

IoT na Agricultura – Automação de Pivôs e Canais de Irrigação com Arduino e Webservice

Ezequiel Manuel Muxito, André Marcos Silva e Cezar Duarte

*Centro Universitário Adventista de São Paulo (UNASP)
São Paulo, SP – Brasil*

ezequielmuxito@gmail.com, andre.marcos@unasp.edu.br,
cezarduarte@hotmail.com

Anderson António de Aragão Eduardo e Ernesto Tchiteculo Sambongo

*Kimby Tecnologia da Informação
Luanda, Angola*

anderson.93@live.com.pt, ernesto.sambongo@outlook.com

Abstract — This paper presents an ongoing research work in IoT (Internet of Things) and its applications in the agriculture. After surveys and validation of related works, the practical activity focuses on the construction of a proposal of automation integrated to control components through the Internet promoting improvement for some agricultural production process. As a case study, the research aims to explore the needs of a real and small farm. This environment allows a scenario mainly for the validations of the project.

Index Terms — *Internet of Things; Smart Agriculture; Arduino Prototyping;*

Resumo — Este artigo apresenta um trabalho em andamento de pesquisa em IoT e suas aplicações na área da agricultura. Após o levantamento teórico e validação de trabalhos correlatos, a atividade prática foca na construção de uma proposta de automação integrada a componentes de controle através da Internet promovendo melhoria para um processo de produção agrícola. Como estudo de caso, a pesquisa propõe a explorar as necessidades e características de um ambiente real de produção hortifrutigranjeiros na cidade de São Paulo. Esta parceria permite um cenário de colaboração, principalmente para as validações do projeto construído.

Palavras-Chave — *Internet das Coisas; Agricultura Inteligente; Arduino;*

I. INTRODUÇÃO E PROBLEMÁTICA

A Internet das Coisas, ou simplesmente chamada de IoT vem mudando a forma na qual a computação e, principalmente, a automação vem mudando a rotinas das atividades diárias. Porém, ainda que timidamente, estas tecnologias já vêm impactando fortemente em áreas como a educação, negócios, medicina, comunicação, governos, e na agricultura. Entre os principais motivos de preocupação ou empecilho para adoção de tecnologias IoT como facilitadores nos diversos contextos, estão o custo para aquisição da infraestrutura e a complexidade de implantação nos mais diversos meios.

Uma das principais grandes áreas consumidoras de projetos baseados em IoT, é a agricultura. Ao mesmo tempo que a agricultura é um setor produtivo bastante evoluído, também apresenta um déficit quanto a aplicação de tecnologia que promova a melhoria, precisão [9] e a automação de processos produtivos. Um dos principais fatores para o não aproveitamento em larga escala da tecnologia no campo destaca-se o alto custo e a possibilidade de vantagens ainda prematuras. por exemplo, em vários setores, a possibilidade e

facilidade da exploração de artefatos computacionais integrados com sensores de coleta e mecanismos de tomada de decisão, só têm sido facilmente acessíveis a partir dos últimos anos.

II. OBJETIVOS

Considerando o cenário apresentado, o principal objetivo deste artigo é o estudo do impacto da IoT nas sociedades, em especial suas aplicações na área que envolve agricultura inteligente, com o intuito principal de experimentar uma proposta de melhoria e controle de um sistema de irrigação automatizada para agricultura de precisão que seja de baixo custo e de fácil implantação. Em outras palavras, propõe-se a construção de um protótipo para simular e testar o comportamento dos pivôs junto à uma nova solução tecnológica de monitoramento e controle. Este protótipo deve ser basicamente composto de três ambientes bem definidos: o ambiente mecânico automatizado a partir da plataforma Arduino; o sistema central baseado em Webservice para integração; e por último, o ambiente de controle funcional, baseado em um sistema web.

III. METODOLOGIA DE TRABALHO

Como metodologia de trabalho este projeto envolve inicialmente pesquisas em bibliografias especializadas na área de IoT. Também serão considerados trabalhos correlatos na área de automação por dispositivos Arduino.

Como atividade prática propõe o desenvolvimento de um protótipo para automatização de um pivô agrícola que, basicamente, conta com o desenvolvimento de dois ambientes: o ambiente mecânico automatizado a partir da plataforma de prototipação Arduino; e o ambiente de controle funcional, que é baseado em um sistema por um dispositivo web através de uma comunicação por servidores de aplicação e a rede Internet.

Esta proposta é voltada a atender problemas, desafios e necessidades reais de produtores agrícolas. Tal característica será possível através de parcerias externas de pesquisas junto a uma empresa de tecnologia atuante no mercado angolano e uma cooperativa nacional de produção hortifrutigranjeira da cidade de São Paulo. Estas parcerias permitirão, além de outros benefícios, a possibilidade de um ambiente de estudo de caso para levantamento de requisitos e orientações especializadas. Para validação dos protótipos e laboratório para testes do protótipo construído.

IV. REFERENCIAL TEÓRICO

A. *Internet das Coisas*

A Internet das Coisas, representa o conceito de uma rede que conecta objetos físicos (células, carros, computadores, eletrodomésticos, roupas, equipamentos médicos, edifícios etc.) tudo que possuem sensores capaz de coletarem e compartilharem informações com outros dispositivos.

O conceito criando como protocolo para um futuro, mas moderno onde dispositivos diferentes compartilham informações. A definição da internet das coisas, não se pode propor como uma tecnologia única. Na verdade, há uma gama de fatos que contribuem e determinam como o conceito é constituído. Três componentes precisam ser combinados para que exista uma aplicação IoT: dispositivos de automação, rede para comunicação e um sistema de controle.

A forte aumento considerável e disponível de dados processados com o surgimento do IoT, em muitos sectores do saber ou das ciências é notável a sua interação. Quanto mais dados são criados, mais conhecimento e sabedoria as pessoas obtêm. Isso juntamente com a capacidade da internet de comunicar esses dados, permitindo que as áreas das ciências avancem significativamente. Ao combinar a capacidade da evolução do IoT para sentir, coletar, distribuir, analisar e transmitir dados em grandes escalas, vários sectores sofrem mudanças significativas.

