

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS DE NATAL
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO**

PAULO SÉRGIO MOURA DE OLIVEIRA

**UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE IRRIGAÇÃO BASEADO NO
MÉTODO HARGREAVES SAMANI**

NATAL/RN

2018

PAULO SÉRGIO MOURA DE OLIVEIRA

**UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE IRRIGAÇÃO BASEADO NO
MÉTODO HARGREAVES SAMANI**

Monografia apresentada à Universidade do Estado do Rio Grande do Norte – UERN como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Felipe Denis Mendonça de Oliveira

**NATAL – RN
2018**

© Todos os direitos estão reservados a Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do(a) autor(a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu(a) respectivo(a) autor(a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

Catálogo da Publicação na Fonte.
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

O48p Oliveira, Paulo Sérgio Moura de
UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE
IRRIGAÇÃO BASEADO NO MÉTODO HARGREAVES
SAMANI. / Paulo Sérgio Moura de Oliveira. - Natal, 2018.
51p.

Orientador(a): Prof. Dr. Felipe Denis Mendonça de
Oliveira.

Monografia (Graduação em Ciência da Computação).
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

1. Automação. 2. Sistemas Embarcados. 3. Irrigação.
4. Hargreaves Samani. I. de Oliveira, Felipe Denis
Mendonça. II. Universidade do Estado do Rio Grande do
Norte. III. Título.

PAULO SÉRGIO MOURA DE OLIVEIRA

UM PROTÓTIPO DE SISTEMA AUTOMATIZADO DE IRRIGAÇÃO BASEADO NO
MÉTODO HARGREAVES SAMANI

Aprovado em: ___/___/___

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Felipe Denis M. de Oliveira (Orientador)
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Prof. Dr. Isaac de Lima Oliveira Filho
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Prof. Me. André Gustavo Pereira da Silva
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte

Dedico este trabalho aos meus pais
MÁRIO SÉRGIO e MARLI MOURA, que
sempre me apoiaram nos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por essa conquista e por ele ter me dado essa oportunidade; aos meus familiares que me apoiaram e ajudaram a chegar até aqui e realizar meu sonho; a minha namorada Wanessa pela paciência que teve comigo, ajudando nas horas que mais precisava; ao corpo docente da UERN pelo conhecimento compartilhado; ao bibliotecário Neto da UERN por ajudar na correção e ajuste do texto; aos meus amigos desde o início do curso que auxiliaram e incentivaram neste trabalho, além das companhias e alegrias durante a graduação.

“Não é o crítico que conta; Não o homem que aponta como o homem forte tropeça, ou onde o fazedor de ações poderia ter feito melhor. O crédito pertence ao homem que está realmente na arena, cuja face está manchada pela poeira e suor e sangue; Que se esforça valentemente; Que erra, que “quase chega lá” repetidamente, porque não há nenhum esforço sem erro ou falha;

Mas quem realmente se esforça para fazer as obras; Que conhece grande entusiasmo, e grande devoção; Que se consome numa causa digna; Que, no melhor dos casos, conhece no final o triunfo da alta realização e que, no pior dos casos, se falhar, pelo menos falhará tendo ousado muito, de modo a que o seu lugar nunca estará com aquelas almas frias e tímidas que não conhecem a vitória ou a derrota.”

Theodore Roosevelt, *The man in the arena* (1910)

RESUMO

Este trabalho desenvolve um protótipo de sistema automatizado de irrigação baseado no método Hargreaves Samani que utiliza como parâmetro temperaturas para determinação do intervalo de rega, evitando, assim, desperdícios na irrigação, calculando a estimativa de quantidade perdida de água pela planta e fornecendo comodidade e baixo custo para o agricultor em sua propriedade. Para o desenvolvimento desse protótipo utilizou-se uma placa tipo Raspberry Pi no qual irá estimar a quantidade de água evaporada na planta utilizando o método Hargreaves Samani, com auxílio de dois sensores, repondo água através do acionamento de uma bomba quando o nível de humidade estiver no limite da necessidade da planta. Durante o teste, o sistema se mostrou eficiente, irrigando a planta quando estava chegando no ponto de murcha sustentando-lhe a vitalidade. Conclui-se que o protótipo do sistema mostrou um desempenho razoável podendo operar um serviço WEB junto com um serviço de irrigação dentro de um pequeno computador, podendo ser utilizado em uma grande quantidade de culturas com a eficiência de irrigar só a quantidade de água necessária.

Palavras-chaves: Automação. Sistemas Embarcados. Irrigação. Hargreaves Samani.

ABSTRACT

This work develops a prototype of an automated irrigation system based on the Hargreaves Samani method that uses temperatures parameters to determine the irrigation interval, thus avoiding waste in the irrigation, calculating the estimated amount of water lost by the plant and providing comfort and low cost to the farmer on his property. For the development of this prototype a board type Raspberry Pi was used in which it will estimate the amount of water evaporated in the plant using the Hargreaves Samani method, with the aid of two sensors, to replenish water through the pump drive when the humidity level is in the limit of the need of the plant. During the test, the system proved to be efficient, irrigating the plant when it was reaching the point of wilt sustaining its vitality. It is concluded that the prototype of the system showed a reasonable performance, being able to operate a WEB service together with an irrigation service inside a small computer, being able to be used in a large number of crops with the efficiency of irrigating only the amount of water required.

Keywords: Automation, Embedded Systems, Irrigation, Hargreaves Samani.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Sistema por superfície..... | 17 |
| Figura 2. Sistema de aspersão portátil com laterais móveis | 18 |
| Figura 3. Sistema de irrigação autopropelido..... | 19 |
| Figura 4. Sistema pivô central | 19 |
| Figura 5. Sistema de irrigação localizada..... | 20 |
| Figura 6. Sistema de Subirrigação hidroponica..... | 21 |
| Figura 7. Raspberry Pi Model B..... | 26 |
| Figura 8. DHT11 sensor de umidade e temperatura..... | 26 |
| Figura 9. Sensor de Umidade do Solo Higrômetro..... | 27 |
| Figura 10. Módulo Relé 5V de 1 canal | 27 |
| Figura 11. Pinagem da Raspberry | 28 |
| Figura 12. Ligação dos jumpers | 29 |
| Figura 13. O diagrama de entidade relacionamento..... | 30 |
| Figura 14. Fluxograma do funcionamento do sistema..... | 35 |
| Figura 15. Envio API login..... | 36 |
| Figura 16. Resposta API login | 36 |
| Figura 17. Envio do cadastro novo usuário | 37 |
| Figura 18. Retorno se foi cadastrado | 37 |
| Figura 19. Envio para exclusão da conta..... | 38 |
| Figura 20. Resposta da conta foi deletada | 38 |
| Figura 21. Tela de login | 39 |
| Figura 22. Tela de cadastro da área a ser cultivada..... | 40 |
| Figura 23. Tela de Monitoramento | 40 |
| Figura 24. Comandos dos Scripts..... | 42 |
| Figura 26. Pé de Feijão..... | 43 |
| Figura 27. Bomba Aquática..... | 44 |

Figura 28. Ambiente de testes44

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Preços dos materiais..... | 25 |
| Tabela 2. Kc médios para cada estado de desenvolvimento..... | 31 |
| Tabela 3. Ra - Radiação solar no dia 15 de cada mês | 32 |
| Tabela 4. Previsão supondo que o solo seja arenoso seu limite ETca é 10 mm. | 33 |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 | MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA | 11 |
| 1.2 | OBJETIVO GERAL | 11 |
| 1.2.1 | Objetivos Específicos | 12 |
| 1.3 | METODOLOGIA | 12 |
| 1.4 | ESTRUTURA DO TRABALHO | 13 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 14 |
| 2.1 | RELAÇÃO HÍDRICA SOLO-PIANTA-ATMOSFERA | 14 |
| 2.2 | TRANSPIRAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO | 15 |
| 3.2.1 | Transpiração | 15 |
| 3.2.2 | Evapotranspiração | 15 |
| 2.3 | MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO | 16 |
| 3.3.1 | Sistema por superfície | 17 |
| 3.3.2 | Sistema por aspersão | 17 |
| 3.3.3 | Sistema de irrigação localizada | 20 |
| 3.3.4 | Sistema de subirrigação | 20 |
| 2.4 | FATORES IMPORTANTES NA ESCOLHA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO | 21 |
| 2.5 | HARGREAVE SAMANI COM MÉTODO DE ESTIMA O ETO | 22 |
| 2.6 | TRABALHOS RELACIONADOS | 23 |
| 3 | DESENVOLVIMENTO | 25 |
| 3.1 | MATERIAIS UTILIZADOS | 25 |
| 3.2 | MONTAGEM DO HARDWARE | 27 |
| 3.3 | DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO | 29 |
| 3.3.1 | Backend | 29 |
| 3.3.2 | Frontend | 39 |
| 4 | RESULTADOS | 43 |
| 5 | CONCLUSÃO | 47 |
| 5.1 | TRABALHOS FUTUROS | 48 |
| | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 49 |

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é o setor da economia que mais consome água - cerca de 70% - segundo o Relatório das Organização das Nações Unidas – ONU (2016), e quase a metade dela é desperdiçada conforme o Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - (FAO, sigla do inglês *Food and Agriculture Organization*) - (PENA, 2016).

Deve-se a isso, o mau uso e pouco controle da quantidade de água que vai precisar irrigar nas lavouras. A cada dia a população vem tentando racionalizar mais o consumo excessivo de água que é indispensável para vida humana. Isso traz consigo a necessidade de alternativas para seu uso devidamente correto, em virtude do grande conhecimento que a sociedade tem agora, pelo uso ecológico desse recurso natural tão precioso, considerando que apenas cerca de 1% da água em todo mundo está acessível para consumo, segundo WWF (2017).

