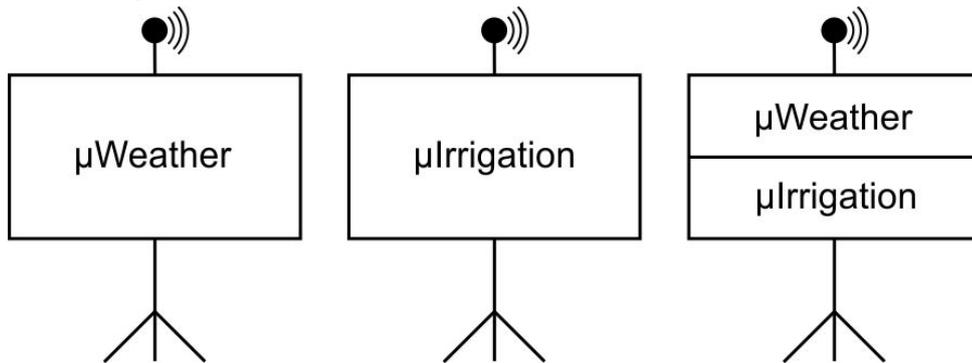


Como as mensagens do MQTT são organizadas por tópicos, tem-se uma grande flexibilidade ao poder especificar quais clientes podem interagir com determinadas mensagens (Figura 7).

### 2.3 Módulos e Nós da Rede

Para este projeto, devido às necessidades, foram pensadas algumas alternativas para a distribuição dos módulos, como podem ser vistas na Figura 8. Foi adotada a seguinte separação e nomenclatura a fim de facilitar a organização e identificação dos módulos: o  $\mu$ Clima, responsável pela leitura dos dados do ambiente e tomada de decisão em relação à irrigação e o  $\mu$ Irrigação que, como o próprio nome sugere, realizará a ativação/desativação do sistema hidráulico permitindo a precisa irrigação da área.

Figura 8 – Nós da rede de Sensores e seus Módulos



O sistema adotado permite a modularidade dos nós, de forma que em um trecho da plantação (definido pelo alcance dos sensores), conforme a necessidade específica da área, podemos associar aos nós os módulos pertinentes a necessidade de controle daquela região.

Ao se aprofundar nas trocas de mensagens na rede, temos o seguinte cenário: cada nó sensor é responsável por detectar se uma região necessita de irrigação e este é responsável por enviar comandos diretamente ao atuador a ele atribuído, fazendo a publicação dos dados dos sensores via MQTT para que o usuário tenha acesso, temos então uma relação direta de hierarquia em que o servidor está no topo da cadeia de comandos que são propagados para os módulos sensores e subseqüentemente aos módulos atuadores a eles associados.

#### 2.3.1 Sensores

A relação de sensores e seus parâmetros a serem trabalhados estão descritos na Tabela 1.

O sensor de chuva ou umidade da folha é um sensor cujo seu corpo de prova tem formato de folha e mede a quantidade de água que fica retida em uma folha após uma chuva.

**Tabela 1 – Tipos de sensores e parâmetros de trabalho**

Tipo do Sensor	Tempo de detecção	Corrente	Tensão	Precisão	Faixa de leitura
Temperatura do ar	< 5 s	200 $\mu$ A a 500 mA	3 a 5 V	$\pm 2^\circ$ C	0° a 50°C
Umidade do ar	< 5 s	200 $\mu$ A a 500 mA	3 a 5 V	$\pm 5,0\%$ UR	20% a 90% UR
Temperatura do solo	750 ms	<1.5 mA	3 a 5,5 V	$\pm 0.5^\circ$ C	-55°C a +125°C
Umidade do solo	-	<0,4 mA	3,3 a 5,5 V	-	-
Luminosidade LDR	120 ms	<75 mA	3 a 5 V	-	10 a 1000 LUX
Umidade da Folha	-	<100 mA	3,3 a 5 V	-	-
Fluxo de água	-	<15 mA	3,5 a 24V	$\pm 10\%$	1 a 30L/Min

### 2.3.2 Atuadores

Eles se fazem necessário no momento em que alguma intervenção deve ser feita no solo para controle da umidade do solo.

Os atuadores utilizados para a execução do projeto são:

- Válvula Solenoide;
- Relês.

### 3 METODOLOGIA

Esse projeto foi desenvolvido em parceria com o laboratório de hardware do curso de Ciência da Computação da Universidade Federal do Tocantins Campus Palmas. Alguns componentes foram adquiridos e outros foram emprestados pela instituição para a execução do projeto.

Afim de construir o sistema e implementá-lo em funcionamento pleno, faz-se necessário:

- Água encanada;
- Internet wireless padrão 802.11;
- Cadastro no CloudMQTT;
- Arduíno SDK instalado e devidamente configurado com as bibliotecas do ESP8266;
- Módulos ESP8266 NodeMCU;
- Sensores;
- Atuadores.

Para a execução, é preciso seguir passo a passo com a instalação da IDE<sup>1</sup> do arduino e configurá-la para possibilitar a interface com o ESP8266, podendo assim, fazer o upload de programas. Na sequência, deve-se criar a conta no CloudMQTT. Após tudo estar funcionando, o usuário poderá logar na conta do CloudMQTT e enviar os comandos.

#### 3.1 Hardware

Cada nó de rede é composto por um ou mais módulos para flexibilizar a implementação do sistema. Pois, diferentes culturas possuem tamanhos e necessidades distintas de irrigação e manejo. Logo, um nó pode conter mais de um módulo montados compartilhando o mesmo espaço físico, conforme descrito na Seção 3.1.3.

Nas subseções posteriores são descritas a organização, montagem e funcionamento de nós de rede e os módulos contidos neles nas três configurações descritas.

---

<sup>1</sup>IDE (*Integrated Development Environment*) significa Ambiente de Desenvolvimento Integrado

### 3.1.1 Nó com módulo $\mu$ Clima

Ele é composto por um SoC ESP8266 conectado a vários sensores, analógicos e digitais, estes são:

- Sensor de temperatura e umidade do ar DHT11 (Digital);
- Sensor de temperatura à prova d'água DS18B20 (Digital);
- Sensor de umidade do solo FC-28 (Analógico);
- Sensor de Chuva ou umidade da folha YL-83 (Analógico);
- Sensor de Luminosidade LDR (Analógico).

O intervalo de leitura é especificado pelo próprio usuário, o módulo  $\mu$ Clima publica regularmente nos tópicos descritos na Tabela 2. Além disso, este módulo pode ser configurado a partir da lista de comandos contida na Tabela 3. Esses dados são trocados entre os dois módulos ( $\mu$ Clima e  $\mu$ Irrigação) para permitir que o controle automático do sistema. Ou seja, de acordo com os valores dos sensores, é possível fazer o acionamento da irrigação. Isso permite a autonomia do sistema eliminando a necessidade de intervenção humana.