B. *Agricultura de precisão*

A CBAP (Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão) definiu agricultura de precisão como um sistema de gerenciamento agrícola baseada na variação espacial e temporal da unidade produtiva e visa ao aumento de retorno econômico, à sustentabilidade e à minimização do efeito ao ambiente” [3]. Ou seja, um sistema de gestão que leva em conta a variabilidade espacial do campo com o objetivo de obter um resultado sustentável social, econômico e ambiental. O aumento da implementação de uso dos dispositivos de tecnologia associada a agricultura, como drones, sensores de umidade, de temperatura e de chuva, que auxiliam na monitorização e gestão nas condições de solos e sistemas climáticos, e na evolução dos estados fenológicos das produções, durante todos os processos e fases dar-se-á origem a uma vasta gama de dados, cujo cruzamento e gerenciamentos desses dados irão permitir ao agricultor, saber em tempo real o estados dos seus produtos, podendo assim adaptar os recursos e corrigir falhas, minimizar custos e reduzir perdas, levando o aumento na qualidade e maior rentabilidade da produção.

A diversidade de equipamento e soluções disponível para agricultura inteligente (Sistema de Informação Geográfico (SIG), Sistema de Posicionamento Global (GPS), Detecção Remoto, Sensores, Telecomunicação, Inteligência de Vídeo, Plataforma de Gestão de Dispositivos, Sistemas de Gestão Agrícola e de apoio à decisão...) tem vindo a crescer exponencialmente, não só resultante do desenvolvimento tecnológico específico para a agricultura, mas também pela adaptação de tecnologias já existentes noutras áreas à área agrícola. Este crescimento tem levado a baixar o custo de equipamento e soluções, à criação de novas áreas de negócio, e

acima de tudo, a tornar aos olhos dos agricultores o investimento e mudanças para este tipo de agricultura um projeto exequível [4].

A produtividade é a maior eficiência do IoT, mais além dessa eficiência há outros objetivos principais da Agricultura Inteligente. Para alcançar tais objetivos a Internet das Coisas, se dispõe a conectar outros e permite comunicação e partilha de dados entre os dispositivos eletrônicos. De acordo com BI Intelligence [3], mais de 75 milhões de dispositivos IoT serão instalados na agricultura até o final dessa década, um aumento de 150% em relação ao valor de 30 milhões em 2015. Os volumosos dados gerados e gerenciados por fazendas particulares também mostrarão um aumento massivo e surpreendente de 0,5 milhões de dados em 2017, estima-se que os agricultores gerarão e gerenciarão 4,0 milhões de dados em 2050. A aplicação consistente da tecnologia está resultando em mais informações do que nunca, e essas ideias estão ajudando no aumento da produtividade e na eficiência.

As aplicações móveis podem ser usadas para implantar soluções inteligentes, monitorar e gerenciar rastreio, custos e outras métricas agrícolas importantes, as tecnologias de detecção (sensores no campo) se mostram úteis, as ferramentas de hardwares e as soluções de softwares aumentaram significativamente em popularidades e as tecnologias de posicionamentos inteligentes (GPS) fizeram o esforço para tornar as práticas agrícolas mais inteligentes. As importâncias da tecnologia de comunicação através das plataformas de celulares não podem deixarem de serem mencionadas, tendo em nota a sua impotência e o seu papel no crescimento do IoT. A transmissão de informações em longo alcance tem sido uma componente chave na agricultura de precisão, assim como as ferramentas e plataformas avançadas de análise de dados [6].

Segundo [2], entre os anos de 2017 e 2022, haverá em todo o mundo um aumento no uso de ferramentas e dispositivos de hardware para agricultura inteligente. Em particular, as ferramentas VRT (Tecnologia de Taxa Variável) e receptores GPS irão estimular o crescimento neste segmento, enquanto os sistemas inteligentes de direção e orientação também terão grandes demandas dos agricultores. O propósito do uso de hardware avançado em terras agrícolas é a minimização de insumo ou de recursos, aumento da qualidade e a maximização da produção. De acordo com especialistas do campo da tecnologia, o constante aprimoramento no padrão de sistemas de automação e controle está desempenhando um papel vital no crescimento da agricultura inteligente.

C. *Presença da IoT na Agricultura:*

É uma presença indispensável no sector agrícola, o IoT se interage em diversas formas e meio de tornar as ações agrícolas possíveis e, mais fáceis. Hoje, sensores de umidade, temperatura, chuva, mapeamento de campos por meio de drones são conectados à Internet para informar o quadro produtivo dos campos agrícolas.

[1] descreve como as vacas serão monitoradas. Uma empresa Holandesa nova, implementa sensores nas orelhas dos gados. Isso permite com que os fazendeiros monitorem a saúde das vacas, e acompanhem seus movimentos, garantindo um

suprimento maior e mais saudável de carne para o consumo. Em média cada animal gera cerca de 200 megabytes de informações por ano.

V. DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

A. Apresentação do Estudo de Caso

Os resultados obtidos neste trabalho estão sendo possíveis por causa da parceria e estudo de caso envolvidos. O estudo de caso permitiu a consideração de um problema real existente. Desta forma, como especificação prática, este trabalho envolve atividades reais para identificação de problemas, levantamento de requisitos, prototipação e sessões de *brainstorming* realizados junto a especialistas e potenciais usuários do sistema em campo.

Este laboratório existente que também servirá como um ambiente de prova e observação para os resultados obtidos, é uma cooperativa, com estrutura exemplificada na figura 1, e que, além de agenciar escoamentos, revendas e representações de hortifrutigranjeiros, também possui sua própria produção de hortaliças, operando, desde 1980, em uma área de aproximadamente cinco mil metros quadrados. Nesta área, localizada na região de Itapeperica da Serra, ao sul da cidade de São Paulo, aproximadamente 56 funcionários são responsáveis pela produção própria dos mais variados tipos de hortaliças: tais como: acelga, agrião, alface, couve, rúcula, repolho e salsa.