Para que isso ocorra adequadamente, técnicos e empresas de grande porte utilizam mecanismos que ajudam da melhor forma a fazer o manejo de irrigação, almejando redução no gasto de água. Esse mecanismo utiliza informações climáticas, como a umidade do ar, temperatura e radiação que são fatores que influenciam na transpiração da planta, pois são responsáveis por induzir os estômatos, que são células reguladoras da respiração contidas nas folhas da planta responsáveis por controlar a passagem de gases e água, sendo assim um facilitador da perda de água da planta para o meio. Medição da umidade do solo também é um outro mecanismo utilizado para determinar o quanto a planta necessita de água. Assim, esses mecanismos trabalhando em conjunto com um sistema de irrigação podem trazer menor desperdício de água.

Nesse contexto, esse trabalho traz o protótipo de um sistema automatizado de irrigação, concebido para ser de baixo custo e fácil manutenção, visando menos a necessidade de um técnico, dando possibilidade de aquisição de tal sistema aos pequenos agricultores. Para esse sistema automatizado estimar qual é a necessidade hídrica da planta, foram utilizados dois sensores. O primeiro coleta informações climáticas necessárias para verificar a Evapotranspiração da Cultura (ETc), que é a

evaporação da água contida no solo e a perda de água pela transpiração da cultura. O outro sensor coleta informações para verificar a umidade no solo. Essas informações possibilitam que o sistema defina quanto e quando irrigar, evitando o desperdício, fornecendo à planta a quantidade certa de água de acordo com a sua necessidade.

O protótipo contará com uma interface *web* para regulação e possível gerenciamento do sistema pelo usuário, facilitando o acesso em qualquer lugar.

1.1. MOTIVAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A crise hídrica pelo mundo vem tomando várias regiões nos últimos anos, segundo dados da pesquisa da *World Resources Institute* - WRI (2015). Tal pesquisa indica que mais de 30 países enfrentarão uma grande crise hídrica até o ano 2040. Uma dessas regiões que vem sofrendo essa crise no nosso país é a região nordeste que, desde 2012, vem resistindo ao quadro de seca (PORTAL G1, 2017), causado pela baixa precipitação pluviométrica e a consequente ausência de fontes hídricas.

Isso traz dificuldade na vida de qualquer pessoa em relação a sua sobrevivência, afetando também os pequenos agricultores que não dispõem de muitos recursos, pois a água é seu principal meio para produção agrícola e animal. Devido a isso, esse trabalho propõe desenvolver uma forma de racionalizar a utilização da água na agricultura. Assim, justifica-se o uso da tecnologia como auxiliar na criação de um sistema automático de irrigação de baixo custo, considerando o baixo poder aquisitivo desses pequenos agricultores, atendendo principalmente as regiões onde água não é tão abundante, tendo como objetivo melhorar o uso racional da mesma.

1.2. OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é criar o protótipo de um sistema de irrigação automatizado para o uso adequado da água em diferentes culturas agrícolas, proporcionando um o uso eficiente e racional da água, ou seja, liberando somente o essencial para nutrir a planta.

1.2.1. Objetivos Específicos

Usar o poder de processamento da placa Raspberry Pi modelo B, que será utilizado para coletar dados obtidos de sensores e de variáveis de entrada dependendo da região ou do cultivar fazendo com que a bomba d'água seja ou não acionada em um determinado dia e horário, funcionando por um determinado tempo até atingir o que a planta necessita sem a interferência do homem.

Outro objetivo é construir o protótipo de um sistema que seja de baixo custo e fácil manuseio por pequenos agricultores para que possibilite o uso em suas propriedades, pois, precisam dessa tecnologia para que tenham melhor proveito do recurso hídrico e resultados excelentes nas suas plantações.

Por fim o ultimo objetivo é a criação de um sistema *web* para a interface com o usuário, obtendo as informações da cultura necessárias.

1.3. METODOLOGIA

Este projeto se divide em três etapas. A primeira será voltada a pesquisa sobre irrigação de culturas, na qual busca a escolha de um método de irrigação adequado para ser automatizado, o hardware a ser escolhido que atenderá as necessidades deste projeto, quantos e quais sensores utilizar e por último qual linguagem trabalhar.

A segunda etapa é na construção e programação do protótipo do sistema, vendo se os valores dos sensores estão sendo capturados e se os cálculos estão sendo feitos corretamente para obtenção da resposta para irrigar ou não.

A terceira e última etapa é a instalação protótipo do sistema autônomo para realização de testes para verificar seu funcionamento e observar se os resultados obtidos foram satisfatórios.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta monografia é composta de cinco capítulos, começando com a Introdução, que aborda o tema do projeto, a justificativa para a escolha do mesmo e os objetivos a serem alcançados, além da descrição de sua estrutura.

No segundo capítulo, Referencial Teórico, trata-se de um estudo de conceitos teóricos afim de facilitar o entendimento geral do projeto, mostrando como a planta perde água e a estimativa dessa perda, bem como a definição dos métodos de irrigação e fatores na escolha deste.

O terceiro capítulo, Desenvolvimento, apresenta detalhadamente como foi desenvolvido o protótipo do sistema automatizado de irrigação, desde os materiais comprados, até a implementação do *frontend* e do *backend*.

O quarto capítulo, Resultados, apresenta os dados obtidos após realização de testes em um ambiente real e as dificuldades encontradas.

O quinto capítulo, Conclusão, aborda os resultados obtidos e as contribuições deste trabalho para a ciência e tecnologia. Sugestões para trabalhos futuros também são apresentadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é facilitar o entendimento e desenvolvimento do projeto, apresentando os conceitos teóricos e fornecendo fundamentos adequados ao trabalho. O entendimento dos tópicos apresentados nesse capítulo é de fundamental importância para o melhor entendimento do sistema proposto.

2.1. RELAÇÃO HÍDRICA SOLO-PLANTA-ATMOSFERA

Segundo Feitosa (2007) a água é a substância mais importante da natureza, podendo ser encontrada nos estados sólido, líquido e gasoso em nosso planeta. As conseqüentes mudanças de temperatura, favorece as constantes transformações dos estados da água.

O estado gasoso na atmosfera forma nuvens, podendo voltar ao estado líquido sob forma de chuva ou sólido na forma de granizo ou neve. Na região nordeste do Brasil, a principal forma de precipitação é a chuva. Ao atingir o solo, grande parte se infiltra, preenchendo os poros e outra parte escorre pela superfície. Esse escoamento superficial ocorre pelo declive no solo ou mesmo suas propriedades, que não permite uma rápida infiltração.

A água é armazenada no solo em seus poros, que são pequenos orifícios que facilita a disponibilidade de água para a planta. Os tamanhos dos poros podem variar a depender do tipo de solo. Quanto maiores os poros, maior sua capacidade de campo em relação a outro solo.

As plantas mantem um processo de absorção da água pelo seu sistema radicular, na qual passa pelo seu sistema vascular, levando os nutrientes que precisam até chegar as folhas onde realiza seu procedimento de respiração descritos nas próximas subseções. E por fim, a água volta a atmosfera na forma gasosa.

2.2. TRANSPIRAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO

Uma parte da água que cai sobre a forma de chuva na superfície terrestre, retorna a atmosfera por meio da perda de água no solo e pela respiração das plantas.

3.2.1 Transpiração

Feitosa (2007) afirma que a transpiração é a forma final da movimentação da água nas plantas. Ocorre quando a água passa pelas superfícies celulares para espaços intercelulares e depois é absorvida para atmosfera.

Pode ocorrer duas formas de transpiração na planta: uma através dos estômatos e outra através da cutícula. A grande parte da perda de água é realizada por difusão nos poros do aparelho estomatal e apenas 5% pela cutícula. Isso porque os estômatos estão mais presentes na superfície das folhas enquanto a cutícula serve como uma barreira impedido a perda de água.

O processo de transpiração auxilia no transporte de água e minerais para as partes aéreas da planta e assim colaboram também para o processo de fotossíntese, na qual a evaporação de uma grama de água gera cerca de 2,4 a 2,5 de energia para planta.

3.2.2 Evapotranspiração.

A evapotranspiração consiste na perda de água para atmosfera no estado de vapor, em uma superfície de vegetação, combinando a forma de transpiração das plantas e evaporação da água no solo.

Segundo Feitosa (2007) ela se subdivide nas seguintes classificações:

A evapotranspiração Potencial (ETP) é a máxima quantidade de água perdida na forma de vapor, em uma extensão com meio contínuo de vegetação, em uma dada

circunstância climática e ótimas condições de umidade do solo.

A evapotranspiração de Referência (ET_o), segundo o que foi definido por Doorenbos (1977), é a quantidade de água evaporada em uma área gramada de crescimento ativo de 8 a 15 cm.

Evapotranspiração da Cultura (ET_c), determina a quantidade de água evaporada em uma cultura agrônômica, desenvolvida em uma área cultivada, com um ou mais hectares, sob ótimas condições de solo, água e fertilizantes. E sendo livre de doenças, dada pela seguinte equação:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (1)$$

Onde K_c representa o coeficiente da cultura, que é a relação de evapotranspiração da cultura, indicando o quanto a planta irá perder de água. O K_c varia de acordo com o tipo de cultura, o estado de desenvolvimento da planta e a região da área a ser cultivada, pois o tipo de solo e clima também influenciam.

Evapotranspiração Real (ET_R): é a quantidade de água evaporada da superfície foliar, independentemente de outras condições.

A Evapotranspiração de Oásis (ET_O): é a quantidade de água evaporada da superfície vegetada, sob condição adicional de energia por advecção (vento seco), em uma área irrigada adequadamente.

2.3. MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO

A irrigação abrange um conjunto de técnicas com a finalidade disponibilizar água para planta, corrigindo a distribuição natural das chuvas. A tecnologia atualmente disponível leva aos produtores sistemas que automatizam a sua produção. Em conjunto com boas práticas de cultivo e um manejo adequado, acarretarão boas condições para que a cultura se desenvolva adequadamente.

Existem basicamente quatro métodos de irrigação: superfície, aspersão, localizada e subirrigação, podendo ser empregado dois ou mais métodos em um sistema de irrigação (FRIZZONE, 2017).