**Tabela 2 – Lista de dados dos sensores publicados pelo módulo  $\mu$ Clima ao servidor de aplicação.**

Tópico	Mensagem
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/data	data e hora instantânea
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/luz	valor[0-1023]
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/umidadear	valor[%]
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/temperaturaarc	valor[0 a 50]
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/temperaturaterrac	valor[-55 a +125]
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/umidadesolo	valor[0-1023]
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/umidadefolha	valor[0-1023]

Os valores de leitura dos sensores de luz, umidade do solo e umidade da folha expressos na Tabela 2 que variam entre 0 e 1023 representam a leitura dos sensores analógicos. O conversor A/D do ESP8266 possui uma resolução de 10 bits, logo,  $2^{10} = 1024$  valores possíveis de leitura. Como a leitura destes sensores é baseada em resistência, os valores originais lidos pelos sensores representam o valor de forma inversa, por exemplo, no sensor de luz quando há uma grande incidência de luz sobre o sensor os valores de leitura são pequenos e quando há pouca incidência de luz os valores são grandes, por isso foi implementado um mapeamento dos valores que pegam os dados variando de 0 a 1023 e convertem para uma variação de 1023 a 0.

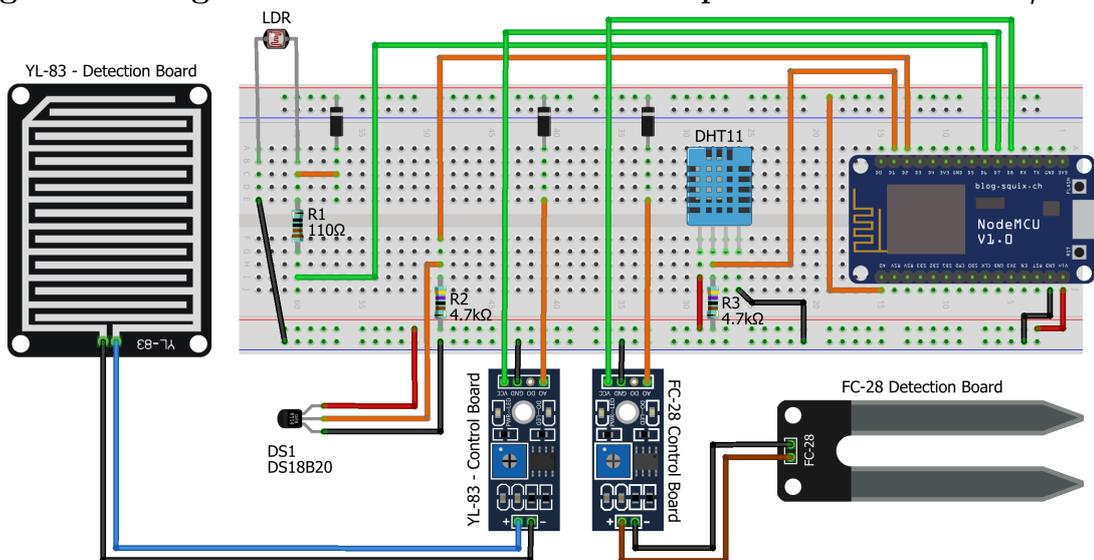
Os sensores de temperatura da terra, temperatura do ar e umidade do ar são digitais e portanto, seus valores vão variar de acordo com as limitações de cada sensor.

**Tabela 3 – Lista de comandos enviados pelo módulo  $\mu$ Clima ao módulo  $\mu$ Irrigação associado.**

Tópico	Mensagem
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/intervaloleituras	duração da irrigação em segundos (padrão: 10)
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/intervaloirrigacao	duração da irrigação em segundos (padrão: 10)
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/gatilhoicinal	valor[0-1023] (padrão: 800)
iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/gatilhofinal	valor[0-1023] (padrão: 1000)

A implementação física (Figura 9) foi feita de modo a utilizar da melhor forma possível os pinos disponíveis no ESP8266 deixando livre o pino D0, que é utilizado para o acionamento do relê no módulo  $\mu$ Irrigação (Figura 11). Tal medida foi tomada para que os dois diagramas de conexões fossem complementares, permitindo a fusão dos dois e resultando no nó com módulo  $\mu$ Clima e  $\mu$ Irrigação (Figura 12) tornando mais flexível a customização da projeto.

**Figura 9 – Diagrama de conexões entre os componentes do módulo  $\mu$ Clima.**

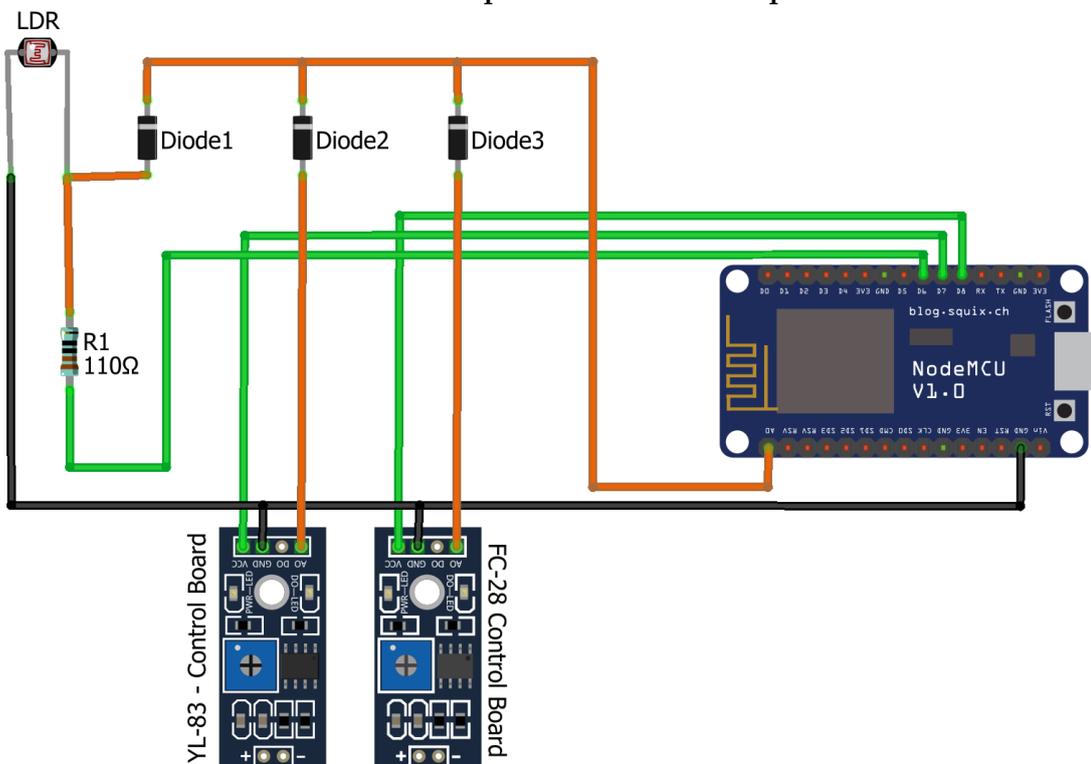


Ao longo da implementação, foi constatado que o ESP8266 conta com apenas um pino capaz de fazer leituras analógicas, tornando necessária a utilização de um multiplexa-

dor<sup>2</sup> para que seja possível a conexão de vários sensores analógicos a esse pino analógico, que na placa está marcado como A0. Na falta de CI multiplexador, foi implementado um circuito multiplexador com o uso de diodos. Essa solução é ilustrada pelos fios na cor verde da Figura 9.