Fig. 1. Cooperativa de produção agrícola como laboratório de estudo de caso

Com esta característica, a empresa consegue atender um grande leque de clientes fixos, tais como hotéis, padarias, sacolões, escolas e mercados em toda cidade, com atendimento tanto no atacado, como no varejo, através de pontos de venda no entorno urbano.

Ainda que apresente um grande porte de acordo com a área de atuação e ramo de negócio, esta cooperativa não explora tecnologia computacional. A maior parte da produção em campo é apoiada por esforço manual equipada com tratores e motores elétricos para irrigação. Por este motivo, possui algumas deficiências ou problemas, na qual a implantação de recursos computacionais poderia evitar ou melhorar.

Dentre os principais problemas estão os relacionados ao processo de irrigação da produção, tais como:

- Dificuldade de ativação e controle do processo;
- Problema com manutenção do histórico e estatístico do processo;
- Diferentes frequências e intervalos para cada tipo de produto;
- Distintos tipos de volume de água para específicos tipos de hortaliças;
- Tratamentos especiais, ou mudança de regras de acordo com a temperatura ou pluviosidade;

Principalmente, por este motivo, esta cooperativa tem sido um campo de oportunidade para melhoria do processo através da implantação e uso da tecnologia da informação. Isto com o objetivo de melhorar processos, garantir qualidade e melhorar a agilidade diante da concorrência.

Uma vez que esta empresa possui uma linha de produção bem definida, que vai desde a constituição da muda até a colheita do produto, fazendo uso de mecanismos de automatização não computadorizados e, ao mesmo tempo, possuindo vários problemas e pontos a melhorar através da implantação de projetos de tecnologia da informação, estando abertos e dispostos a contribuir com o desenvolvimento do projeto.

B. Proposta

Para o desenvolvimento do trabalho é proposto o desenvolvimento de um protótipo para a parte embarcada, através de Arduino e uma Aplicação Web para controle de um processo de irrigação real. As principais funcionalidades do protótipo são:

- Leitura da umidade do solo,
- Automatismo da decisão do disparo ou interrupção mecânica do processo de irrigação,
- Histórico de leituras realizadas,
- Apresentação dos registros,
- Painel para ativação manual do processo de irrigação e
- Painel para configuração e agendamento de ciclos de irrigação.

Todas estas funcionalidades de acordo com cada especificação de infraestrutura (figura 2), web, automação, sensores ou *webservice*, estão apoiadas no uso, principalmente, das seguintes tecnologias:

- **Sistema Embarcado:**

Plataforma de hardware Arduino [10] e sua IDE (Integrated Development Environment) exclusiva para desenvolvimento.

Desenvolvimento de hardware periférico e utilização de *shields* e *breakout* para Arduino.

Exemplos de Sketch das Libraries para os *shields* e *breakout*.

- **Aplicação Web:**

Microsoft Visual Studio Code para edição de código fonte.

PHP como linguagem de programação para servidor Web.

MySQL como sistema de gerenciamento de bando de dados relacionais.

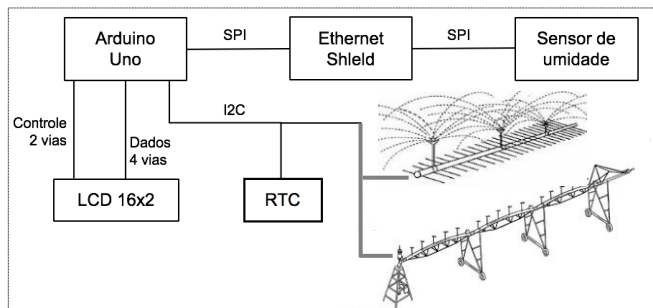


Fig. 2. Esquemático da proposta para a estrutura do pivô de irrigação

C. Atividade Prática

A construção do Sistema de Automação para Pivô de Irrigação (SAPI) foi composto de um conjunto de elementos eletrônico integrados a placa Arduino Uno R3 [10] para formarem o circuito e dar uma funcionalidade e desempenho desejado.

A primeira etapa do desenvolvimento foi construir um simulador do circuito e sua implementação física. O circuito foi projetado e montado no software Fritzing [8], o qual deu a possibilidade de realizar simulações com os componentes disponível do Arduino. Além de permitir uma antecipação de como o sistema funcionaria e permitir os testes simulatórios para compreender e analisar o seu comportamento eletrônico.

O Fritzing simula uma prototipagem e consegue rodar os códigos de programação em diversos componentes, simulando assim o projeto já completo. O software disponibiliza uma vasta biblioteca de componentes, para utilizá-lo basta adicioná-lo nas bibliotecas do projeto. Esta ferramenta possui quatro principais grupos funcionais: Protoboard, Esquemático, PCB e Códigos (figura 3).



Fig. 3. Paleta de recursos do ambiente de simulação Fritzing

Para a construção do projeto foram exploradas as funcionalidades de Protoboard e o Esquemático. A primeira aba é a de prototipagem do projeto, que possibilita montar os

elementos na Protoboard e ter uma visão geral de como será construído o sistema físico. A segunda aba é o Esquemático, que referencia todo o sistema.

A montagem da prototipagem foi feita na aba “Protoboard” do software contendo como componentes de projeto a placa Arduino Uno, *protoboard*, três *leds* de cores: vermelha, amarela e verde, três resistores de 10 ohms, um relé, uma bomba de água, um motor representando pivô de irrigação, uma fonte de alimentação para a bomba de água e o motor, um sensor de umidade do solo hidrométrico, um módulo I2C para Display LCD, um Display LCD, três botões para funções de operações, um módulo RTC, um módulo ESP8266 ESP-01 de *wifi*. A figura 4 apresenta a disposição e integração destes componentes conforme projetados.