3.3.1 Sistema por superfície

O sistema de irrigação por superfície, tem como sua principal característica a distribuição da água em áreas irrigadas, empregando a superfície do solo por meio do escoamento gravitacional (Figura 1), permitindo um escoamento contínuo, sem erosão. A principal vantagem de utilizar esse sistema, é a sua simplicidade (ferramentas simples e baixo consumo de energia) comparados a outros sistemas, além, de não requerer um alto investimento, por ter um menor custo fixo e operacional. Porém depende de condições que podem ser limitantes, como a topografia do terreno e um manejo mais complexo.

Figura 1. Sistema por superfície



Fonte: agencia.cnptia.embrapa.br

3.3.2 Sistema por aspersão

Os sistemas de aspersão, lançam jatos de água para o ar que caem sobre a cultura simulando a chuva. A principal vantagem desse sistema é a facilidade de adaptação a topografia do terreno, uma distribuição eficiente de água comparado com o sistema de superfície, sendo de fácil transporte e pode ser totalmente automatizado. Contudo, esse sistema apresenta algumas desvantagens: possui custos de instalação

e operação elevados quando comparado com o sistema de superfície; podem sofrer influência das condições climáticas como o vento e umidade relativa; desgaste do equipamento na utilização de água salgada e; podem interferir no tratamento fitossanitário como aparecimento de doenças (EMBRAPA - MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO, 2018).

Os principais sistemas por aspersão empregados, são:

a) Aspersão convencional: Normalmente é um sistema composto por motobomba, tubulações, aspersores e acessórios, podendo ser fixo, semifixo ou portátil, tendo alguma parte fixa desde que seja da tubulação, a depender do grau de movimentação.

Figura 2. Sistema de aspersão portátil com laterais móveis



Fonte: agencia.cnptia.embrapa.br

b) Autopropelido: O sistema é composto por canhão sobre um carrinho lançando um jato muito forte de água, deslocando-se pela área irrigada longitudinalmente, no qual é acoplado em um hidrante por uma mangueira flexível. A principal desvantagem desse sistema é o gasto elevado com energia e por sofrer com interferência do vento. Por formar gotas de água muito grandes, pode provocar a queda das flores e pólen de algumas culturas.

Figura 3. Sistema de irrigação autopropelido



Fonte: agencia.cnptia.embrapa.br

c) Pivô central: É um método de irrigação por aspersor móvel com alto grau de automação. Consiste em torres com grandes laterais metálicas, onde possui uma tubulação com vários aspersores, que gira em torno de um pivô com auxílio de um motor. Quanto a estrutura do pivô central é muito longa, e não se tem um dimensionamento da taxa de infiltração da água no solo, pode apresentar problemas de erosões.

Figura 4. Sistema pivô central



Fonte: agencia.cnptia.embrapa.br

3.3.3 Sistema de irrigação localizada

No método de irrigação localizada, em geral, a água é aplicada apenas em uma fração do sistema radicular da planta. Consegue variar sua área molhada de 20% a 80% da área total, representando em uma economia de água. Pode manter o controle alto de umidade, desde que com irrigações frequentes e em pequenas quantidades, oferecendo uma condição favorável para cultura. Apresenta um custo inicial alto, mas requer emprego de menor mão de obra operacional.

Figura 5. Sistema de irrigação localizada

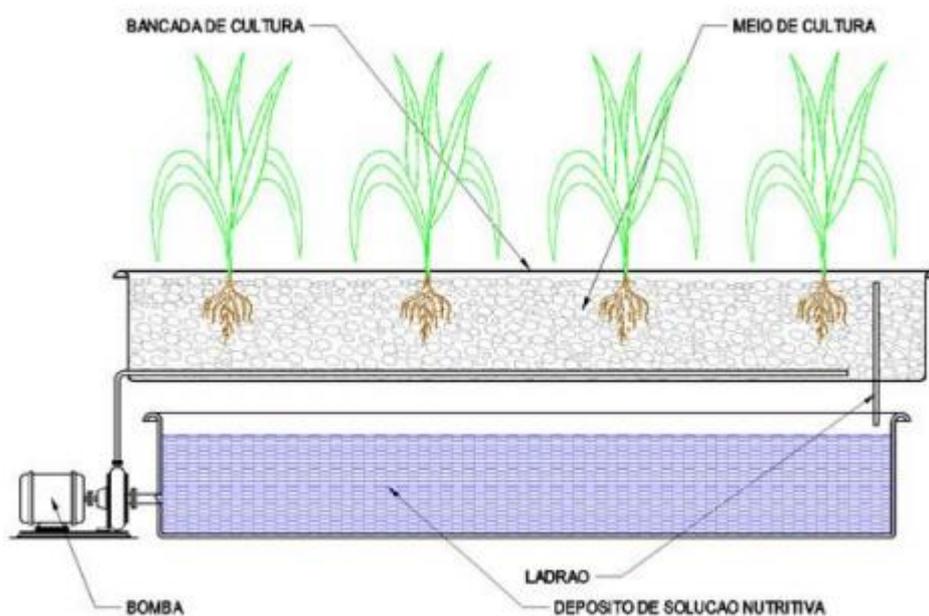


Fonte: sfagro.uol.com.br

3.3.4 Sistema de subirrigação

Nesse método, busca utilizar o lençol freático com uma profundidade adequada, capaz de permitir fluxo de água ao sistema radicular da cultura ou pode ser feito artificialmente através de uma bancada com um recipiente contendo uma solução aquosa nutritiva, em que as plantas ficam suspensas, tendo somente as raízes tocando na solução. Esse tipo de subirrigação é chamado de hidroponia.

Figura 6. Sistema de Subirrigação hidroponica



Fonte: www.ibbc.club/ebb-and-flow-hydroponic-system/

2.4. FATORES IMPORTANTES NA ESCOLHA DO SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Cada sistema tem sua particularidade importante, mas antes de selecionar um sistema de irrigação mais adequado, deve-se atentar primeiro a escolha de um método de irrigação, onde fatores que podem influenciar na escolha são:

Topografia: Se a área for plana ou puder ser nivelada sem muitos gastos, pode-se utilizar qualquer um dos quatro métodos. Caso haja uma declividade devem ser tomadas algumas precauções, como limitar a taxa de aplicação de água dos aspersores ou da localizada para evitar erosões. Deve-se evitar, também, o uso destes métodos quando o declive passar de 15° para irrigação de superfície, 30° para aspersão e 60° para localizada.

Solos: Nesse caso deve-se atentar para velocidade de infiltração do solo. Velocidades superiores a 60 mm/h devem ser irrigadas por aspersão ou com irrigação localizada. Para velocidades inferiores a 12 mm/h, em áreas inclinadas, sugere-se o método de irrigação localizada. Para valores intermediários qualquer método pode ser utilizado.

Cultura: Cabe ao produtor avaliar se a cultura se encaixa no método que

escolheu, para avaliar a estrutura e resistência que a planta tem sobre uma grande carga de água, evitando os métodos de aspersão autopropelido. Também deve-se considerar a sua resistência fitossanitária, evitando sistemas que criem um ambiente propício.

Clima: As frequências e a quantidade de precipitação que ocorrem durante o ciclo das culturas interferem no ritmo da irrigação para produção agrícola. No caso de regiões áridas e semiáridas onde o regime de chuvas é irregular ou escasso, é indispensável o uso da irrigação. No entanto, em regiões mais úmidas, a irrigação tem apenas um papel complementar.

Disponibilidade e qualidade de água para irrigação: deve-se atentar ao volume total de água disponível e a vazão do sistema durante o ciclo da cultura, que devem ser analisados para se determinar qual método é mais adequado ou a possibilidade de não irrigar, devendo sempre ficar atento a vazão mínima da fonte, que não pode ser igual ou superior a demanda de pico da cultura a ser irrigada. É recomendado evitar alguns sistemas em relação qualidade da fonte de água. No caso de água com altas concentrações evitar o sistema por gotejamento (localizada), para evitar gastos excessivos com filtragem. Outro caso são as presenças de patógenos nocivos à saúde humana na água, influenciando no método de irrigação para culturas consumidas *in Natura*, onde deve-se evitar sistemas por aspersão.

2.5. HARGREAVES SAMANI COM MÉTODO DE ESTIMA DO ETO

Muitos métodos para estimar evapotranspiração da cultura de referência foram criados para determinados cenários. FAO padronizou um desses métodos, O Penman - Monteith (PM) na estimativa da ETo (ALLEN et al., 1998). PM é uma equação que simula a evapotranspiração de uma cultura uniforme de altura 0,12m em crescimento ativo. Porém é exigido dados precisos de elementos meteorológicos, na qual não é fácil de se obter.

Segundo Allen et al. (1998), uma alternativa viável para substituir e suprir esses parâmetros climáticos requeridos em PM, é a utilização do modelo de Hargreaves e Samani (1985).

O modelo de Hargreaves Samani é considerado um procedimento de estimativa do ETo simples, por necessitar apenas de dados climatológicos mínimos, como temperaturas mínima, máxima e média do ar e da radiação no topo da atmosfera. Possui um potencial de fornecer dados confiáveis que permite o cálculo de forma eficiente e sem grandes gastos com estações meteorológica. Uma forma de descrever o método é da seguinte forma (CONCEIÇÃO et al., 2005):

$$ET_o = 0,0135 \cdot K \cdot Ra \cdot \sqrt{(T_{max} - T_{min})} \cdot (T_{med} + 17,8) \quad (2)$$

Onde K é um coeficiente que pode variar a depender da sua região, sendo 0,162 para regiões continentais e 0,190 para regiões costeiras; O Ra é medição da radiação solar em mm/dia, que também pode variar a depender da altitude da região na qual se encontra; Os T_{max} e T_{min} são respectivamente temperatura máxima e mínima obtidas no dia; O T_{med} é a média da temperatura sendo calculada por $\left(\frac{T_{max} + T_{min}}{2}\right)$.

2.6. TRABALHOS RELACIONADOS

O trabalho de Lino et al (2017) descreve um sistema automatizado de irrigação desenvolvido em Arduino para pequenas hortas em um canteiro de 10 m² no Ceará para suprir as necessidades das culturas e otimizar o tempo do trabalhador, em que o Arduino, por meio de sensores, coleta dados referente a umidade do solo, cujo objetivo é fazer o monitoramento e armazenar informações de umidade e acionamento da irrigação mantendo a umidade do solo.