O circuito multiplexador, que pode ser visto mais detalhadamente na Figura 10, consiste alternar a ativação dos sensores através das conexões verdes e coletar seus dados pelas conexões laranjas, para isso conectamos os pinos GND<sup>3</sup> de todos os sensores ao pino GND no ESP8266, conectamos o pino VCC de cada sensor a um pino digital distinto no ESP8266 (nesse caso os pinos são D6, D7 e D8), em seguida, conectando as saídas de dados de todos os sensores ao pino A0, feito isso, podemos fazer a ativação dos sensores alternadamente enviando sinal ALTO nos pinos digitais de acordo com os sensores analógicos a eles conectados, conforme o diagrama, os pinos D6, D7 e D8 ativam os sensores de Luz, Umidade da Folha e Umidade da Terra, respectivamente. Por fim, para evitar a fuga de corrente em sentidos indesejados no circuito, foram utilizados diodos na saída de cada um dos sensores.

**Figura 10 – Diagrama simplificado de conexões do módulo  $\mu$ Clima que evidencia o circuito multiplexador criado a partir de diodos.**



O NodeMCU pode ser programado usando a linguagem Lua, que inclusive é sua

<sup>2</sup>Multiplexador, também conhecido como MUX é um dispositivo que seleciona as informações de duas ou mais fontes de dados em um único canal.

<sup>3</sup>ALTO, 1 e VCC são equivalentes na eletrônica assim como sinal baixo, 0 e GND, eles se referem aos níveis lógicos que o circuito podem apresentar.

linguagem nativa, porém apesar da facilidade de uso da linguagem Lua, existe a possibilidade de configurar o Arduino SDK para compilar para o ESP8266 programando na linguagem padrão do Arduino, permitindo assim, o uso de inúmeras bibliotecas já existentes implementadas para a linguagem C/C++ do Arduino, o qual foi utilizado. O trecho de código da Listagem 1 mostra a declaração de variáveis globais do código do módulo  $\mu$ Irrigação:

```

1 int intervaloleituras = 10;
2 int intervaloirrigacao = 10;
3 int gatilhoinitial = 800;
4 int gatilhofinal = 1000;
5 int luz;
6 int umidadear;
7 float temperaturaarc;
8 float temperaturaterrac;
9 int umidadesolo;
10 int umidadefolha;

```

#### Listagem 1 – Declaração das variáveis globais.

No trecho acima, nas linhas de 1 a 4 tem-se as variáveis globais que definem os perfis de usuário, ao atribuir um valor para inicialização, é garantido um valor padrão. Nas linhas 5 a 10 estão as variáveis de leitura dos sensores. É necessário que essas variáveis estejam no escopo global, pois elas serão utilizadas por mais de uma função. São elas: a função `publicaSensores()` que lê os dados e os armazena nas variáveis e a função `loop()` responsável para execução principal do código.

A Listagem 2 apresenta o função principal do código `loop()`. Entre as linhas 4 e 10 são feitas as verificações se é necessário executar a irrigação, no caso de necessidade de iniciar ou encerrar a irrigação, é enviado um comando MQTT para o módulo  $\mu$ Irrigação designado.

```

1 void loop() {
2     setMQTTCallback(recebeMQTT); //ao receber uma mensagem via MQTT, a
        mensagem sera gerenciada pela funcao recebeMQTT
3     publicaSensores();
4     if(umidadesolo < gatilhoinitial){
5         publicaMQTT("iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/
            intervaloirrigacao", intervaloirrigacao); //envia intervalo
            para irrigacao configurado pelo usuario
6         publicaMQTT("iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/irrigar",
            liga); //comando para iniciar a irrigacao imediatamente com
            a duracao que foi enviada no comando anterior
7     }
8     if(umidadesolo > gatilhofinal){
9         publicaMQTT("iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/irrigar",
            desliga); //comando para encerrar a irrigacao

```

```

10     }
11     espera(intervaloleituras);
12 }

```

### Listagem 2 – Função loop().

A função `loop()` também verifica se chegou algum comando MQTT novo e envia para a função `recebeMQTT()` decidir o que fazer com a mensagem recebida. A verificação é feita com base nos valores das variáveis `gatilhoInicial` e `gatilhoFinal` para determinar a hora de começar ou a parar de irrigar e espera de acordo com o valor `intervaloLeituras` para começar tudo de novo.

A Listagem 3 mostra função `publicaSensores()` responsável por fazer as leituras dos sensores, armazená-las em variáveis globais e publicá-las junto com a data e hora para que o cliente saiba o horário que a leitura foi realizada.

```

1 void publicaSensores(){
2     luz = leia(sensorluz);
3     umidadear = leia(sensorumidadear);
4     temperaturaarc = leia(sensortemperaturaarc);
5     temperaturaterrac = leia(sensortemperaturaterrac);
6     umidadesolo = leia(sensorumidadesolo);
7     umidadefolha = leia(sensorumidadefolha);
8
9     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/data",
10         getDate()); //publica data e hora no topico especificado
11     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/luz", luz);
12     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/umidadear",
13         umidadear);
14     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/
15         temperaturaarc", temperaturaarc);
16     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/
17         temperaturaterrac", temperaturaterrac);
18     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/umidadesolo
19         ", umidadesolo);
20     publicaMQTT("iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/leitura/
21         umidadefolha", umidadefolha);
22 }

```

### Listagem 3 – Função publicaSensores().

A Listagem 4 mostra a função `recebeMQTT()` que é responsável por receber todos os parâmetros de configuração do módulo e armazená-los em variáveis globais para que o código todo seja executado conforme os valores neles armazenados.

```

1 void recebeMQTT(topico , mensagem) {
2     if(topico = "iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/
3         intervaloleituras"){

```

```

4     }
5     if(topico = "iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/
        intervaloirrigacao"){
6         intervaloirrigacao = mensagem;
7     }
8     if(topico = "iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/
        gatilhoinitial"){
9         gatilhoinitial = mensagem;
10    }
11    if(topico = "iam/modulos/microclima/[nomemodulo]/perfil/gatilhofinal
        "){
12        gatilhofinal = mensagem;
13    }
14 }

```

**Listagem 4 – Função recebeMQTT().**

### 3.1.2 Nó com módulo $\mu$ Irrigação

Este módulo foi projetado para ser o atuador em campo. Dentro da plantação, ele estará atrelado a um módulo  $\mu$ Clima de uma região e, dentro da rotina programada, receberá daquele módulo a instrução de como funcionar. Assim, quando uma nova leitura for processada, o  $\mu$ Clima atribuído a esse módulo enviará um comando de ligar/desligar conforme a necessidade de água da região e o módulo  $\mu$ Irrigação ativará/desativará o sistema hidráulico.

Primeiramente é feita a leitura dos dados dos sensores, os dados dos sensores são armazenados localmente para uso. Composto por um SoC ESP8266 conectado a um relê, ele se conecta ao broker MQTT e fica aguardando instruções, que estão detalhadas na Tabela 4.

