



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

REUEL SCHERRER XAVIER

**UTILIZAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS NO MONITORAMENTO E
MANEJO DA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO MELÃO (*Cucumis melo L.*)**

FORTALEZA

2018

REUEL SCHERRER XAVIER

UTILIZAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS NO MONITORAMENTO E MANEJO
DA IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO MELÃO (*Cucumis melo L.*)

Monografia apresentada ao Curso de Agronomia apresentada ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D.

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

X23u Xavier, Reuel Scherrer.
Utilização de sensores capacitivos no monitoramento e manejo da irrigação da cultura do melão (cucumis melo l.) / Reuel Scherrer Xavier. – 2018.
50 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Curso de Agronomia, Fortaleza, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Adunias dos Santos Teixeira.

1. Agricultura de Precisão. 2. Umidade do solo. 3. Cultivo. I. Título.

CDD 630

REUEL SCHERRER XAVIER

UTILIZAÇÃO DE SENSORES CAPACITIVOS NO MONITORAMENTO E MANEJO DA
IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO MELÃO (*Cucumis melo L.*)

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia apresentada ao Departamento de
Engenharia Agrícola da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel em Agronomia.

Aprovada em: 23/11/2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Adunias dos Santos Teixeira, Ph.D (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dr. Francisco José Firmino Canafístula
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Alan Bernard Oliveira de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Msc. Amnon Amoglia Rodrigues
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À Deus.

Aos meus pais, Almir Costa Xavier e Damares
Scherrer Xavier.

AGRADECIMENTOS

À Deus, “a quem seja a glória pelos séculos dos séculos. Amém!” (Gl 1:5)

Dedico este trabalho ao meu avô materno Eziel Scherrer, “In Memoriam”, e avô paterno Eloy de Almeida Xavier. Pois lançaram mão no árduo trabalho com a terra, e em meio a intemperes venceram. Eternos exemplos deste lado da eternidade.

RESUMO

O manejo de irrigação busca repor com máximo grau de precisão a água que foi utilizada, seja por ação da evaporação ou transpiração, buscando repor à um nível ideal para o desenvolvimento sadio da planta. Assim, busca-se mitigar o desperdício dos recursos hídricos e otimizar o potencial produtivo da planta. Na cultura do meloeiro, a irrigação realizada de forma adequada é uma das práticas agrícolas de maior impacto para desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos. Para tanto, são necessários equipamentos e técnicas capazes de determinar o quanto, quando e como irrigar, observando as condições da planta, solo e ambiente. Tendo em vista a importância dos sensores para manejo eficiente da irrigação, o objetivo do presente trabalho foi a recomendação de sensores capacitivos para avaliação da umidade do solo em meios porosos, passando-se pelas seguintes etapas: i) Caracterização do sensor capacitivo de umidade; ii) Correlação dos parâmetros do sensor com as demandas da planta; iii) Monitoramento remoto da cultura em campo. Assim, alia-se a obtenção de dados em tempo real à técnicas eficientes para o monitoramento remoto, essenciais para ágil tomada de decisão. O estudo foi implementado no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA), no Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici. Dessa forma foram utilizados Arduino Uno, ESP 8266, Válvulas Solenoide, Bombas centrífugas, Relés, Reservatórios; Fonte + Transformador e placas Ponte H. Assim, de posse destes itens, procedeu-se o desenvolvimento do sistema de controle e de aquisição de dados, foi utilizado como hardware a placa modelo Arduino UNO. Para possibilitar o acesso remoto, seja para controle ou requisitar dados foi utilizado um módulo Wi-Fi ESP 8266 ligado ao Arduino. O teste de calibração foi conduzido em tubo de PVC com o sensor inserido juntamente ao solo formando blocos, sob o qual foi inserido até 24 cm de profundidade do limite inferior do cilindro. Nesta calibração foram adicionados 10 kg de solo seco ao ar, destorroado e peneirado, de forma a se conhecer sua densidade global. Usando as ferramentas do Google Drive, “Google Planilhas” e “Script to Google Apps”, foi possível ao NodeMCU enviar os dados para um host, que capturava a informação lançada no Script e alimentava uma planilha online. Os códigos para o NodeMCU e para o Arduino foram escritos e gravados utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do próprio Arduino. Foram monitorados de forma contínua dois (02) sensores em campo, escolhidos ao acaso. A placa do sensor encontrava-se nas profundidades de 5 – 15 cm e de 20 – 30 cm e foram requisitados e armazenados dados a cada 25 segundos, do dia 27 de setembro de 2018 até 05 de novembro de 2018. Os demais sensores foram monitorados com algumas leituras ao longo do dia, visando monitorar a variação gerada pela irrigação. As leituras obtidas foram coerentes com os esperados pela literatura, bem como satisfatória na determinação dos pontos de início e cessamento da irrigação.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão. Umidade do solo. Cultivo.