O trabalho de Amara. L. et al (2018) desenvolveu um protótipo de baixo custo para irrigação automatizada visando racionar água na Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) da cidade Alta Floresta D'Oeste, em Rondônia. Utilizou-se um Arduino em que foi programado para fazer o monitoramento do solo e, quando necessário, dependendo do nível de umidade de referência previamente definido, o sistema libera um pulso para acionamento da válvula solenoide.

O trabalho de Madalosso (2014) explora a criação de sistema automatizado para abertura e fechamento do registro do sistema de bombeamento de um açude visando economia de água e retirando a necessidade da presença do agricultor. Utiliza o sensor de umidade do solo como parâmetro para automatização.

Cavagnino, E.; Cavarsan, F. A. (2016) abordaram uma forma de economizar água e atingir as necessidades da planta utilizando o método evapotranspiração da cultura Hargreaves Samani e dados de umidade coletados do sensor de umidade, visando economizar água, repondo o que foi perdido durante o dia. O turno de regar é fixo, com a frequência irrigação de 1 dia.

Esta monografia teve como principal referencial teórico Bastos et al. (2005). Esse material informa como auxiliar técnicos, estudantes e produtores a calcular a necessidade hídrica da cultura. Apresentam-se vários métodos de como calcular a evapotranspiração, como também vários tipos de manejos.

O principal diferencial desta monografia é a forma de determinar o intervalo de irrigação, através da lâmina de irrigação fixa, na qual utiliza o valor do ET_{ca} como o parâmetro e varia a depender do tipo de solo que será cultivado.

3. DESENVOLVIMENTO

Este capítulo apresenta os materiais utilizados no desenvolvimento do protótipo do sistema de irrigação alvo desta monografia.

3.1. MATERIAIS UTILIZADOS

Os seguintes materiais foram necessários para elaboração do projeto e seus respectivos preços (Tabela 1).

Tabela 1. Preços dos materiais

| Produtos | Preços |
|--------------------------------------|---------------|
| Raspberry Pi Modelo B | R\$ 200,00 |
| Sensor de Umidade do Solo Higrômetro | R\$ 8,00 |
| Sensor Umidade e Temperatura DHT11 | R\$ 10,00 |
| Relé 1 Canal 5V | R\$ 7,00 |
| Jumpers e Fios | R\$ 20,00 |

Fonte: Acervo Pessoal

Nesse projeto utilizou-se uma placa Raspberry Pi modelo B mostrada na Figura 7. O Rabperry Pi é considerado um minicomputador, projetado com um microcontrolador Broadcom BCM2835 ARM11 com 700Mhz, o mesmo usado no iPhone 3G, memória ram 512 Mb, com suporte de Entrada/Saída - E/S de 26 pinos (GPIO) e com a capacidade de expansão. Implementa e processar várias linguagens, como Python ou C/C++ (RICHARDSON, M.; WALLACE, S., 2013).

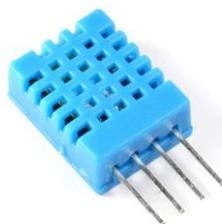
Figura 7. Raspberry Pi Model B



Fonte: BUILDBOT (2017).

Para medição da umidade e temperatura utiliza-se o sensor DHT11 (Figura 8), bastante empregado em projetos baseados em Arduino. No interior do DHT11 há um circuito que integra dois sensores, o NTC - (*Negative Temperature Coefficient*) responsável obtenção da leitura da temperatura do meio e o HR202 responsável pela leitura da umidade, com capacidade de coletar temperaturas entre 20° a 50° Celsius e umidade entre 20 a 90%. Esse sensor é fundamental para o cálculo ETc.

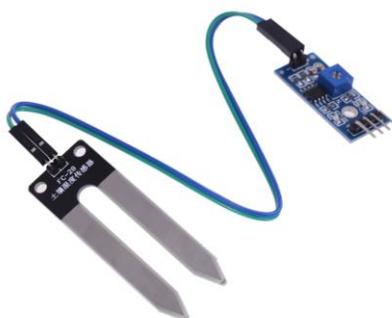
Figura 8. DHT11 sensor de umidade e temperatura



Fonte: FILIPEFLOP (2017).

Para a medição da umidade do solo utilizou-se o sensor higrômetro (Figura 9), que conta com duas hastas capazes de aferir a umidade do solo, enviando o sinal alto, caso o solo esteja seco e baixo quando estiver muito úmido. Um resistor variável (*trimpot*) pertencente ao módulo do sensor permite o ajuste de sensibilidade.

Figura 9. Sensor de Umidade do Solo Higrômetro



Fonte: ALIEXPRESS (2017)

Foi utilizado um Módulo Relé 5V de 1 canal (Figura 10) para receber o sinal da placa controladora Raspberry Pi e acionar a bomba. Seu funcionamento é de uma chave magnética na qual, após seu acionamento, libera a passagem da corrente. Pode trabalhar com acionamento de cargas de 250 VAC ou 30 VDC a uma corrente máxima de 10A.

Figura 10. Módulo Relé 5V de 1 canal



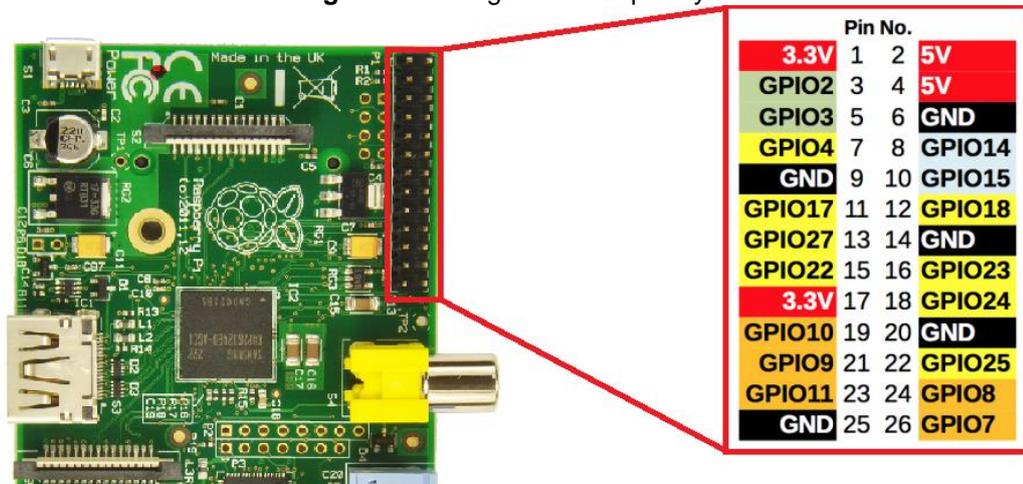
Fonte: FILIPEFLOP (2017).

3.2. MONTAGEM DO HARDWARE

Um recurso muito útil para esse projeto é a linha de pinos GPIO da placa Raspberry Pi modelo B que contém 26 pinos, como mostrado na Figura 11. Cada pino é numerado em ordem e com sua especificidade, seja ela de tensão, terra (GROUND)

ou E/S.

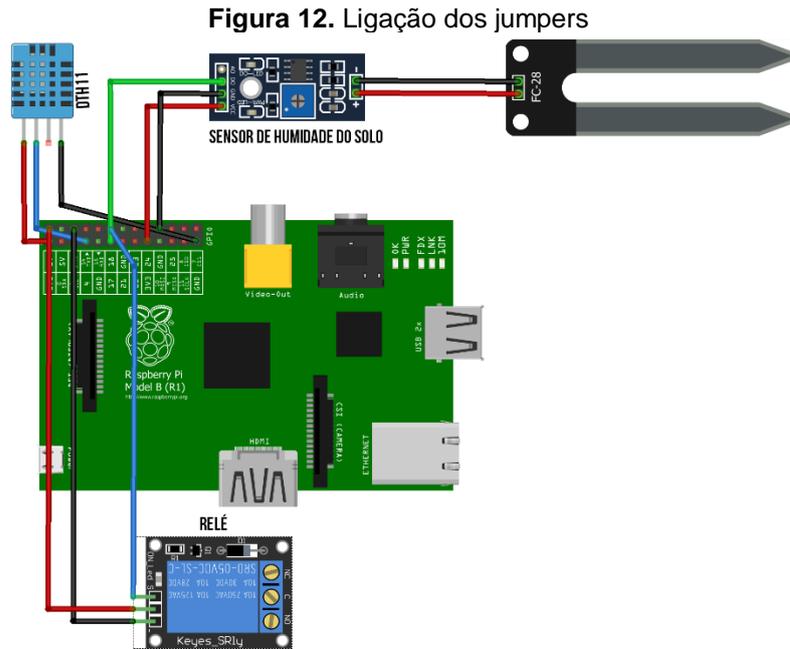
Figura 11. Pinagem da Raspberry



Fonte: Acervo Pessoal

Para estabelecer a comunicação entre a Raspberry, sensores e relé foi necessário conectar nove jumpers (Figura 12), encaixando-os em diferentes pinos de acordo com as suas especificações para que não ocorresse conflito entre as portas E/S dos periféricos na Raspberry e nem a queima da placa por conexão errada entre pinos de tensão.

- O sensor DHT11 foi encaixado em um jumper com um terminal no polo positivo e outro no pino 1, correspondente à saída de tensão de 3,3V para alimentação do sensor. Outro jumper fica conectado no terra do pino 25 e a outra extremidade no polo negativo. Para receber os sinais de leituras do sensor um pino do jumper fica na saída out e o outro no pino 7.
- O sensor de humidade do solo tem sua alimentação fornecida através do pino de tensão de número 17 e o terra conecta-se ao pino 20. A leitura dos dados se dá através do pino 11.
- O relé conecta-se ao pino 2, cuja tensão é de 5,5V



Fonte: Acervo Pessoal

3.3. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO

O primeiro passo no desenvolvimento foi a estruturação do sistema com suporte para qualquer método de irrigação que funcione com uma moto-bomba. Para isso, o sistema ficou dividido em duas partes, o *frontend* e o *backend*. O Sistema Operacional utilizado foi o nativo à placa Raspberry Pi (Linux). A linguagem de programação utilizada no *backend* foi o *Python* e a linguagem de programação *typescript* foi a utilizada no desenvolvimento do *frontend*.