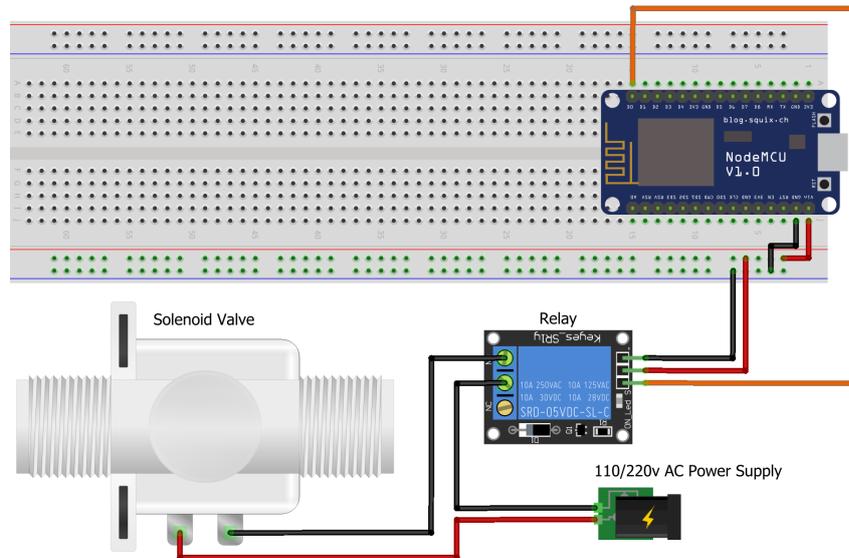
**Tabela 4 – Lista de comandos aceitos pelo módulo  $\mu$ Irrigação**

Tópico	Mensagem
iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/irrigar	liga ou desliga
iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/intervaloirrigacao	duração da irrigação em segundos (padrão: 10)

O layout de sua montagem física é ilustrado na Figura 11. O pino D0, por padrão, é pino de ativação do relê para acionamento da válvula solenoide. A válvula solenoide possui alimentação externa de 110 / 220 V de corrente alternada.

Nas Listagens 5, 6 e 7 os trechos de código são complementares aos apresentados na Seção 3.1.1 e na implementação eles aparecem juntos no mesmo código. Entretanto, os códigos foram separados para melhor entendimento. Pois, os trechos das Listagens 5,

Figura 11 – Diagrama de conexões do módulo  $\mu$ Irrigação



6 e 7 só serão ativos se estiverem executando em um módulo  $\mu$ Irrigação assim como os códigos apresentados na Seção 3.1.1 só serão ativos quando estiverem rodando em um módulo  $\mu$ Clima.

A Listagens 5 apresenta a declaração da variável global `horaDesligarIrrigacao` que tem capacidade de armazenar a hora e data instantânea para identificar o horário em que a irrigação deverá se encerrar. Na função `loop()` é verificado constantemente se o momento descrito em `horaDesligarIrrigacao` chegou, se sim, a função `paraIrrigacao()` é acionada imediatamente. Também é configurado um gatilho que chama a função `recebeMQTT()` assim que alguma mensagem é recebida do servidor MQTT.

```

1 time horaDesligarIrrigacao = now()+10; //Atribuiu o horario de
   desligamento da irrigacao para daqui a 10 segundos
2 void loop(){
3     setMQTTCallback(recebeMQTT); //ao receber uma mensagem via MQTT, a
   mensagem sera gerenciada pela funcao recebeMQTT
4     if(horaDesligarIrrigacao == now()){Uso ativo apenas no modulo
   microlirrigacao
5         paraIrrigacao();
6     }
7 }

```

Listagem 5 – Declaração das variáveis globais e função `loop()`.

A Listagem 6 apresenta a função `recebeMQTT()`. Ela gerencia as mensagens de comando para irrigação de modo que ao receber um valor de intervalo seguido do comando “liga”, ela aciona a função `iniciaIrrigacao()` e passa por parâmetro o intervalo de duração da irrigação, caso a mensagem seja “desliga”, ela aciona a função `paraIrrigacao()`.

```

1 void recebeMQTT(topico , mensagem) {
2     int intervalo = 10;

```

```

3   if(topico = "iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/
      intervaloirrigacao"){
4       intervalo <- mensagem
5   }
6   if(topico="iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/ irrigar"){
7       if(mensagem = liga){
8           inicialIrrigacao(intervalo);
9       }
10      if(mensagem = desliga){
11          paraIrrigacao();
12      }
13  }
14 }

```

**Listagem 6 – Função recebeMQTT().**

Ao ser acionada, a função `inicialIrrigação()` (Listagem 7) recebe como parâmetro um intervalo, então o pino do relê é ativado e a variável `horaDesligarIrrigacao` recebe as horas, minutos e segundos atuais acrescidos do intervalo de duração da irrigação que posteriormente será verificado pela função `loop()` afim de saber o momento em que a função `paraIrrigação()` seja chamada para que o ciclo de irrigação se complete.

```

1 void inicialIrrigacao(intervalo) {
2     ligar(pinorele);
3     horaDesligarIrrigacao = now()+intervalo; //Atribuiu o horario de
      desligamento da irrigacao o valor recebido na variavel intervalo
4 }

```

**Listagem 7 – Função inicialIrrigação().**

A Listagem 8 mostra a função `paraIrrigação()`. Ela encerra o ciclo de irrigação desativando o pino do relê e por fim enviando uma mensagem de retorno para o servidor indicando que a irrigação encontra-se desligada.

```

1 void paraIrrigacao(){
2     desligar(pinorele);
3     publicaMQTT("iam/modulos/microirrigacao/[nomedomodulo]/ irrigar",
      desliga); //para que o status no broker mqtt coincida com o
      status atual
4 }

```

**Listagem 8 – Função paraIrrigação().**

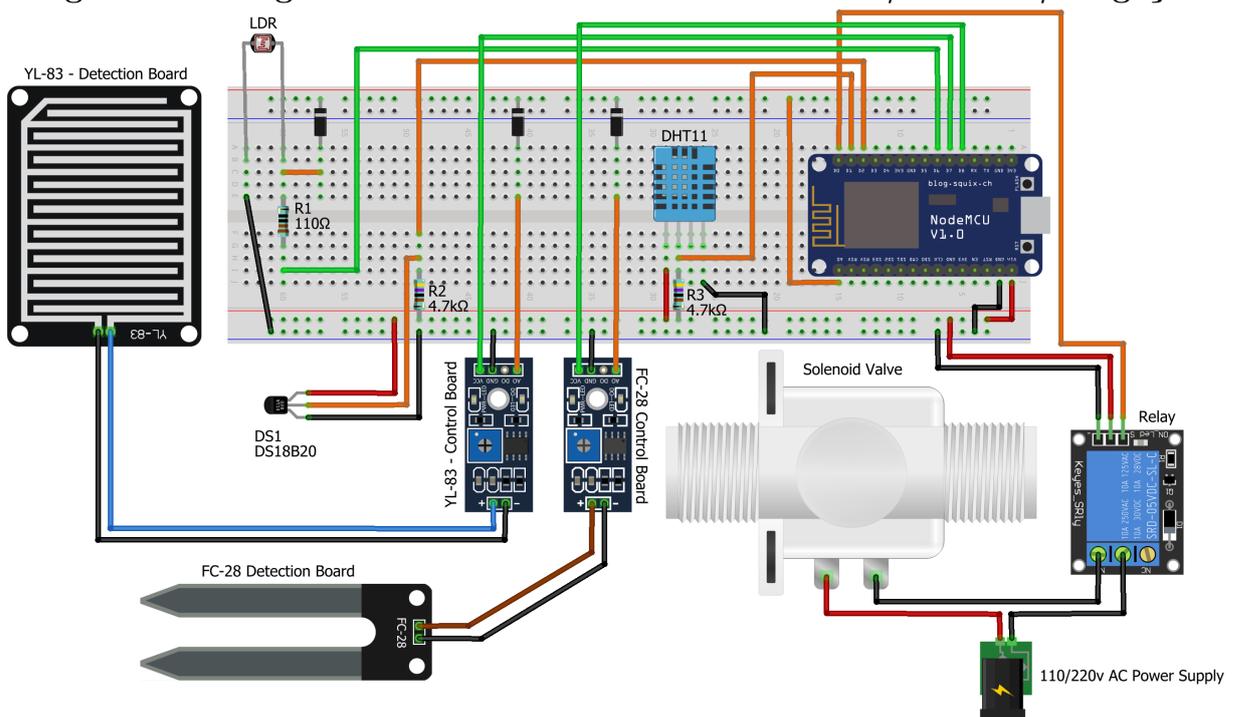
### 3.1.3 Nó com módulos $\mu$ Clima e $\mu$ Irrigação