ABSTRACT

Irrigation management seeks to restore with maximum degree of precision the water that was lost, either by evaporation or transpiration, seeking to restore to an optimal level for the healthy development of the plant. Thus, it seeks to mitigate the waste of water resources and optimize the productive potential of the plant. In the melon crop, adequate irrigation is one of the agricultural practices that have the greatest impact on fruit development, productivity and quality. Therefore, it is necessary equipments and techniques capable of determining how much, when and how to irrigate, observing the conditions of the plant, soil and environment. Considering the importance of the sensors for efficient irrigation management, the objective of the present work was the recommendation of capacitive sensors to evaluate the soil moisture in porous media, through the following steps: i) Characterization of the capacitive humidity sensor; ii) Correlation of the sensor parameters with the demands of the plant; iii) Remote monitoring of field cropping. Thus, real-time data collection is combined with efficient techniques for remote monitoring, essential for agile decision making. The present study was implemented at the Agricultural Electronics and Mechanics Laboratory (LEMA), at the Agricultural Engineering Department (DENA) of the Agricultural Sciences Center (CCA) of the Federal University of Ceará (UFC), Campus do Pici. This way we used Arduino Uno, ESP 8266, Solenoid Valves, Centrifugal Pumps, Relays, Reservoirs; Source + Transformer and Bridges H. Thus, with the possession of these items, the control and data acquisition system was developed, the Arduino UNO model plate was used as hardware. To enable remote access, either for control or request data, a Wi-Fi ESP 8266 module connected to the Arduino was used. The calibration test was conducted in a PVC tube with the sensor inserted along the soil forming blocks, under which it was inserted up to 24 cm deep from the lower limit of the cylinder. In this calibration, 10 kg of dry, aerated, sieved and sieved soil were added in order to know its overall density. Using the Google Drive, "Google Spreads" and "Script to Google Apps" tools, it was possible for NodeMCU to send the data to a host, which captured the information posted in the script and fed an online spreadsheet. The codes for NodeMCU and Arduino were written and recorded using Arduino's own integrated development environment (IDE). Two (02) field sensors, chosen at random, were continuously monitored. The sensor plate was in the depths of 5 - 15 cm and 20 - 30 cm and were requested and stored data every 25 seconds, from September 27, 2018 until November 5, 2018. The other sensors were monitored with some readings throughout the day, aiming to monitor the variation generated by irrigation. The readings obtained were consistent with those expected in the literature, as well as satisfactory in the determination of the irrigation start and stop points.

Keywords: Precision Agriculture. Soil moisture. Cultivation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Cultura do meloeiro na área experimental do LEMA na UFC.....	22
Figura 2 -	Caixa de Controle confeccionada para o campo.....	23
Figura 3 -	Esquema de controle das bombas.....	24
Figura 4 -	Sensor capacitivo de umidade do solo desenvolvido pelo LEMA.....	25
Figura 5 -	Aplicação termo retrátil sobre o sensor capacitivo de umidade do solo..	26
Figura 6 -	Distribuição espacial dos sensores na área.....	27
Figura 7 -	Teste no Osciloscópio e Freqüencímetro.....	27
Figura 8 -	Teste de calibração no tubo PVC.....	28
Figura 9 -	O Percolado durante a Calibração no tubo PVC.....	30
Figura 10 -	Adição de água no tubo PVC.....	31
Figura 11 -	Calibração no tubo PVC.....	31