3.3.1 Backend

O *backend* é a parte principal do sistema e se divide em duas subpartes: API, que é responsável pela comunicação com o *frontend* e; *System* que a responsável pelos cálculos e controle de quanto e quando irrigar.

a) System

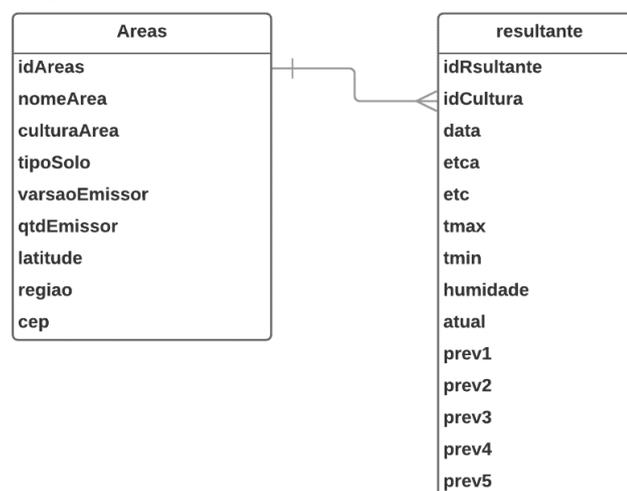
O controle do sistema é feito através das informações de entrada passadas

pelo usuário, que estão guardadas no banco de dados (BD). Após passar por uma série de etapas posteriormente descritas, dados são gerados e armazenados no BD que define para aquela área o quanto e quando irrigar.

O sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) utilizado foi o MySQL, por ser uma ferramenta gratuita na qual se adequa o projeto. O diagrama de entidade relacionamento (DER), apresentado na Figura 13, mostra o relacionamento entre duas tabelas do sistema. As demais são apenas para consulta. A estrutura do banco de dados possui as seguintes tabelas: *Areas*, *Coeficientescultura*, *Coeficientesradiação*, *Resultante* e *User*.

- Tabela *Areas*: Contém as informações referentes às áreas a serem cultivadas.
- Tabela *Coeficientescultura*: Contém as informações para realização dos cálculos.
- Tabela *Coeficientesradiação*: Contém as informações para realização dos cálculos.
- Tabela *Resultante*: Contém as informações referentes a estimativa de ETc.
- Tabela *User*: Contém todos os usuários do sistema.

Figura 13. O diagrama de entidade relacionamento



Fonte: Acervo Pessoal

Quando o *system* é inicializado entra em um *loop* indefinidamente, a cada momento passando por duas condições do tempo. Quando entra na primeira, chama uma função que verifica a temperatura máxima, mínima e a humidade do ar durante o dia e guarda em variáveis para serem usadas posteriormente. Somente entra na segunda condição, quando o dia se encerrar, utilizando os dados coletados da primeira condição, os quais são passados para uma função que calcula a estimativa do ETc e responde se deve ou não irrigar.

A primeira função verifica a temperatura e humidade por meio do sensor DHT11 realiza uma checagem da integridade e os transforma de binário para inteiro e retorna para função principal.

A segunda função efetua o primeiro cálculo do sistema que (ETc) dada pela equação 1. Esse trabalho utiliza os valores de Kc médios para cada estado de desenvolvimento da cultura para calcular o ETc, sugerido por BASTOS et al.(2005)., mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Kc médios para cada estado de desenvolvimento

| Culturas | Estádios de desenvolvimento | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | I | II | III | IV |
| Abóbora | 0,40 – 0,50 | 0,65 – 0,75 | 0,90 – 1,00 | 0,70 – 0,80 |
| Alface | 0,50 – 0,60 | 0,70 – 0,80 | 0,95 – 1,05 | 0,90 – 1,00 |
| Cebola | 0,40 – 0,60 | 0,70 – 0,80 | 0,95 – 1,10 | 0,75 – 0,85 |
| Cenoura | 0,50 – 0,60 | 0,70 – 0,85 | 1,00 – 1,15 | 0,70 – 0,85 |
| Feijão-caupi ¹ | 0,50 – 0,70 | 0,80 – 0,95 | 1,00 – 1,15 | 0,70 – 0,90 |
| Melancia | 0,40 – 0,50 | 0,70 – 0,80 | 0,95 – 1,05 | 0,65 – 0,75 |
| Melão ² | 0,52 | 0,88 | 1,13 | 0,52 |
| Milho ³ | 0,50 | 0,80 – 0,90 | 0,90 – 1,20 | 0,70 |
| Pimentão | 0,40 – 0,50 | 0,60 – 0,65 | 0,95 – 1,10 | 0,80 – 0,90 |
| Tomate | 0,40 – 0,50 | 0,70 – 0,80 | 1,05 – 1,25 | 0,60 – 0,65 |

Fonte: BASTOS et al.(2005).

Essa tabela fica previamente armazenada no banco de dados do sistema com o nome *Coefficientescultura*, sendo consultada a cada estimativa de ETc. Os valores de Kc são divididos em quatro estados dependendo do desenvolvimento da cultura:

- Estado 1: da emergência até 10% do desenvolvimento da planta.
- Estado 2: do final do estado 1 até o início da florescência da planta.
- Estado 3: do final do estado 2 até o início da maturação.
- Estado 4: do final do estado 3 até um fim da colheita.

Para determinar o cálculo do ET_c é necessário estimar o ET_o , onde o escolhido para esse sistema foi o método Hargreaves Samani devido à sua simplicidade e facilidade de implementação, utilizando os dados de temperatura coletados pelo sensor DHT11 para o cálculo, dado pela equação 2.

Para determinar a R_a manipulada no ET_o , foram utilizados dados de acordo com a Tabela 2, que estão previamente armazenados no banco com o nome Coeficientes radiação que, por meio da latitude da área que foi passada pelo usuário e pelo mês do ano na qual a cultura que se encontra, é possível estimar o R_a .

Tabela 3. R_a - Radiação solar no dia 15 de cada mês

| LAT | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 | 15,0 | 15,2 | 15,7 | 15,3 | 14,4 | 13,9 | 14,1 | 14,8 | 15,3 | 15,4 | 15,1 | 14,8 |
| 2° | 15,3 | 15,7 | 15,7 | 15,1 | 14,1 | 13,5 | 13,7 | 14,5 | 15,2 | 15,5 | 15,3 | 15,1 |
| 4° | 15,5 | 15,8 | 15,6 | 14,9 | 13,8 | 13,2 | 13,4 | 14,3 | 15,1 | 15,6 | 15,5 | 15,4 |
| 6° | 15,8 | 16,0 | 15,6 | 14,7 | 13,4 | 12,8 | 13,1 | 14,0 | 15,0 | 15,7 | 15,8 | 15,7 |
| 8° | 16,1 | 16,1 | 15,5 | 14,4 | 13,1 | 12,4 | 12,7 | 13,7 | 14,9 | 15,8 | 16,0 | 16,0 |
| 10° | 16,4 | 16,3 | 15,5 | 14,2 | 12,8 | 12,0 | 12,4 | 13,5 | 14,8 | 15,9 | 16,2 | 16,2 |
| 12° | 16,6 | 16,3 | 15,4 | 14,0 | 12,5 | 11,6 | 12,0 | 13,2 | 14,7 | 15,8 | 16,4 | 16,5 |
| 14° | 16,7 | 16,4 | 15,3 | 13,7 | 12,1 | 11,2 | 11,6 | 12,9 | 14,5 | 15,8 | 16,5 | 16,6 |
| 16° | 16,9 | 16,4 | 15,2 | 13,5 | 11,7 | 10,8 | 11,2 | 12,6 | 14,3 | 15,8 | 16,7 | 16,8 |
| 18° | 17,1 | 16,5 | 15,1 | 13,2 | 11,4 | 10,4 | 10,8 | 12,3 | 14,1 | 15,8 | 16,8 | 17,1 |
| 20° | 17,3 | 16,5 | 15,0 | 13,0 | 11,0 | 10,0 | 10,4 | 12,0 | 13,9 | 15,8 | 17,0 | 17,4 |
| 22° | 17,4 | 16,5 | 14,8 | 12,6 | 10,6 | 9,6 | 10,0 | 11,6 | 13,7 | 15,7 | 17,0 | 17,5 |
| 24° | 17,5 | 16,5 | 14,6 | 12,3 | 10,2 | 9,1 | 9,5 | 11,2 | 13,4 | 15,6 | 17,1 | 17,7 |
| 26° | 17,6 | 16,4 | 14,4 | 12,0 | 9,7 | 8,7 | 9,1 | 10,9 | 13,2 | 15,5 | 17,2 | 17,8 |
| 28° | 17,7 | 16,4 | 14,3 | 11,6 | 9,3 | 8,2 | 8,6 | 10,4 | 13,0 | 15,4 | 17,2 | 17,9 |
| 30° | 17,8 | 16,4 | 14,0 | 11,3 | 8,9 | 7,8 | 8,1 | 10,1 | 12,7 | 15,3 | 17,3 | 18,1 |
| 32° | 17,8 | 16,2 | 13,8 | 10,9 | 8,5 | 7,3 | 7,7 | 9,6 | 12,4 | 15,1 | 17,2 | 18,1 |
| 34° | 17,8 | 16,1 | 13,5 | 10,5 | 8,0 | 6,8 | 7,2 | 9,2 | 12,0 | 14,9 | 17,1 | 18,2 |
| 36° | 17,9 | 16,0 | 13,2 | 10,1 | 7,5 | 6,3 | 6,8 | 8,8 | 11,7 | 14,6 | 17,0 | 18,2 |
| 38° | 17,9 | 15,8 | 12,8 | 9,6 | 7,1 | 5,8 | 6,3 | 8,3 | 11,4 | 14,4 | 17,0 | 18,3 |
| 40° | 17,9 | 15,7 | 12,5 | 9,2 | 6,6 | 5,3 | 5,9 | 7,9 | 11,0 | 14,2 | 16,9 | 18,3 |

Fonte: CONCEIÇÃO et al, 2005.