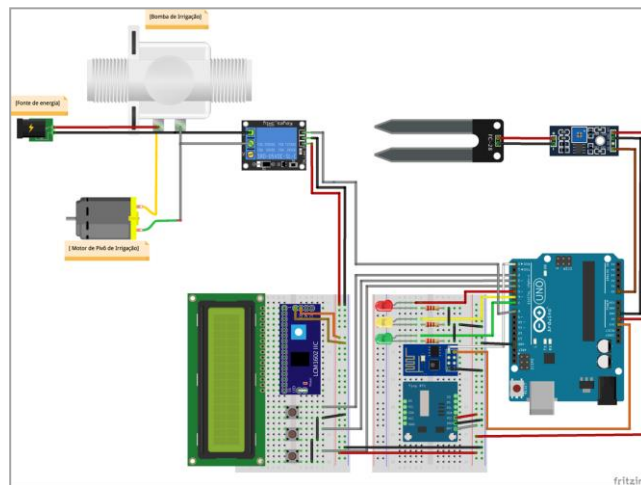


Fig. 4. Esquemático dos componentes integrados para o módulo de automação

- **Funcionalidade dos *leds* e *status* do solo**

Foram utilizados três *leds*; cada um deles foi conectado a um resistor de 10 ohms para reduzir a tensão elétrica. Eles apresentam funcionalidade diferente e cada um tem a responsabilidade de apresentar o *status* do solo de acordo com as configurações de interpretação. O indicador vermelho, diferente dos dois outros apresenta dupla função de interpretação: inicialmente se mantém acesso quando o solo estiver seco, no intervalo de leitura entre 0 e 30% do nível de umidade fornecido pelo sensor de umidade hidrométrico; e a segunda função e piscar quando o solo estiver encharcado ou “excessivamente úmido”, no intervalo de 70 à 100% do nível de umidade. O *led* amarelo mostra ou se mantém acesso quando a umidade é moderada, ou seja, com leituras no intervalo entre 30 e 50% do nível de umidade. Por fim, o indicador verde apresenta o solo que se encontra úmido, no intervalo de 50 a 70% do nível de umidade.

- **Sensor hidrométrico de umidade para o solo**

O Sensor de umidade do solo possibilita trabalhar com valores analógicos ou digitais, dependentemente de como foi conectado os *jumpers* na placa Arduino. Neste projeto foi usada a porta de configuração analógica, indicando que o valor fornecido pelo sensor será sempre do tipo analógico. Para que os dados de umidade fossem impressos no monitor serial e no

LCD foi necessário um tratamento específico diretamente na linha de programação:

```
VA = map(analogRead (sinal_analog), 1023, 0, 0, 100),
```

onde o `analogRead` recebe os valores do sensor através da variável `sinal_analog` e o comando `map`, mapeia o valor total de 0-1023 fornecido pelo sensor de umidade, e é apresentado em número inteiro e impresso no LCD em percentual. O sensor hidrométrico é um componente que opera com VCC e GND de 5V de tensão elétrica, contem nele como conjunto módulo que permite regular o nível de umidade em absorção.

- **Módulo RTC DS1307**

O módulo RCT DS1307, com uma operação elétrica de 5V alimentado por uma bateria para manter seus dados atualizados é o componente que fornece ao sistema o date Time (data e hora) atualizado ou seja em tempo real e calendário completo, com mais de 56 bytes de SRAM, o componente foi implementado no projeto para possibilitar a sincronização e a programação da data e hora para irrigação.

- **Módulo ESP8266 ESP-01 de WI-FI**

É o módulo do padrão 802.11 g/b/n com CPU de 32Bits rondando 80Mhz, sua alimentação é de 3.3V. O módulo possibilita a criação de WebService e o acesso do sistema em longo alcance, o módulo permite que os dados coletados pelo sensor e fornecido pelo RTC (date Time) seja feito upload para um servidor Web, posteriormente ser acessado pelo qualquer dispositivo (computador e smartphone) conectado a Internet.

- **Relé**

É um componente simples com tensão de operação de 5V (VCC e GND), um controle de tensão de saída de até 250V AC ou 30V DC; máximo de carga suportado: 10A. o componente é acionado através de uma carga de 5V liberado pelas portas VCC e GND do Arduino. Ao receber carga externa de até 250V faz uma saída de carga capaz de acionar dispositivo que consome até 250V AC ou 30V DC de carga elétrica. Para este projeto ele aciona uma bomba de água que consome 12V ou 2A, o rele é acionado pelo modo de umidade do solo, caso o solo esteja seco (0 a 30% do nível de umidade) ou por modo agendando através de um módulo operacional do sistema usando botões ou agendamento no WebService. As duas *leds* compostas no relé mostram o status do módulo, vermelho indica o ON do relé quando recebe corrente elétrica e verde quando o modulo está em operação, nesse caso quando a irrigação está ativa.

- **Módulo I2C**

Funciona como adaptador para display LCD, permite conexão, mas fácil e econômica dos *jumers* e dos pinos do Arduino [10, 11], já que o módulo possui quatro (4) pinos de conexão com a placa (figura 5).

O módulo opera com tensão de 5V no VCC e GND, dois pinos, um pino analógico SDA e outro pino analógico SCL que informa a interface de comunicação. A utilização do módulo I2C economiza 12 *jumers* dos 16 pinos totais do LCD, o módulo vem equipado com um componente de ajuste de contraste que regula a luminosidade ou contraste do LCD, *leds* sinalizadores de conexão e comunicação, um jumper *backligh*

que controla a luz do fundo do LCD. I2C permite comunicação dos displays LCD de 16x2 ou de 20x4; neste projeto utilizamos um módulo I2C de endereço 0x3F. Com uso da *protoboard* deu de um jeito simples fazer a conexão entre os dois componentes, deixando de fora o gasto de 16 *jumers* para conexão direta do LCD e a placa Arduino.