Este nó agrega as funções dos dois módulos descritos nas Seções 3.1.1 e 3.1.2. O que permite sua implementação usando apenas um ESP8266 para a conexão de todos os

sensores e atuadores necessários para o controle de uma cultura específica. Essa forma de implementação permite menores custos de implementação, pois deixa-se de usar um ESP8266 em sua construção. Entretanto, ele é destinado a áreas de plantio menores, como por exemplo uma pequena horta, onde é possível acomodar os sensores perto do sistema de acionamento da irrigação. Sua construção é ilustrada na Figura 12, a qual representa uma combinação dos módulos apresentados nas Figuras 9 e 11.

Ao termos ambas as seções de código ativas, este nó contém apenas um módulo que se comporta como se fossem dois, o módulo  $\mu$ Clima e o  $\mu$ Irrigação, mesmo que tenha sido fisicamente implementado como um. Portanto, ele envia mensagens para si mesmo quando é necessária uma intervenção no solo. Afim de prover comunicação entre o código do  $\mu$ Clima e o  $\mu$ Irrigação, o módulo envia mensagens para ele próprio. A estrutura das mensagens publicadas no servidor MQTT possuem a mesma estrutura apresentadas nas Tabelas 2, 3 e 4.

**Figura 12 – Diagrama de conexões do nó com módulo  $\mu$ Clima e  $\mu$ Irrigação**

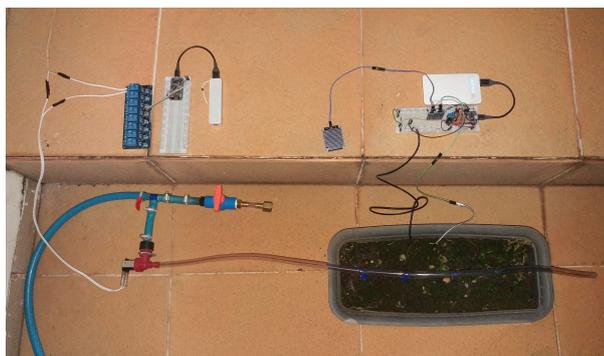


Devido ao código unificado para todos os módulos, os códigos que explicam o funcionamento deste módulo já foram descritos e explanados nas Seções anteriores 3.1.1 e 3.1.2. Neste nó tem-se um módulo que agrega as funções de sensores, atuadores e tomada de decisão, afim de executar tanto as funções do módulo  $\mu$ Clima quanto as do  $\mu$ Irrigação no mesmo módulo e mesmo nó.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para as simulações e testes, foi utilizado um vaso de proporções 44x19x14cm com uma porção de “terra preta”, muito utilizada em hortas devido a seu alto nível de fertilidade, em seguida foi colhida a leitura do solo em seu nível de menor umidade tolerável pelo sistema assim como a leitura de maior nível de umidade tolerada pelo sistema para que esses valores sejam o padrão para as rotinas de irrigação do sistema, vale lembrar que o usuário pode alterar esses valores a qualquer momento. O ESP8266 possui um conversor analógico digital de 10 bits, por isso a leitura do sensor varia de 0 a 1023, sendo que quanto maior o valor, maior o nível de umidade no solo, então o nível mínimo de umidade do solo ficou definido em 800 e o máximo em 1000.

**Figura 13 – Módulos instalados e prontos para um ciclo de testes**



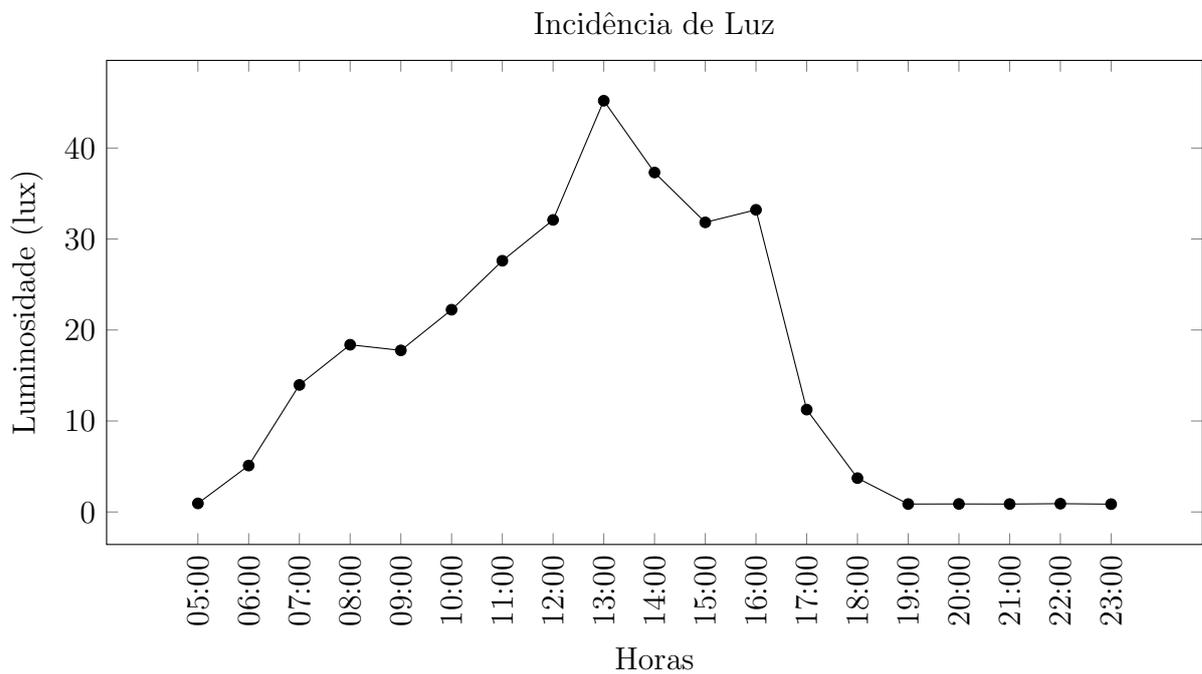
Com os dois módulos,  $\mu$ Clima e  $\mu$ Irrigação montados no vaso (conforme ilustrado na Figura 13), iniciou-se às 5:00h do dia 1/11/2017 um teste do sistema como um todo ao passo que os dados eram coletados e armazenados, finalizando-se às 23:30 do mesmo dia a fim de verificar a precisão, ruído, confiabilidade do sistema e detectar possíveis falhas no funcionamento.

O gráfico da Figura 14 ilustra as leituras do sensor de luz no horário especificado. A curva que indica que o nascer do sol se deu logo após as 5:30h, tendo seu ponto mais alto de incidência de raios solares no sensor exatamente às 13:00h e voltou novamente ao seu nível mínimo de incidência de luz a partir das 18:30h.