Depois de calcular a evapotranspiração da cultura, o sistema calcula o intervalo de irrigação pelo método de lâmina de irrigação fixa, definindo quando vai irrigar, quando o ETc acumulado (ETca), que é a soma do ETc de cada dia, chega a um determinado valor, que é estabelecido pelo tipo do solo que será informado pelo usuário. O valor pode se alterar de 10 mm para solos arenosos de baixa capacidade de retenção de água, a 30 mm para solos com alta concentração de água (EMBRAPA, 2017).

Após a obtenção do limite ETca da cultura é feita uma previsão de quando irrigar para os próximos 5 dias, utilizando o serviço de API *Hgbrasil*, de previsão do tempo, em que opera passando os dados da localidade da área. A API retorna a previsão de temperatura máxima e mínima atual e para os próximos 5 dias. Para calcular a previsão é feito o cálculo do ETc de cada dia, ao qual vai decrementando do limite do ETca até chegar à 0 ou menor do que 0 onde, logo depois, o limite ETca volta ao normal como se já estivesse irrigado (Tabela 4). Após todo esse procedimento os valores obtidos, serão armazenados na tabela *Resultante*.

Tabela 4. Previsão supondo que o solo seja arenoso seu limite ETca é 10 mm.

| ETc para cada dia da previsão | | | | |
|-------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|------------------------|
| Previsão 1 | Previsão 2 | Previsão 3 | Previsão 4 | Previsão 5 |
| 2 mm | 3 mm | 3 mm | 3 mm | 2 mm |
| | | | | |
| $10 - 2 \Rightarrow 8$ | $8 - 3 \Rightarrow 5$ | $5 - 3 \Rightarrow 2$ | $2 - 3 \Rightarrow -1$ | $10 - 2 \Rightarrow 8$ |
| Não irrigar | Não irrigar | Não irrigar | IRRIGAR | Não irrigar |

Fonte: Acervo Pessoal

Logo após será chamada a função irrigar que, por meio do sensor de umidade do solo, avisará quando o solo estiver seco e precisar de água. Trabalhando em conjunto com a lâmina de irrigação, será um dos condicionantes para o acionamento do relé que, por sua vez, ligará a bomba.

Por fim, a função irá calcular quanto tempo a bomba ficará ligada. Isso dependerá da vazão do emissor de irrigação escolhido, a sua quantidade e seu espaçamento entre os emissores. Primeiro é necessário calcular a intensidade dos emissores para, depois, calcular o tempo de duração da irrigação. As seguintes fórmulas são usadas (EMBRAPA, 2017):

Intensidade de Aplicação

$$I = \left(\frac{Q}{El.Ea} \right) \quad (3)$$

I : intensidade de aplicação.

Q : vazão do emissor do sistema de irrigação.

El : espaçamento entre linhas.

Ea : espaçamento entre emissores na mesma linha.

Tempo de Irrigação

$$T = \left(\frac{ETca}{I} \right) \times 60 \quad (4)$$

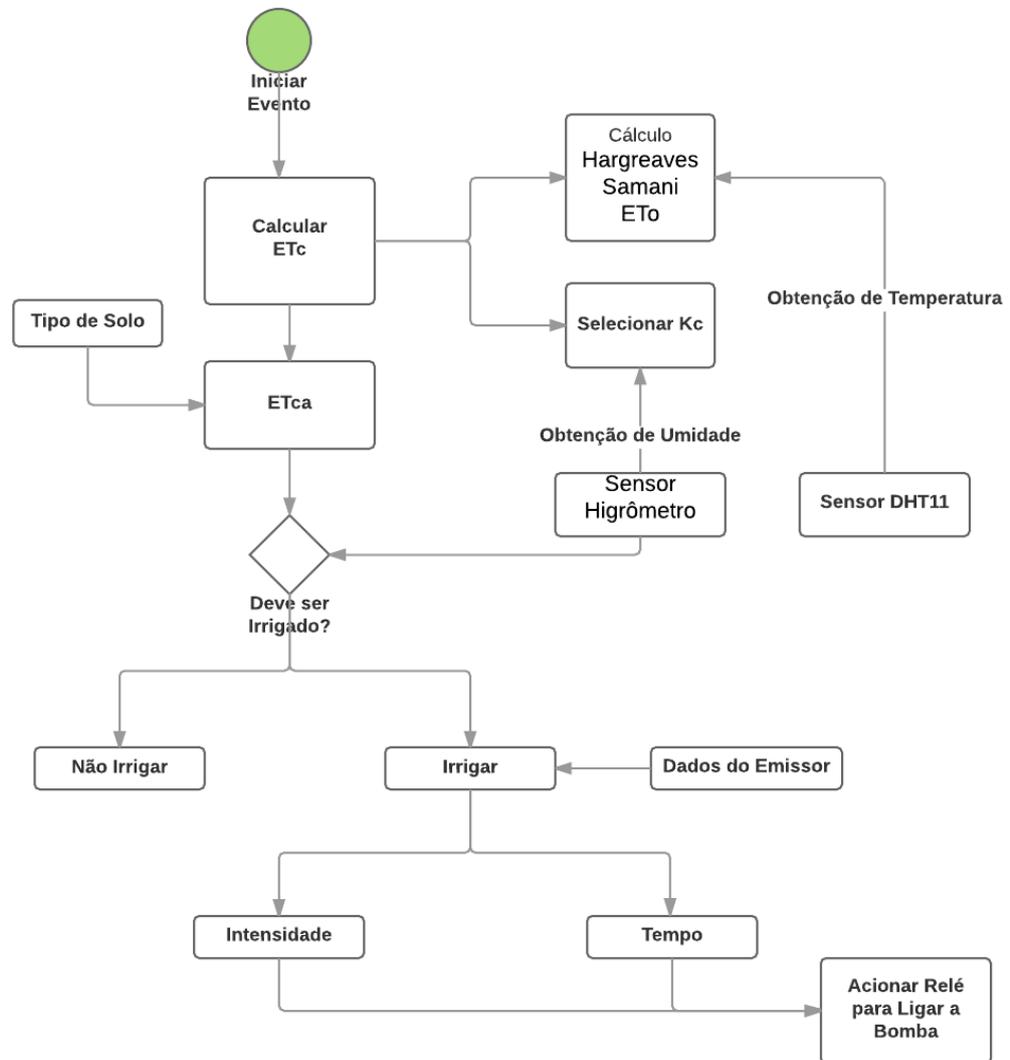
T : tempo de irrigação

ETca : evapotranspiração da cultura acumulada.

I : intensidade de aplicação

A irrigação de fato acontecerá quando o ETca chegar ao valor determinado pelo tipo de solo e quando a umidade do solo estiver muito baixa, identificando assim a necessidade de irrigar. O funcionamento do sistema é representado pela Figura 14.

Figura 14. Fluxograma do funcionamento do sistema.



Fonte: Acervo Pessoal

b) API

A fim de facilitar a integração do *backend* com o *frontend* foi desenvolvido uma API, na qual irá disponibilizar os serviços ou alguns dados úteis a serem mostrados para usuário.

Um desses serviços é o de autenticação do usuário, que funciona da seguinte

seguinte rota: `/api/auth/cadastro`; após o recebimento do *request*, verifica se já não tem nenhum cadastro com o mesmo e-mail, caso negativo, é enviado um *json* com uma confirmação para o *frontend* (Figura 17). A decisão de cadastrar um novo usuário só pode ser efetuada pela conta ADMIN (Figura 18).

Figura 17. Envio do cadastro novo usuário

```

▼ Request Headers    view source
Accept: application/json, text/plain, */*
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: pt-BR,pt;q=0.9,en-US;q=0.8,en;q=0.7
Connection: keep-alive
Content-Length: 167
Content-Type: application/json
Host: localhost:4400
Origin: http://localhost:4200
Referer: http://localhost:4200/
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) A

▼ Request Payload    view source
▼ {terms: true, fullName: "Paulo Sérgio", picture: "ht
confirmPassword: "12345"
email: "paulo@paulo.com.br"
fullName: "Paulo Sérgio"
password: "12345"
picture: "https://minhafotodeperfil.com/aaBbBcCcC"
terms: true

```

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 18. Retorno se foi cadastrado

```

Headers  Preview  Response  Timing
{
  "data": {
    "message": "Cadastrado com sucesso!"
  }
}

```

Fonte: Acervo Pessoal

A exclusão de um usuário é feita pela rota `/api/auth/exclusao`, na qual é passado o e-mail pelo método *Post* e a API é encarregada de verificar se existe o registro desse usuário; caso positivo, o mesmo é excluído do banco e enviado ao *frontend* uma confirmação de exclusão (Figura 19). Por questão de segurança essa operação só será feita pela a conta Admin que não poderá ser excluída (Figura 20).