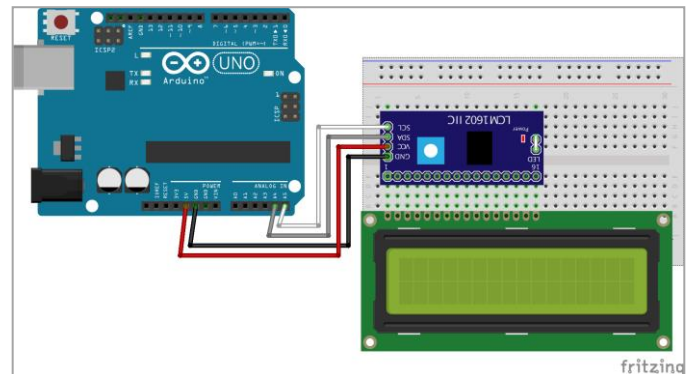


Fig. 5. Conexões para o módulo I2C

- **Display LCD**

Um display é visor monitor que interpreta os comandos de impressão de qualquer mensagem passado para ele. Para este projeto utilizamos um LCD de 16x2, (16 linhas e 2 colunas) que possui controlador HD44780, cor *backlight* azul e cor de escrita branca. O LCD tem operação de tensão de 5V, controlado pelo I2C para facilitar a conexão e manuseamento do componente. As informações de `dateTime` do módulo RTC, informações de status do solo fornecido pelo sensor de umidade do solo hidrométrico, através do nível de umidade são imprenso no display LCD, e através do módulo é possível usar o modo agendamento do sistema que contém MENU de operação para agendamento da hora de irrigação.

- **Botões**

Foi implementado três (3) botões físicos operacionais no circuito, cada um dos botões é responsável por uma determinada função. O primeiro botão, “*botao_up*”, tem como função incrementar valores, como: definir hora de irrigação e valor de umidade, o segundo botão, “*botao_sete*” localizado no meio dos três botões do projeto, é o botão que dá acesso a menu quando recebe o valor 1 como entrada, faz a seleção da opção desejada na lista de opções, e ativa as funções desejadas do menu. Ao ser pressionado o botão mostra um MENU com cinco (5) operações: (a) definir horário, (b) *turn off* sistema, (c) definir índice de umidade, (d) reinicializar programa, (e) modo de operação. O terceiro botão, “*botao_down*” tem como função decrementar ou reduzir valores incrementado por meio do “*botao_up*”.

- **Software de Apoio**

Quanto as tecnologias de software utilizadas no projeto temos como principal os sistemas de apoio ao desenvolvimento de código para Arduino, os sistemas de banco de dados e ferramentas de execução do servidor de comunicação para o módulo web.

Visual Studio Code v1.26.1 (Visual Studio Code, 2018): É um editor de código fonte gratuito que dá suporte a várias linguagens de programação. Roda no Windows, Linux e no macOS; é escrito em C++ e usa a API WIN32 pura e STL, que lhe dá alta velocidade de execução e um programa de tamanho bem reduzido.

PHP v5.4 (PHP, 2015): PHP Hypertext Preprocessor é uma linguagem de scripts de propósito geral que é especialmente adequado para desenvolvimento Web. É rápida, flexível e pragmática.

MySQL v5.5 (MySQL, 2015): É o Sistema Gerenciador de Banco de Dados de código aberto mais popular do mundo. Apoiado por uma comunidade ativa de desenvolvedores e entusiastas de código aberto é um banco de dados compatível com ACID (Atomicity, Consistency, Isolation and Durability) totalmente integrado e pode ser usado livremente em sua versão Community Edition.

• Software de apoio a prototipação

Um software do Arduino é uma IDE que permite a criação de Sketches para a placa Arduino a partir de uma base da linguagem de programação C/C++ ou LUA, mas que quando realizado o *upload* da IDE os códigos são compilados e enviado no armazenamento da placa para serem processado pelo microprocessador do Arduino. Basicamente o fluxo de desenvolvimento da parte de software ou automação da placa tem o seguinte comportamento:

1. Conexão da placa a uma porta do computador (USB);
2. Desenvolver um *sketch* com códigos para placa;
3. Fazer *upload* do *sketch* para placa utilizando um cabo USB;
4. Aguardar a reinicialização, após ocorrer a execução e termino do *sketch* criado.

Após o envio do *sketch* para Arduino for concluindo é excluída a necessidade de uma conexão contínua com um computador, a não ser que o computador seja usado também como fonte elétrica, porque a placa funciona como um computador independente com memória suficiente para armazenamento dos códigos, desde que seja ligado a uma fonte de energia.

A figura 6 mostra nitidamente a estrutura e a utilidade das duas funções principais do Sketch do IDE.

```

Projeto_SAPI-IoT §
1
2 int botao;
3 #define acender_verde 6
4 #define acender_vermelho 7
5
6 void setup() {
7
8   pinMode(botao, INPUT);
9   pinMode(acender_verde, OUTPUT);
10  pinMode(acender_vermelho, OUTPUT);
11
12 }
13
14 void loop() {
15
16   if(botao == 1){
17     digitalWrite(acender_verde, HIGH);
18   }
19   else if (botao == 2){
20     digitalWrite(acender_vermelho, HIGH);
21   }
22 }

```

Fig. 6. Estrutura de funções para o ciclo de vida de um componente

Ao ser executado os comandos do Sketch, o compilador fará uma leitura sequencial, após a leitura das variáveis e definições será executado a função *setup* uma vez, para determinar as configurações das portas (pinos) e a tarefa de cada variável e define declarado. Em seguida, a função *loop* que é um laço de repetição, repetidamente será executado, isso enquanto a placa estiver alimentada a uma fonte elétrica.