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Wi-fi	<i>Wireless Fidelity.</i>
IoT	<i>Internet of things.</i>
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial.
PVC	Material plástico de policloreto de vinil.
ESP	Microcontrolador ESP8266
NODE-MCU	Placa de desenvolvimento que vem com ESP8266
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado, um ambiente integrado para desenvolvimento de software

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 Agricultura 4.0	14
2.2. A cultura do Melão	15
2.3. Irrigação por Gotejamento	16
2.4. Determinação da umidade do solo	16
2.5. Monitoramento remoto de dados	18
2.6. Sensor Capacitivo.....	18
2.7. Histórico de trabalhos do Lab. de Eletrônica e Mecanização Agrícola.....	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Sistema de irrigação automatizado.....	21
3.2. Adaptação do Sensor	24
3.3. Avaliação do Sensor em laboratório	27
3.4. Sistema de Monitoramento	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 Desenvolvimento dos Sensores.....	30
4.2 Implementação do teste	30
4.3 Análise de laboratório.....	31
4.4 Análise do Sensor em campo	33
5. CONCLUSÃO.....	40
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
6.1 Trabalhos Prévios	41
6.2 Trabalhos Futuros.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
APÊNDICE A – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS	44
APÊNDICE B – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS	47
APÊNDICE C – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS.....	51

1. INTRODUÇÃO

A expansão da agricultura foi fundamental para manutenção da crescente população mundial que se estabelece. Contudo, verifica-se que as fronteiras agrícolas se aproximam do limite, contribuindo para uma constante pressão para expandir a produtividade, sem o incremento na área cultivada. Soma-se a isso, as incertezas climáticas que vêm provocando no Brasil longos períodos de estiagens, inclusive quebras de safra, demonstrando a necessidade de os produtores rurais gerenciarem a água com a maior eficiência a fim de gerar a máxima produção com o menor consumo deste bem.

Frente a este desafio, tais pressões têm impulsionado o aprimoramento das técnicas agrícolas, reafirmando um conceito a ser incansavelmente buscado: a Agricultura de Precisão. Diversas técnicas de manejo vêm sendo aprimoradas ao longo dos anos, como o melhoramento genético, mecanização, defensivos agrícolas, controle biológico e o manejo da irrigação. Sendo esta última, uma das técnicas de maior impacto sobre a produção, promovendo, ao longo da história, o desenvolvimento de grandes civilizações que otimizaram os equipamentos e sistemas de irrigação. Além de sua importância para produção agrícola, deve-se salientar a crescente preocupação com a diminuição de custos na irrigação, a proteção dos lençóis freáticos e, em uma visão sinótica, a conservação da bacia hidrográfica.

Para o desenvolvimento deste modelo de agricultura faz-se necessário lançar mão de diversas tecnologias, que abrangem áreas da meteorologia, máquinas e implementos agrícolas, eletrônica, geoprocessamento, entre outros que irão fundamentar a decisão por parte do agricultor. Assim, é imperioso não apenas conhecer a área de que dispõe, mas realizar um monitoramento eficiente para uma ação rápida frente aos acontecimentos em sua propriedade.

Assim, busca-se mitigar o desperdício dos recursos hídricos e otimizar o potencial produtivo da planta. Para tanto, são necessários equipamentos e técnicas capazes de determinar o quanto e quando irrigar, observando as condições da planta, solo e ambiente.

Para determinar a lâmina de água a ser aplicada na irrigação é necessário observar o armazenamento de água no solo, isto é, monitorar sua umidade. Um sistema que vise manter um nível preciso de água pode necessitar diversas irrigações diárias para compensar perdas por evapotranspiração e percolação. Desta forma, erros concernentes ao momento da irrigação ou volume de água aplicada podem resultar em estresse para cultura. Tornando o monitoramento da umidade no solo não apenas crucial, mas também contínuo para que assim possa responder as mudanças do meio.