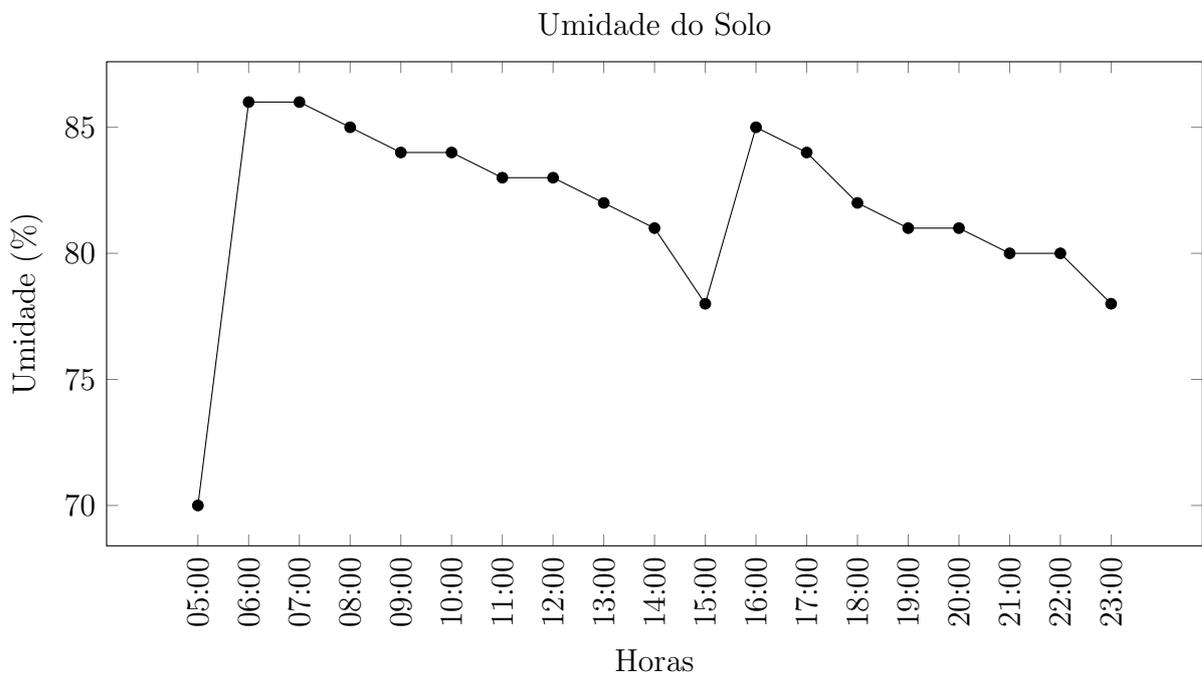
Foram necessárias duas intervenções por meio do sistema para a manutenção dos níveis de água na amostra de terra testada, a primeira irrigação ocorreu às 5:00h, logo que o sistema foi iniciado e a segunda por volta das 15:00h, momento em que o nível de umidade atingiu o valor mínimo especificado.

É importante analisar os gráficos das Figuras 15 e 16 paralelamente, pois assim, percebemos que a queda da umidade no solo (Figura 15) ocorre de forma mais rápida no momento em que a temperatura da terra (Figura 16) se eleva.