O exemplo da figura 6 mostra a função *loop()*, nela duas condições, *if()* e *else if()*, a variável *botao* através da porta 5 fará INPUT de qualquer valor, o qual será verificado pela condição caso o valor de entrada seja 1 acenderá a *led* verde conectado na porta (pino) 6, se o valor de entrada for 2 acenderá a *led* vermelha conectada no pino 7 do Arduino, se o valor de entrada for diferente de 1 ou 2 as *leds* se manterão apagadas. Para uma perspectiva completa do funcionamento e da utilidade do sketch a figura 7 mostra trecho dos códigos usado no desenvolvimento do sistema deste projeto.

```

Projeto_SAPI
251 //Cria um sensor de temperatura, sensor de umidade
252 if (valor_analogico > 30 && valor_analogico <= 50)
253 {
254   Serial.println("Status: Solo com umidade moderada"); digitalWrite(led_verde, HIGH);
255   //digitalWrite(pino_rele_bomba, LOW); digitalWrite(pino_rele_girvo, LOW);
256   lcd.setCursor(0,0); lcd.print("off"); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Verde");
257   lcd.setCursor(7,1); lcd.print(valor_analogico,1); lcd.setCursor(8,1); lcd.print("°C"); Serial.println(" ");
258 }
259
260 //Solo seco, acende led vermelho
261 if (valor_analogico <= 0 && valor_analogico <= 30)
262 {
263   Serial.println("Status: Solo seco: irrigação ativa"); digitalWrite(led_vermelho, HIGH);
264   digitalWrite(pino_rele_bomba, LOW); digitalWrite(pino_rele_girvo, LOW);
265   lcd.setCursor(0,0); lcd.print("o ativo");
266   lcd.setCursor(0,1); lcd.print(" "); lcd.setCursor(0,1); lcd.print("Seco"); lcd.setCursor(7,1); lcd.print(valor_analogico,1);
267   lcd.setCursor(8,1); lcd.print("°C"); Serial.println(" ");
268 }
269
270 else
271 {
272   digitalWrite(pino_rele_bomba, HIGH); digitalWrite(pino_rele_girvo, HIGH);
273 }
274 delay(1000);
275
276 }
277 void apagaLed() {
278   digitalWrite(led_verde, LOW); digitalWrite(led_verde, LOW); digitalWrite(led_vermelho, LOW);
279 }
280
281 void loop() {
282
283   valor_analogico = map(analogRead(AIN0), 0, 1023, 0, 100); //conversão para mostrar valor inteiro de unidade no lcd
284   unidade = (valor_analogico);
285   if (digitalRead(botao_sete) == LOW) { menu = 1; menu(); }
286   menu();
287   menu();
288 }

```

Fig. 7. Desenvolvimento do algoritmo para as funções *loop* de acordo com o tratamento para os indicadores *leds*

A Figura 7 apresenta o exercício constante da função *loop*, em destaque a função *menu()* que dá acesso a lista de opções do menu para modo de agendamento, ela e outras funções são chamadas dentro da função *loop* enquanto ela for executada. A função *menu*, através do valor lido pelo botão *sete* (valor 1) é chamada a função *Menu* que apresenta a lista de cinco operações: (a) definir horário, (b) *turn-off* sistema, (c) definir umidade, (d) reinicializar programa e (e) modo de operação, conforme descrito:

Definir Horário: Serve para definir um horário desejado para ativação do sistema de irrigação. Através do *dateTime* do RTC é possível determinar uma hora exata e o tempo de duração para irrigação.

Off Sistema: Desliga o sistema de irrigação no momento desejado, mesmo que o sistema esteja no modo de agendamento ativo. Também desliga o sistema após a umidade definida for alcançada. Neste caso a função *off sistema* é chamada por função *ContaTempo()*, que é a função que controla o tempo determinado pela função definir horário e faz uma interrupção usando o comando:

`Timer1.attachInterrupt(contaTempo)`

Definir Umidade: Determina a umidade desejada para o alcance da irrigação, ou seja, a irrigação se manterá ativa até a umidade definido for alcançada.

Zerar Programa: Zera o modo de agendamento, horas já definidas, umidade já definida. O modo zerar permite que os modos sejam zerar para posterior fazer novo agendamento.

Modo de Operação: Ativa a operação do sistema, ou seja, após definir horário e definir umidade desejada o modo de operação ativa a operação do sistema.

VI. RESULTADOS OBTIDOS

Atualmente o projeto se encontra na fase de validação do protótipo que representa o modelo proposto. Este ambiente é composto por uma modelagem customizada, componentes de automação integrado e operacional, e de sensores que simulam canais de alimentação de informações para decisões de execução.

Esta fase de avaliação conta com a participação de *stakeholders* multifuncionais reais, entre eles: usuários produtores, agrônomos e analistas de sistemas. Entre outros objetivos, a fase de objetiva validar as configurações dos sensores como base de tomada de decisão e, a partir destes resultados, indicar melhorias novas configurações de acordo com um comportamento mais real. Em paralelo à fase de validação, temos também em andamento a finalização do módulo web de controle. Estes módulos permitirão tanto a configuração para agendamentos para execução do processo quanto permitindo informações estatísticas de leitura e execução do sistema.

A figura 8 representa graficamente o processo como um todo ao longo de um fluxo de execução do protótipo obtido e em fase de teste.

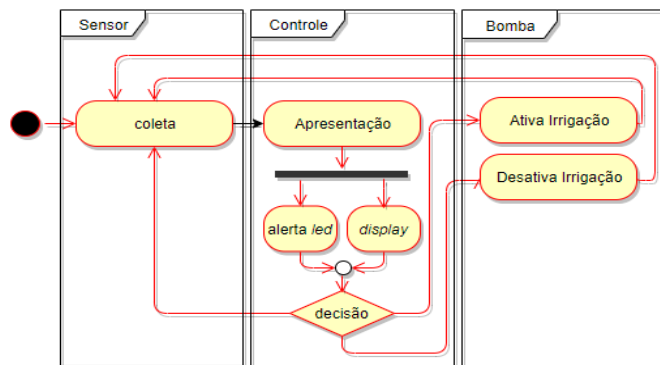


Fig. 8. Representação esquemática da proposta para a estrutura do pivô de irrigação

Basicamente o processo é executado em *loop*. Na primeira etapa do processo o dispositivo de coleta sensorial é responsável por identificar a taxa de umidade no solo e enviar pra central de automação. Esta, por sua vez, dispara sinais para os dispositivos de apresentação: tanto para os *leds* de alerta, quanto para o *display* de apresentação de resultado. Para apresentação os dados coletados são trabalhados conforme o algoritmo de tratamento, que enquadra os valores obtidos dentro das taxas de porcentagem 0 a 100 por cento referente a sensação do senso comum de umidade.