Figura 19. Envio para exclusão da conta

```
▼ Request Headers view source
Accept: application/json, text/plain, */*
Accept-Encoding: gzip, deflate, br
Accept-Language: pt-BR,pt;q=0.9,en-US;q=0.8,en;q=0.7
Connection: keep-alive
Content-Length: 22
Content-Type: application/json
Host: localhost:4400
Origin: http://localhost:4200
Referer: http://localhost:4200/
User-Agent: Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) A

▼ Request Payload view source
▼ {email: "paulo@gm.v"}
  email: "paulo@gm.v"
```

Fonte: Acervo Pessoal

Figura 20. Resposta da conta foi deletada

```
Headers Preview Response Timing
{
  "data": {
    "message": "deletado com sucesso!"
  }
}
```

Fonte: Acervo Pessoal

O último serviço encontra-se no dashboard, na qual irá mostrar dados do

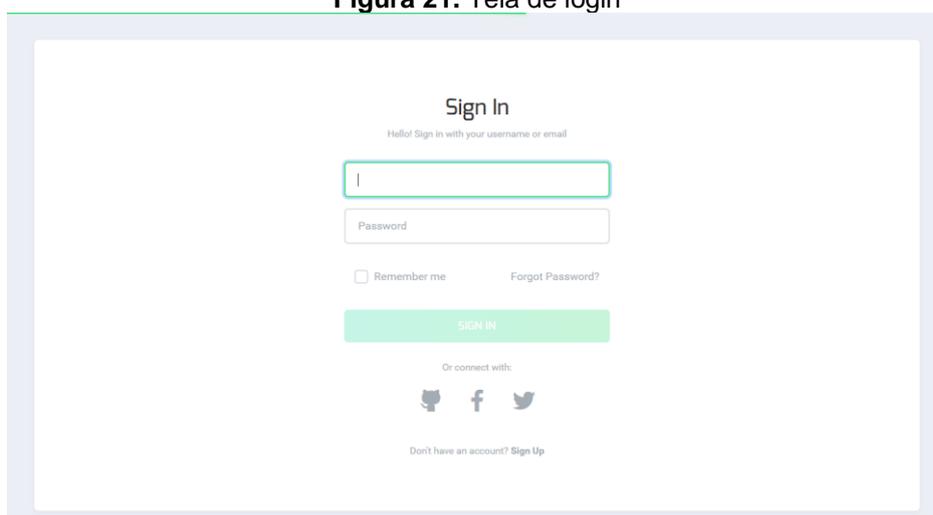
sistema como temperatura, humidade do ar, previsão de quando irrigar e quanto gasto de água ocorreu no último mês. Esse serviço utiliza o método *GET* que retorna um *json* com os dados.

3.3.2. **Frontend**

Outra parte do sistema é a visual, composta de um sistema *WEB* que utiliza a *framework Angular 4*. O motivo escolhido para a utilização desse *framework* deve-se ao fácil entendimento da aplicação, já que utiliza linguagens como a *typescript* e o *HTML*. O *Angular 4* é extremamente declarativo, possuindo diretivas chamadas de *componentes*, que permite a modularidade no sistema podendo mudar partes sem precisar mexer em todo o *website*.

A primeira tela é a de login, responsável por autenticar o usuário que vai entrar no sistema como mostrado na Figura 21.

Figura 21. Tela de login



Fonte: Acervo Pessoal

A tela de cadastro de área de irrigação (Figura 22), será responsável pela obtenção de informações que caracteriza a área a ser irrigada. Essas informações serão essenciais para o cálculo do ETC e ficarão guardados no banco de dados.

Figura 22. Tela de cadastro da área a ser cultivada

Irrigação Systema -admin

Cadastro de área irrigada

Nome da área:

Cultura:

Tipo de solo:

Varsão do Emissor:

Quantidades de Emissores:

Latitude:

Selecione uma Região:

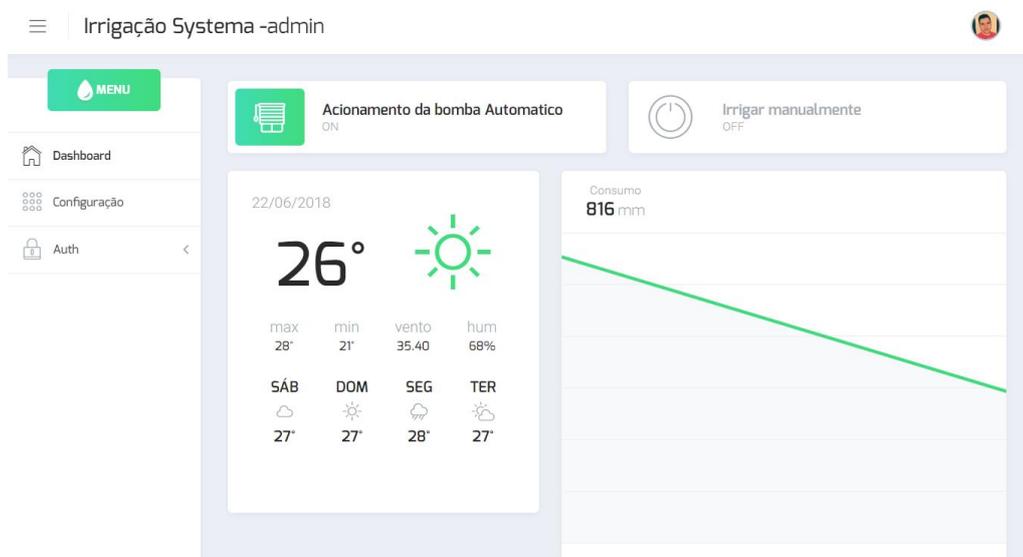
Continentais Costeiras

CADASTRAR

Fonte: Acervo Pessoal

A tela de Monitoramento (Figura 23), será responsável por estar informando ao usuário dados sobre a área irrigada, a estimativa de quando irrigar, bem como outros dados em tempo real (temperatura, umidade do ar e do solo). O *dashboard* principal se divide em quatro componentes são classes que interagem com o HTML principal e o navegador.

Figura 23. Tela de Monitoramento



Fonte: Acervo Pessoal

3.4. MONTAGEM DO SERVIDOR RASPBERRY

O Primeiro passo foi a instalação do sistema operacional para *Raspberry Pi*, que pode ser baixado no site oficial. A versão escolhida foi a *Raspbian Wheezy*, uma versão baseada no *Debian*, otimizada para o hardware da *Raspberry*.

Para que o serviço do *Frontend* esteja funcionando para o usuário, é preciso gerar um *build* do projeto do *Angular* e publicar para que possa ser visualizado externamente. Para isso faz-se necessária a instalação de um servidor WEB que ficará encarregado das requisições externas. Nesta monografia, o servidor escolhido foi o Apache. Após sua instalação foi transferido o projeto do *Frontend* “buildado” para o apache e liberado a porta 80 no roteador, sendo assim possível “enxergá-lo” externamente.

Em seguida, é preciso instalar a dependência do *Frontend* que trata dos dados predefinidos para que o *Frontend* possa acessá-lo. Para isso foi necessário a instalação do sistema de gerenciamento de banco de dados MySQL e a criação do banco de dados *db_irrigação* e suas respectivas tabelas com esses dados pré-definidos para serem usados como, por exemplo, o usuário padrão, os coeficientes de Kc e a radiação mensal.

Em seguida, foi definido as conFigurações para que os *scripts* em python do *System* e API rodassem sozinhos, assim que iniciasse o Sistema Operacional, evitando falhas de energia que deixaria o sistema sem funcionar. Para isso foi necessário a edição do arquivo *rc.local*, inserindo os comandos para executar os scripts mostrados na Figura 24.

Figura 24. Comandos dos Scripts

```

pi@raspberrypi: ~
GNU nano 2.2.6 File: /etc/rc.local
#
# By default this script does nothing.

# Print the IP address
#_IP=$(hostname -I) || true
#if [ "$_IP" ]; then
# printf "My IP address is %s\n" "$_IP"
#fi
# Programa executado automaticamente
sudo python /home/pi/Desktop/api_old.py &
sudo python /home/pi/Desktop/system.py &

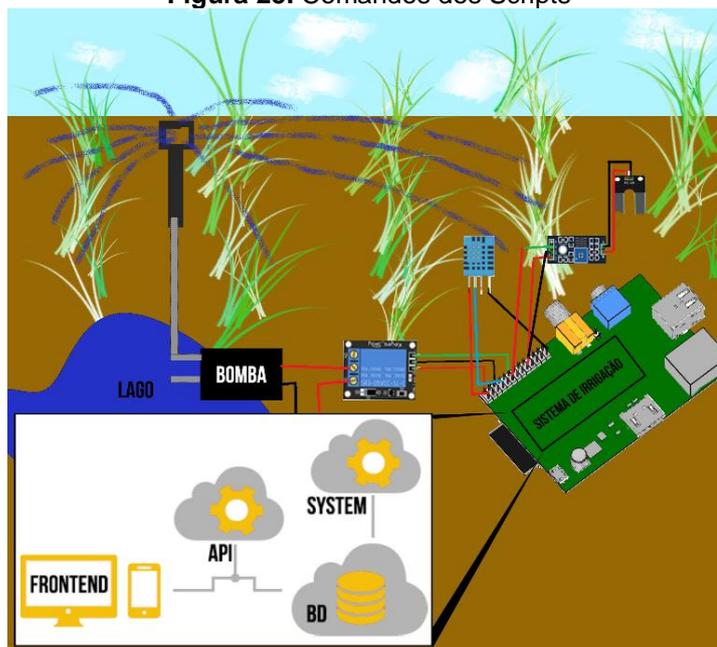
exit 0

```

Fonte: Acervo Pessoal

A arquitetura do protótipo do sistema de irrigação é exibido na Figura 25, onde é possível verificar a interligação do Hardware utilizado com o Backend e Frontend, bem como a colocação dos sensores no terreno a ser irrigado.

Figura 25. Comandos dos Scripts



Fonte: Acervo Pessoal

4. RESULTADOS

Nesta seção será descrita como foram montados o ambiente de teste e a instalação dos componentes que fazem parte deste.

Devido ao tempo que a cultura leva desde o plantio até chegar a produzir, optou-se em avaliar durante um período de 3 dias se o sistema iria manter a vitalidade da planta, não deixando que chegasse no estado de ponto de murcha permanente. Foi utilizado um pé de feijão nos testes, no qual foi retirado do solo e colocado em um recipiente para facilitar o manuseio da instalação dos sensores (Figura 26).

Figura 25. Pé de Feijão



Fonte: Acervo Pessoal

A aplicação de água foi realizada direto na planta, através de uma bomba de aquário com a vasão de 300 litros por hora, para coletar a água do reservatório e irrigar a planta. A bomba foi conectada relé para seu acionamento (Figura 27).