Na cultura do meloeiro, a irrigação realizada de forma adequada é uma das

práticas agrícolas de maior impacto para desenvolvimento, produtividade e qualidade dos frutos, como afirma Souza *et al.* (2011). A escolha de um sistema de irrigação ou suprimento de água não adequados ao manejo, podem acarretar em diversos problemas para a planta, entre eles: *i*) maior incidência de doenças fúngicas e bacterianas, *ii*) menor eficiência no uso de água, energia e nutrientes, baixa produtividade e; *iii*) pior qualidade de frutos. O autor destaca, desta forma, a importância de um monitoramento frequente e assertivo para o cultivo do melão.

Concernente ao manejo da irrigação, ressalta-se a necessidade de sensores que permitam o monitoramento dos seus dados. Sensores do tipo capacitivos vêm sendo pesquisados como alternativa economicamente viável e de boa precisão, cujo princípio de funcionamento é baseado na capacitância elétrica no qual características do ambiente onde o sensor capacitivo é inserido, a permissividade do meio, a condutividade elétrica, características geométricas como a área e a distância entre as placas do sensor são levadas em consideração na estimativa da quantidade de água no solo. Cruz *et al.* (2010) salienta que sua aplicação se tem difundido bastante em pesquisas relacionadas à irrigação principalmente por ser um método não destrutivo. SILVA (2005) aponta que os sensores determinam o conteúdo de água do solo de forma indireta, mas destaca a importância de calibrações para os solos a serem monitorados, em razão das diferenças físicas que os mesmos apresentam.

Segundo QUEIROZ *et al.* (2005), uma cultura completamente monitorada por sensores, pode utilizar-se dos dados coletados para se automatizar o processo de aplicação de água. Mostrando que o manejo automático da irrigação pode substituir o manual sem prejuízos para a produção e, possivelmente, com redução no consumo de água através da determinação precisa do conteúdo de água no solo.

Tendo em vista a importância dos sensores para manejo eficiente da irrigação, o objetivo do presente trabalho foi a investigação de sensores capacitivos para avaliação da umidade do solo em meios porosos, modelo desenvolvido conforme a patente **PI 0604585-5 A2** (TEIXEIRA, 2008) para o monitoramento da cultura do meloeiro. Para alcançar tal objetivo, passa-se pelas seguintes etapas: *i*) Investigação do sensor capacitivo de umidade; *ii*) Avaliação do sensor em laboratório e em campo; *iii*) Monitoramento remoto. Assim, alia-se a obtenção de dados em tempo real às técnicas eficientes para o monitoramento remoto, essenciais para ágil tomada de decisão.

2. REFERÊNCIAL TEÓRICO

2.1 Agricultura 4.0

A agricultura de precisão tem enfatizado principalmente a variação de taxas de nutrientes, a semeadura e a aplicação de pesticidas, mas em vários locais de pesquisa, equipamentos para irrigação foram desenvolvidos para explorar o potencial de gerenciamento espacial da irrigação. As necessidades de pesquisa crítica incluem sistemas aprimorados de apoio à decisão e monitoramento em tempo real, além de um feedback para o controle da irrigação (SADLER, 2005).

Após 20 anos de pesquisa em “Agricultura de precisão”, existem hoje inúmeros tipos de sensores para registrar parâmetros agronomicamente relevantes, bem como muitos sistemas de gerenciamento de fazendas. Máquinas eletronicamente controladas são o estado da arte. A tecnologia é capaz de automatizar sistemas ciber-físicos por meio de redes entre diferentes máquinas, denominando-se “Agricultura 4.0”, fazendo referência a uma 4ª revolução industrial que está sendo sentida em diversos setores. Apesar deste avanço, ainda não se pode afirmar que a agricultura de precisão tenha sido amplamente estabelecida na produção agrícola (WELTZIEN, 2016).