Após apresentação dos dados, a central de automação, segundo configurações de tratamento, toma a decisão de hibernar até a próxima leitura ou disparar comandos para a bomba de irrigação. Dependendo dos valores recebidos e do *status* atual da bomba, este comando pode ser de ativação ou desativação.

A figura 9 apresenta o módulo de automação como resultado obtido e seus componentes de circuitos integrados responsáveis pelo controle do que vem a ser a central de ativação automática do processo de irrigação.

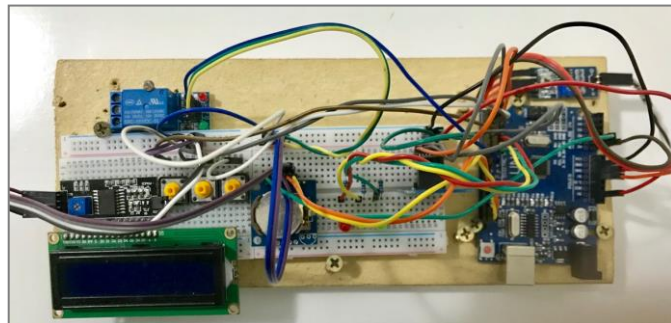


Fig. 9. Módulo central do processo de controle

Este módulo é o principal componente do projeto. É ele que centraliza o recebimento das leituras de umidade, toma a decisão de ativar ou interromper a bomba de irrigação de acordo com os valores de configuração pré-estabelecidos. Este módulo também possui um dispositivo de apresentação por *display* para facilitar a interação humana com o componente.

A figura 10 demonstra o projeto do protótipo executável de uma versão inicial de teste para ativação das funcionalidades do módulo de automatização por Arduino. Através da interface web do SAPI o usuário pode consultar leituras coletadas, configurar um algoritmo de atuação do pivô de irrigação, especificar ciclos para tornar esse processo repetitivo, ou até ativar ou desativar o processo de uma forma interativa.



Fig. 10. Protótipo do módulo web de configuração e ativação

A partir deste módulo web o operador pode interferir no processo automatizado de execução. O módulo web tem o papel de apresentar dados coletados, apresentar de uma forma

mais amigável e de permitir o agendamento de acionamentos do processo.

- **leitura dos índices de umidade coletados:** além dos dispositivos de apresentação de dados coletados apresentados no nível de circuito (*display* e *leds*), o sistema web permite que o usuário visualize as informações de coleta diretamente na interface web, provendo ao técnico operador um ambiente mais amigável para consultar os dados.
- **agendamentos de ativação:** a partir do sistema web, o operador do sistema tem a permissão de configurar os pontos de ativação do sistema, por exemplo, indicando horas e ciclos de repetição para o processo (figura 11).
- **ativação e interrupção do processo:** uma vez necessário o operador pode, através do módulo web, iniciar imediatamente a execução da irrigação. Também é possível interromper um processo já iniciado ou interromper um agendamento qualquer.

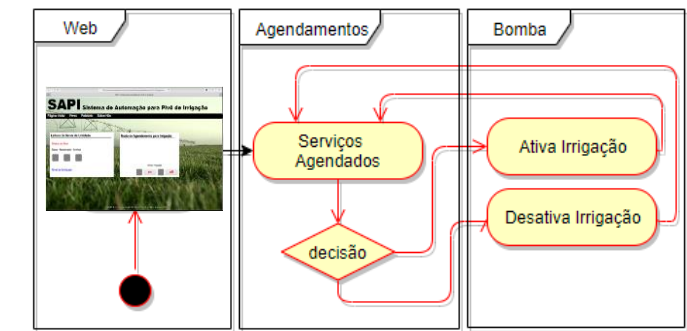


Fig. 11. Fluxo do processo a partir dos agendamentos

O usuário também poderá, em uma próxima versão, realizar análises de informações coletadas de acordo com o comportamento do pivô de acordo com cada leitura e execução do dispositivo apresentadas tabela de históricos e em gráficos.

A. Validação dos resultados parciais

Além da exploração do estudo de caso como uma base para consideração de problemas e requisitos, esta convivência com o mundo real permitiu uma validação mais assertiva dos resultados obtidos. Desta forma, o protótipo construído foi submetido a uma avaliação de especialistas, que além de apontarem grandes benefícios, também levantaram possíveis problemas com a implantação do sistema.

Entre as vantagens possíveis com a implantação da proposta, o sistema realmente atende os principais objetivos quanto a redução da carga de trabalho manual, eliminação de atividades repetitivas e dos processos de medição. Muitas das responsabilidades humanas podem ser integralmente substituídas ou melhoradas com a implantação do sistema.

Ente os problemas apontados, a maioria deles já eram considerados e seguem sendo trabalhados em desenvolvimento para uma próxima versão do protótipo, tais como, a

possibilidade de configuração por tipo específico de produção e a interação por interface móvel, do tipo *smartphone*.

Quanto melhorias, esta avaliação apontou que uma possível integração com sistemas públicos de previsões do tempo poderia trazer muitos ganhos ao sistema. por exemplo, na eminência de chuva em um curto espaço de tempo, o sistema inteligente poderia adiar ou até cancelar um ciclo de irrigação. Esta funcionalidade poderia, de imediato contribuir com redução de esforço, energia, água, permitindo um projeto mais sustentável.