Figura 26. Bomba Aquática

Fonte: Acervo Pessoal

Foi colocado a bomba no recipiente com dois litros de água, quantidade mais do que suficiente para irrigar a planta por 3 dias. Para finalizar a estruturação do ambiente de testes, a placa Raspberry Pi foi conectada a uma rede sem fio por meio de um adaptador WiFi e os sensores foram colocados próximo a planta (Figura 28).

Figura 27. Ambiente de testes

Fonte: Acervo Pessoal

Para este teste foram utilizados os parâmetros mais baixos para o limite do ET_{ca}, respectivamente 5 mm para solos arenosos e 15 mm para solos de alta concentração de água, devido ao clima presente na região de testes (Nordeste).

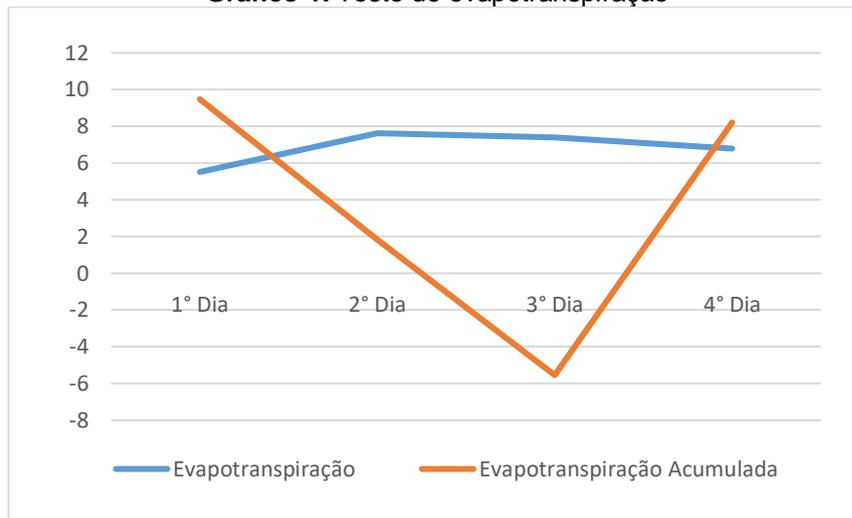
Antes da realização do teste, foi efetuado uma rega para deixar a água disponível para a planta e para poder calcular a sua perda durante os 3 dias.

Durante o primeiro dia de teste o sistema estimou uma baixa taxa de evapotranspiração, devido a um clima mais frio durante o dia com temperaturas variando entre 28°C e 22°C, com umidade relativa de 70% em que estimou uma evapotranspiração de 5,52mm.

O segundo dia, diferentemente do primeiro, foi ensolarado, com temperaturas máxima chegando aos 32°C de 23°C, em que o sistema estipulou uma perda de lamina d'água de 7,63 mm e uma previsão de irrigação para o quarto dia.

O terceiro dia permaneceu ensolarado, com temperaturas capturadas pelo sensor entre 31°C a máxima e 22°C a mínima, estimando uma ET_c de 7,39 mm. Durante o período da tarde percebeu-se uma leve murcha do pé de feijão. A bomba foi acionada no final do dia, pois detectou-se que o consumo de evapotranspiração acumulado passou do limite estabelecido para este tipo de solo.

Após a realização deste teste, podemos analisar que o sistema atingiu o objetivo proposto, que foi o de não deixar a planta chegar no ponto de murcha permanente que poderia causar danos fatais a mesma. Como visto no Gráfico 1, a evapotranspiração da cultura durante os 4 dias no ambiente de teste e a ET_{ca} diminuíram, até chegarem à valores abaixo de zero, logo demonstrando que a ET_{ca} foi repostada no 3º dia.

Gráfico 1. Teste de evapotranspiração

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho abordou o desenvolvimento do protótipo de um sistema de irrigação automatizado para pequenos agricultores, passando por várias etapas, com o intuito de chegar nos aspectos necessários para atingir os objetivos propostos, dentre eles, um melhor aproveitamento do recurso hídrico e baixo custo dos materiais, onde foi possível compreender como é feito a medição da evapotranspiração de forma automatizada.

A utilização do minicomputador Raspberry Pi mostrou ser uma ótima escolha, pois devido ao seu baixo custo, aliado à eficiência, no qual suporta um Servidor WEB junto com um *backend*, tudo dentro de um só dispositivo. Além disso, conta com uma grande comunidade de usuários ativos e surgimentos de projetos constantes em diferentes áreas.

Usualmente, este protótipo permite a vários agricultores o cultivo de uma grande variedade de culturas, com demandas hídricas diferentes em seus vários estágios de desenvolvimento.

Esse protótipo mostrou a possibilidade de trabalhar em diversos ambientes desde o mais seco ao mais úmido, com diversas quantidades de precipitação hídrica, possibilitando a instalação em qualquer região.

De modo geral, demonstrou um resultado satisfatório quanto ao racionamento eficiente de água. O acionamento da bomba é ativado, liberando somente o essencial para que a planta possa se desenvolver.

Na realização de testes em um ambiente *indoor*, ficou demonstrado o potencial deste protótipo cujo processamento da placa Raspberry Pi apresentou bons resultados em seu funcionamento.

A realização desse projeto possibilitou utilizar conhecimentos e técnicas adquiridas durante o curso de Ciência da Computação, nas quais foram de extrema relevância para sua elaboração, ajudando assim a realização das tarefas práticas de forma mais ágil e eficiente.

5.1. TRABALHOS FUTUROS

Como uma continuação deste trabalho, pode-se elencar:

- A criação de vários nós que fiquem distribuídos na área a ser cultivada, de forma que possibilitaria ter uma precisão melhor de quanto de água está sendo evaporada em determinadas regiões do cultivo, no qual possibilitaria uma irrigação específica para cada região.
- Utilização do sistema em longas distâncias e lugares mais afastados, através da utilização de uma Rede de Sensores sem Fio (RSSF) baseada no padrão IEEE 802.15.4, devido ao baixo custo do hardware e o baixo consumo de energia do nó sensor, o que permitiria o sistema ser utilizado em regiões que não possuam fonte permanente de energia elétrica.
- Implantação de uma bateria com recarga por meio de energia solar para suprir os alimentar o sistema de irrigação em lugares mais afastados, desprovidos de fonte de energia permanente.
- Inserção de novos dados das culturas aumentando a possibilidade de cálculo estimativo de ETc para mais culturas.
- Trabalhar com mais de uma cultura ao mesmo tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIEXPRESS, Disponível em: < <https://www.aliexpress.com/item-img/Hot-Selling-Soil-Hygrometer-Humidity-Detection-Module-Moisture-Water-Sensor-for-Arduino-NVIE/32275795794.html>>. Acesso em 07 out. 2017.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 56).

AMARAL, CRISTIANO TORRES DO et al. **Irrigação Automatizada Em Pequena Escala Na Amazônia: Desenvolvimento De Um Protótipo De Baixo Custo Para Apae De Alta Floresta D'oeste/Ro**. 2018. 453 p. Artigo (Engenharia Elétrica)- Universidade Federal de Rondônia, [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/53965>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; SOUSA, V. F. de. **Manejo de irrigação**. Embrapa Meio-Norte, 2005.

BUILDBOT, Disponível em: < <http://www.buildbot.com.br/produto/raspberry-pi-modelo-b/>>. Acesso em 07 out. 2017.

CAVAGNINO, E.; CAVARSAN, F. A. **Irrigador Eco-Eficiente para Plantações**. Revista Ciência e Tecnologia – RCT da UNISAL. 2016.

CONCEIÇÃO, MARCO A. F.; MANDELLI, F. **Cálculo da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar**, Comunicado Técnico 61 – Embrapa, 2005.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. (Irrigation and drainage paper, 24).

EMBRAPA. **Sistema de Produção de Uva de Mesa do Norte de Minas Gerais**. Disponível em: < <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteMinas/irr> >

igacao.htm>. Acesso em 27 set. 2017.

FEITOSA, CLAUDIVAN. F. de. **Relações Solo-Água-Planta em Ambientes Naturais e Agrícolas do Nordeste Brasileiro**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2007, p.64.

FILIFELOP, Disponível em:
<http://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/disciplinas/Frizzone/LEB_1571/TEXTO_COMPLEMENTAR_1_-_METODOS_DE_IRRIGACAO.pdf>. Acesso em 15 maio. 2018.

FRIZZONE, ANTÔNIO. J. **Os Métodos De Irrigação**, Disponível em:
<<http://www.filieflop.com>>. Acesso em 07 out. 2017.

LINO, DAVID RIBEIRO et al. **Irrigação Automatizada Com Plataforma De Desenvolvimento Arduino Na Horta Didática Da Universidade Federal Do Ceará**. 2017. 9 p. Artigo (Engenharia Agrícola,)- Universidade Federal do Ceará,, [S.I.], 2017. 9. Disponível em:
<<http://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2803/1701>>. Acesso em: 17 jul. 2018.

MADALOSSO, E. **Sistema Automatizado para Irrigação de Estufas**. Trabalho de Conclusão de curso – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, 2014.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Atividades que mais consomem água**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/atividades-que-mais-consoem-agua.htm>>. Acesso em 26 de outubro de 2017.

Portal G1. **Nordeste em emergência: histórias de uma seca sem fim**. Disponível em: < <https://g1.globo.com/economia/noticia/nordeste-em-emergencia-historias-de-uma-seca-sem-fim.ghtml>>. Acesso em 25 set. 2017.

Relatório da ONU Disponível em:<
<http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002440/244041por.pdf>> Acesso em 26 out.2017.

RICHARDSON, M.; WALLACE, S. **Primeiros Passos com o Raspberry Pi**. Novatec, 2013.

WORLD RESOURCES INSTITUTE - WRI. **Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings**, 2017 <<https://www.wri.org/sites/default/files/aqueduct-water-stress-country-rankings-technical-note.pdf>> Acesso em 26 out.2017.

WWF-Brasil. **22 de março, Dia Mundial da Água**. Disponível em <<https://www.wwf.org.br/informacoes/?uNewsID=51682>>. Acesso em 26 de outubro de 2017.