**Figura 14 – Dados coletados pelo sensor analógico de luz LDR ao longo de um dia**

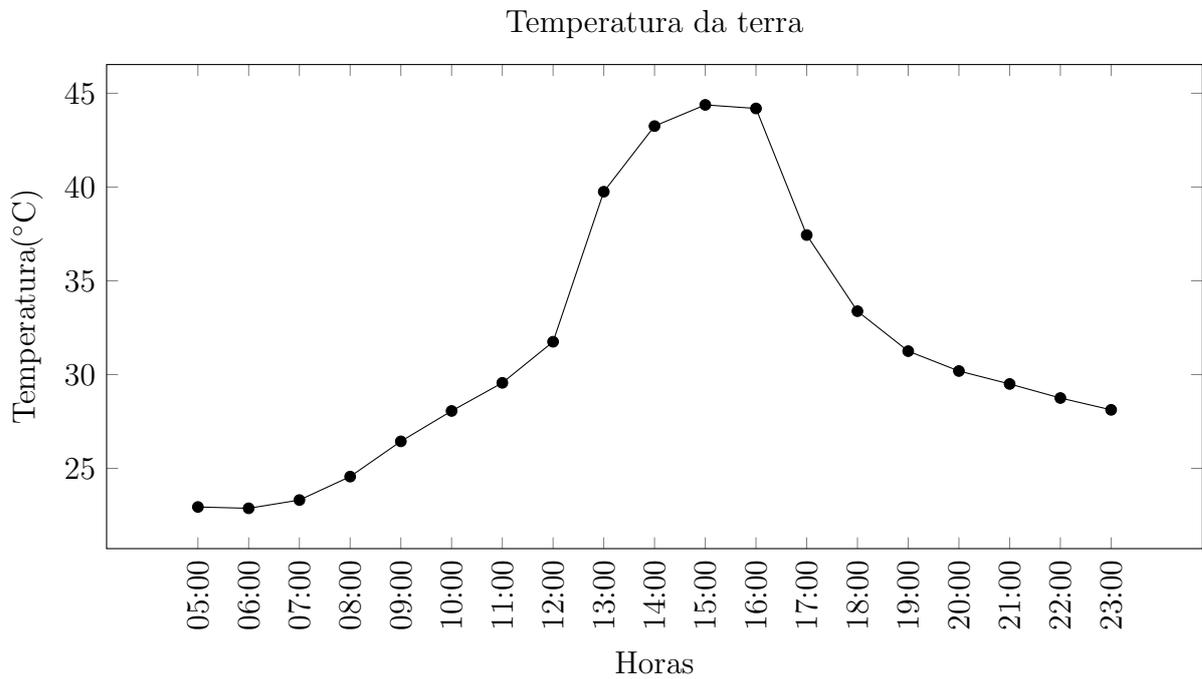


**Figura 15 – Leituras de umidade do solo coletadas pelo sensor analógico FC-28 ao longo de um dia**

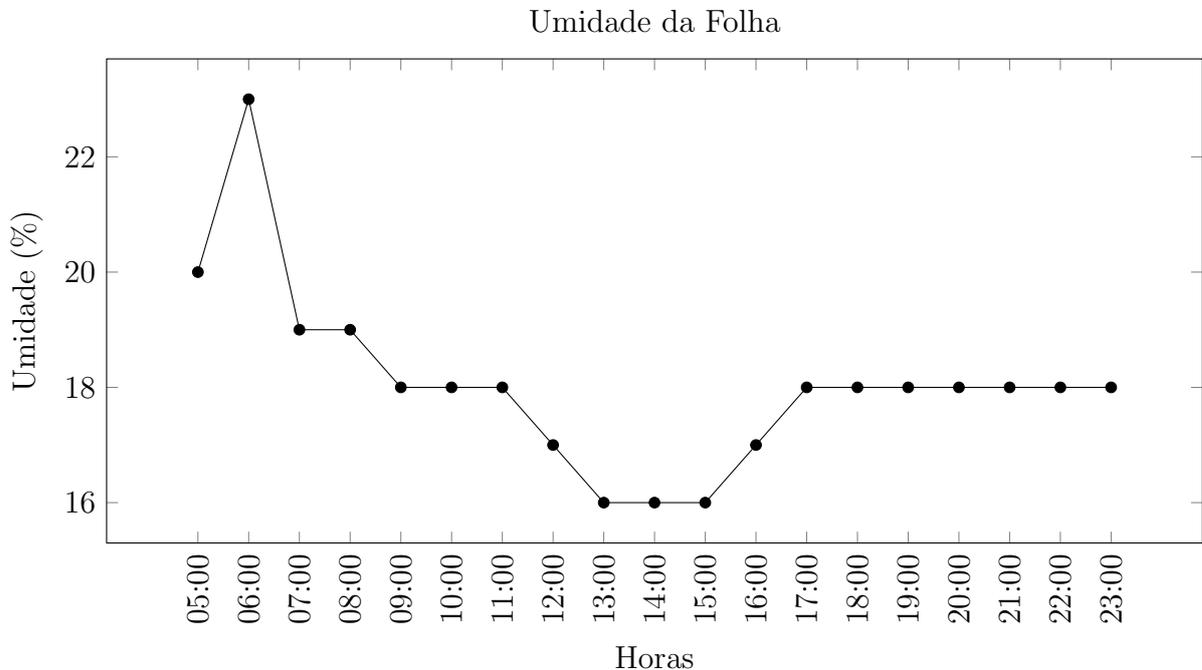


Da mesma forma é possível notar que a umidade da folha na Figura 17 se altera tanto em paralelo a incidência solar da Figura 14, caindo a umidade assim que os primeiros raios de sol começam a incidir. Quanto em função da temperatura do ar na Figura 18, a umidade se estabiliza até que ao meio dia, chega-se ao ponto máximo de temperatura e a

**Figura 16 – Leituras de temperatura coletadas pelo sensor digital DS18B20 ao longo de um dia**



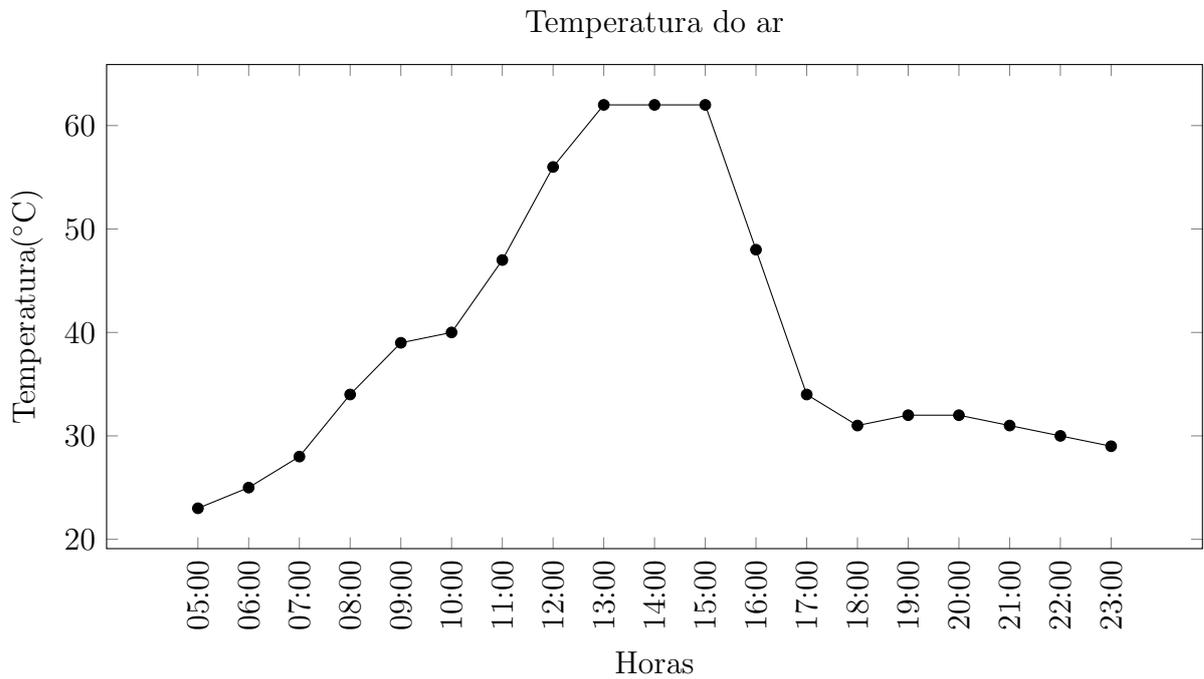
**Figura 17 – Leituras de chuva ou umidade da folha coletadas pelo sensor analógico YL-83 ao longo de um dia**



umidade da folha cai ainda mais.

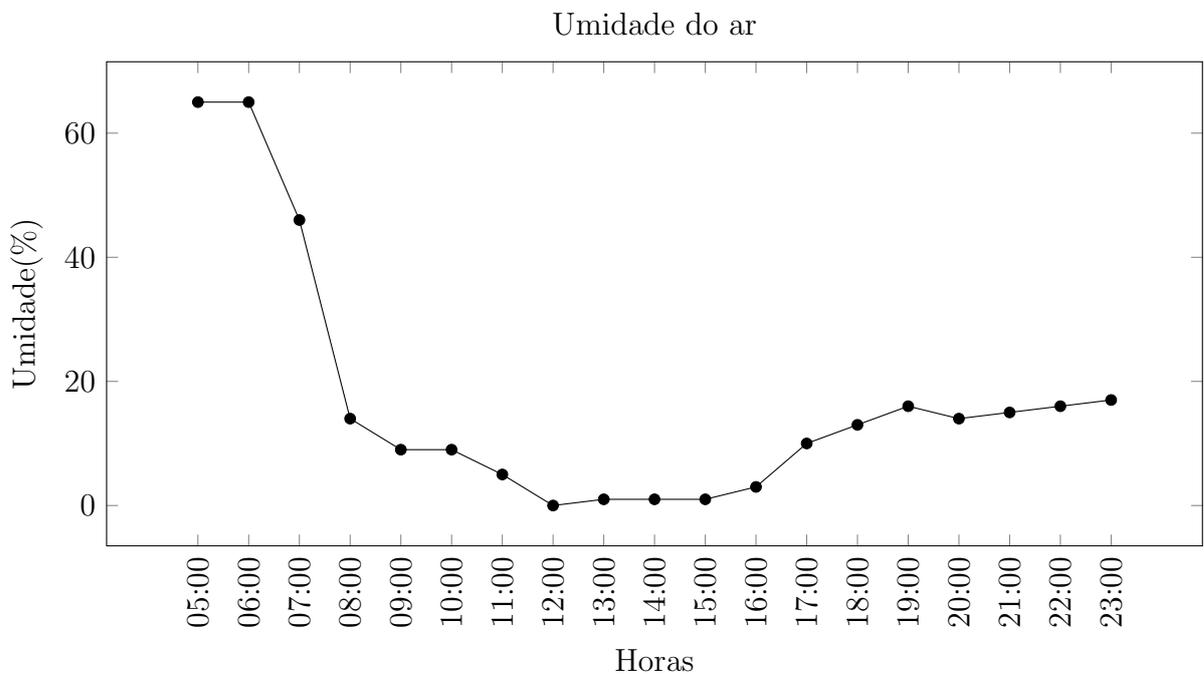
O gráfico da leitura de umidade do ar, ilustrado na Figura 19, se relaciona nitidamente com a incidência da luz apresentada na Figura 14, iniciando seu declínio logo após a subida dos níveis de incidência luminosa e voltando a subir bem lentamente após

**Figura 18 – Leituras de temperatura coletadas pelo sensor digital DHT11 ao longo de um dia**



os níveis de luz começarem a cair.