Contudo, um dos problemas identificados ainda não era considerado pelo projeto, e deve, necessariamente, ser incluído como funcionalidade tratada em versões futuras do projeto. Este problema é relacionado a profundidade das leituras realizadas, ou seja, dependente do tipo de cultura, a amplitude de leitura da umidade deve ser diferente. Para determinados produtos a taxa de umidade deve ser relativa a uma profundidade mais rasa, para outras mais profunda. E esta diferenciação não estava sendo considerada pelo algoritmo de tratamento.

A tabela 1 resume os principais apontamentos identificados ao longo da etapa de validação da proposta por especialistas, produtores e potenciais operadores do sistema.

TABELA 1 PROBLEMAS IDENTIFICADOS APÓS PROCESSO DE VALIDAÇÃO		
Apontamento	Avaliação	Feedback
Configuração e agendamento por tipo específico de produção	Melhoria. Permite flexibilidade das programações e agendamentos	Em desenvolvimento
Ativação e configuração por interface móvel (<i>smartphone</i>)	Melhoria. Facilita a manipulação em campo	Projetado
Níveis de profundidade das taxas de umidade por tipo de produto ou classificação do solo	Problema para uma versão produção	Correção programada
Integração com sistema de previsão de tempo	Melhoria. Otimiza o processo, reduz gastos e possibilita um comportamento mais sustentável	Em análise

Conforme a tabela apresentada (tabela 1) “apontamentos” referem-se aos principais problemas identificados durante as sessões de validação dos resultados parciais obtidos; “Avaliação” é o tratamento ou classificação atribuído, podendo ser uma melhoria ou um problema para o projeto; E por fim, “feedback” refere-se à negociação definida entre os envolvidos no projeto, podendo ser: uma característica que já está em produção na versão corrente (Em desenvolvimento), uma funcionalidade já definida mas que ainda não está em desenvolvimento (Projetada), uma melhoria que se julgou importante mas não obrigatória para o projeto em andamento (Em análise) ou uma correção obrigatoriamente necessária para uma futura implantação do projeto (Correção programada).

VII. CONCLUSÃO

A realização deste trabalho vem permitindo uma real e rica experiência de integração entre as áreas de computação e agronomia. Apesar das várias dificuldades enfrentadas ao considerar um modelo real como estudo de caso, os resultados parciais encontrados têm sido bastante satisfatórios. O modelo encontrado e representação das informações através de um ambiente mais amigável constituem em uma apresentação mais estimulante para usuários que até então desconsiderava o uso deste tipo de ferramenta ao manipular mecanismos motores na lida com o processo de produção.

A conclusão do trabalho é uma contribuição direta para área de computação, mas também se preocupa com resultados voltados as problemas, desafios e necessidades reais de produtores agrícolas. Tal envolvimento e colaboração é possível a partir de parcerias de pesquisas junto empresas de tecnologia atuante no mercado brasileiro e angolano, que permitem, além de outros benefícios, a possibilidade de um ambiente de estudo de caso para levantamento de requisitos, orientações especializadas e, principalmente, laboratórios para testes do protótipo construído.

VIII. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais a empresa angolana Kimby TI Soluções Inteligentes aos incentivos técnicos e de pesquisa, e a cooperativa de hortifrutigranjeiros de São Paulo que colaborou como estudo de caso para o trabalho. Tais parcerias permitiram o provimento prático e de infraestrutura para realização deste projeto. Estas colaborações têm sido essenciais para o entendimento do contexto, aprendizagem sobre necessidades reais e conhecimento de problemas específicos e rotineiros em um ambiente de produção agrícola.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. Evans. "A internet das coisas como a próxima evolução da internet está mudando tudo: auxílio para a sua estruturação". White Paper. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). 2011.
- [2] H. Fakhurddin. "Smart Agriculture: 13 Trends To Watch Out For". Teknowledge Software [online] Disponível pela web em <http://teks.co.in/site/blog/smart-agriculture-13-trends-to-watch-out-for/>. Acessado em Jan 2018.
- [3] Fritzing. Eletronics Made Easy; Disponível na web em <http://fritzing.org/home/> acessado em Julho de 2018.
- [4] J. Gomes e A. R. Cabral. "A. Agricultura Inteligente, ou Agricultura de Precisão". Glandrive Artigo Online [online] Disponível na web em: <https://www.glandrive.pt/agricultura-inteligente-ou-agricultura-de-precisao-a-tecnologia-ao-servico-da-agricultura-agricultura-high-tech/> Acessado em Jan 2018.
- [5] Y. Inamasu, e A. C. de C. Bernardi. "Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar". Capítulo de livro Agricultura de Precisão. 2014.
- [6] J. Kaplan. "Artificial Intelligence: Think Again". Communications of the ACM January 2017, Vol. 60 No. 1, Pages 36-38, 10.1145/2950039. 2017.
- [7] Minagri. "Resultados da Campanha Agrícola". Relatório Técnico Agrícola - Ministério da Agricultura Republica de Angola. Janeiro, 2009.
- [8] M. Schmidt. "Arduino – A Quick-Start Guide"; The Pragmatic Programmers, ISBN 978-1-93435-666-1. 2011;
- [9] A. M. Silva e A. A. de Aragão E. "Ambiente facilitador de decisões agrícolas para produtores Angolanos baseado em informações geográficas e técnicas de Business Intelligence". XSBI Agro, Congresso Brasileiro de Agroinformática e III SBI Agro IC. 2015.
- [10] Arduino Tutorial. "Site oficial do Arduino com Tutorial com exemplos das funções do Core e Libraries do Arduino". Material Online Oficial [online] disponível na web em: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/HomePage/> Acessado em 17 de Maio de 2015.
- [11] Arduino Tutorial WebClient. "Site oficial do Arduino com portfólios de exemplos com requisições HTTP usando o Ethernet Shield. Material Online Oficial. Disponível na web em: <http://www.arduino.cc/en/Tutorial/WebClient>. Acessado em 17 de Maio de 2017.