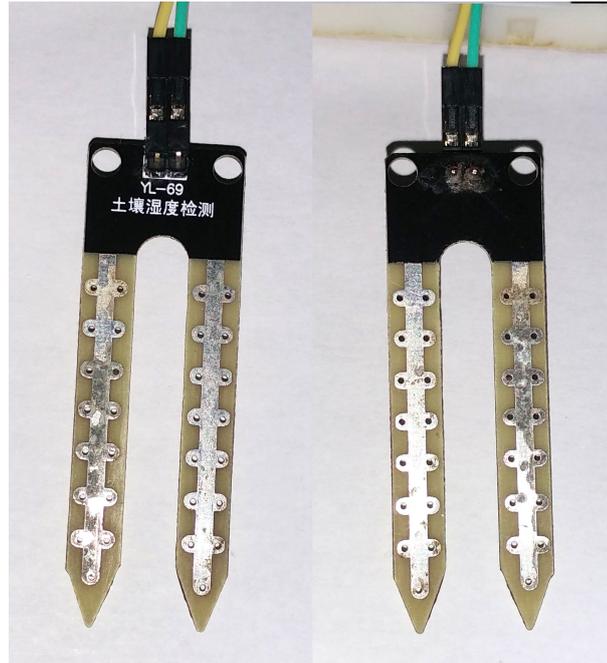
**Figura 19 – Leituras de umidade do ar coletadas pelo sensor digital DHT11 ao longo de um dia**



Os níveis de ruído, no geral, ficaram dentro de um limite aceitável. Contudo, o sensor DHT11, de temperatura do ar, fez medições incorretas, o que se evidencia pelo fato dele manter suas leituras no valor de 62°C durante todo o horário de maior incidência

solar. Isso ocorreu porque o sensor ultrapassou a temperatura máxima de leitura, o que pode ser atingido facilmente ao deixar o equipamento exposto à períodos de incidência direta de luz solar. O faixa de operação do DHT11 é de 0 à 50 °C, sendo o recomendado no manual o funcionamento em ambiente com variação de temperatura entre 10 e 40 °C (AOSONG ELECTRONICS CO., 2018).

**Figura 20 – Corpo de prova oxidado devido ao processo de eletrólise**



A energização prolongada do sensor de umidade do solo sem que sejam feitas leituras dos dados, resultam em corrosões no corpo de prova, conforme ilustrado na Figura 20, acima do normal. Portanto, a energização do sensor foi feito em curtos períodos de tempo, em que a leitura dos dados é feita, evitando assim o processo de eletrólise com a água presente no solo que resulta na corrosão de um dos polos do corpo de prova. O que ajuda no prolongamento do tempo de vida do sensor.

## 5 CONCLUSÕES

O avanço na construção de sistemas embarcados e na criação de serviços web mais eficientes, permitiu e alavancou o crescimento da área de Internet da Coisas. Uma das principais aplicações da tecnologia IoT é a agricultura de precisão. Esse ramo visa o desenvolvimento de equipamentos de ponta para o manejo eficiente do agronegócio, independente do qual segmento ele se encontre. É nesse foco que o presente trabalho se concentra.

Portanto, foi desenvolvido uma solução para agricultura de precisão para o controle hídrico de uma determinada cultura. O controle hídrico usado na irrigação foi escolhido para ser um dos problemas mais graves e fundamentais da agricultura moderna. O sistema proposto foi dividido em dois módulos, um para sensoriamento e outro para acionamento da irrigação.

No módulo de sensoriamento foi utilizado vários tipos de sensores, os quais nem todos seriam efetivamente necessários para o controle automático da irrigação, contudo, as informações gerados fornecem mais informações sobre o clima para a tomada de decisão pelo produtor.

Ao mesmo tempo, todas as informações são enviadas para internet, o que facilita a recuperação das informações, posteriormente, para reuso, compartilhamento e tratamento. Após, o envio ao broker na internet, os dados devem ser enviados à um servidor de aplicação para o efetivo uso. A partir do servidor, é possível o desenvolvimento de aplicativos móveis e/ou híbridos para a manipulação dos dados.

Os testes foram realizados em um ambiente controlado sem a presença de plantas, entretanto, o seu funcionamento pôde ser observado e se demonstrou totalmente adequado, o que permite concluir que o modelo de sistema proposto pode ser empregado sem dificuldades de configuração em culturas bastante diferentes e em escalas diferentes.

Porém, ressaltamos que devido a erros no sensor de temperatura e umidade do ar (DHT11), seria prudente em trabalhos futuros utilizar sensores mais robustos. A troca do sensor de umidade do solo também seria prudente, já que se trata de um sensor resistivo a oxidação do material é inevitável, no máximo atrasada. Logo, com essas adições e alterações os custos da solução seriam mais elevados, o que inicial é bastante baixo. Uma grande preocupação no desenvolvimento foi manter os custos do projeto sempre baixos.

## REFERÊNCIAS

- AL-ALI, A. R. et al. A smart home energy management system using iot and big data analytics approach. **IEEE Transactions on Consumer Electronics**, v. 63, n. 4, p. 426–434, November 2017. ISSN 0098-3063.
- AL-QASEEMI, S. A. et al. Iot architecture challenges and issues: Lack of standardization. In: **2016 Future Technologies Conference (FTC)**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 731–738.
- AOSONG ELECTRONICS CO. Datasheet do sensor dht11. 2018. Disponível em: <[http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet\\_DHT11.pdf](http://img.filipeflop.com/files/download/Datasheet_DHT11.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2018.
- BATCHELOR, B. **Precision agriculture: introduction to precision agriculture**. Iowa State University: University Extension, 1997.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **Espressif Systems - Wi-Fi and Bluetooth chipsets and solutions**. 2016. Disponível em: <<https://espressif.com>>. Acesso em: 18 mai. 2018.
- ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP8266 Datasheet**. 2017. Disponível em: <[http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex\\_datasheet\\_en.pdf](http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf)>. Acesso em: 18 mai. 2018.
- FERRÁNDEZ-PASTOR, F. J. et al. Developing ubiquitous sensor network platform using internet of things: Application in precision agriculture. **Sensors**, v. 16, n. 7, 2016. ISSN 1424-8220. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/16/7/1141>>.
- FRAISSE, C.; FAORO, L. Agricultura de precisão: a tecnologia de gis/gps chega às fazendas. **Revista Fator GIS, Curitiba**, n. 21, p. 28–33, 1998.
- GUANG, N. L. L.; LOGENTHIRAN, T.; ABIDI, K. Application of internet of things (iot) for home energy management. In: **2017 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–6.
- IBRAHIM, N. **CNA Brasil - Agro maduro e moderno**. 2018. Disponível em: <<http://www.cnabrasil.org.br/artigos/agro-maduro-e-moderno>>. Acesso em: 13 jun. 2018.
- KANSAKAR, P.; MUNIR, A. Selecting microarchitecture configuration of processors for internet of things (iot). **IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing**, p. 1–1, 2018.
- LEE, I.; LEE, K. The internet of things (iot): Applications, investments, and challenges for enterprises. **Business Horizons**, v. 58, n. 4, p. 431 – 440, 2015. ISSN 0007-6813. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681315000373>>.
- LINO, D. R. et al. Irrigação automatizada com plataforma de desenvolvimento arduino na horta didática da universidade federal do ceará. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 85–93, September 2017. ISSN 1808-8546.