Ao longo de seu trabalho Weltzien chama atenção para a o desenvolvimento de tecnologias que diretamente impactem a produção agrícola, acrescentando que mesmo com a Agricultura 4.0, somente o que é semeado pode ser levado para casa a partir do campo. Por exemplo, o risco climático não será menor, embora a janela de colheita possa ser melhor posicionada ao se usar a tecnologia da informação. Mesmo este modelo de Agricultura mostrará apenas resultados modestos se não se tomar cuidado para que parte do valor agregado através das novas tecnologias esteja realmente sendo associado aos produtos agrícolas. Nesse sentido deve-se observar a importância de gerar tecnologias que efetivamente reduzam processos que são realizados no campo, Weltzien reforça que ainda a importância de se concentrar no alvo. Pensando nessa demanda, o presente trabalho, busca lançar fundamentos para uma tecnologia capaz de não apenas otimizar a leitura de umidade no solo, mas também automatizar um processo oneroso para o produtor.

A tecnologia da agricultura de precisão é um tipo de sistema de gestão agrícola, com base na variabilidade espacial e temporal do rendimento de culturas em pequenas seções e fatores circunstâncias no campo. Medir em tempo real e eficientemente as informações que variam, espacial e temporalmente, e que influenciam na produção das culturas é a chave para implementar a agricultura de precisão (XIWEN, 2006).

As características dinâmicas das operações agrícolas exigem uma abordagem voltada para o futuro, para responder às necessidades de fertilizantes, pesticidas e água de maneira proativa em partes específicas de um campo (ZHANG, 2002). Além da importância de um monitoramento constantemente atualizado, é importante que seja distribuído espacialmente de forma a representar a área e perceber peculiaridades em cada seção da área.

2.2. A cultura do Melão

O Meloeiro (*Cucumis melo L.*) pertence à família *cucurbitaceae*, uma família de plantas dicotiledôneas gamopétalas, com hastes rastejantes, frequentemente com gavinhas de sustentação (COSTA, 2008). O excelente desenvolvimento da cultura, as elevadas produções e alta qualidade do fruto no Nordeste se deve, principalmente, às condições ótimas de clima para o seu desenvolvimento como a intensidade e duração de luminosidade, temperatura alta e a precipitação pluviométrica baixa (SILVA *et al.*, 2002).

O estresse hídrico para a cultura é fator preponderante na qualidade e quantidade dos frutos. A alta incidência solar sobre a cultura, que na região Nordeste é privilegiada, conduz a mesma à níveis preocupantes de temperatura do solo e evapotranspiração. A evapotranspiração é um fenômeno abiótipo caracterizado pela perda da água existente no solo mediante os efeitos da radiação solar, da velocidade do vento, da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar que circundam a planta. Quando uma cultura atinge 1 mm de evapotranspiração significa dizer que a vegetação está transferindo, desde o solo até a atmosfera, 10 m³ de água por hectare, isto é, 1 litro de água por metro quadrado de terreno. Assim, reconhece-se que para cada grama de matéria seca acumulada, a planta demandou centenas de grama de água do reservatório solo, como denomina Reichardt & Timm (2004), e neste ínterim, a planta acumulou em si o suficiente para assegurar seus processos fisiológicos. A redução de disponibilidade de água no solo representa fator ambiental de efeito limitante ao crescimento, rendimento e qualidade da produção (HOSTALÁCIO & VÁLIO, 1984).

Atualmente, o melão é uma das olerícolas de maior expressão econômica e social para a Região Nordeste do Brasil. A grande questão que exige um gerenciamento preciso é que durante o processo de evapotranspiração a água é “bombeada” para a atmosfera em um comportamento regular, que tende a acompanhar a incidência de radiação solar e conseqüentemente a oscilação de temperatura, enquanto o processo de reposição natural de água no solo depende fenômenos atmosféricos não constantes. Desta forma, evidencia-se um déficit diário de água no sistema, que só pode ser contrabalanceado pela irrigação artificial.

Uma alternativa para se otimizar este processo é a recomendação do *mulching* de plástico, que reduz consideravelmente o processo de evaporação da água do solo. Com esta técnica toda a leira fica recoberta por uma camada de plástico e a incidência solar não é direta. Sobre o solo, cria-se um microclima mantendo uma certa umidade de modo que adia as novas reposições de água, cuja perda fica restrita à transpiração.

2.3. Irrigação por Gotejamento

O suprimento de água às plantas, no momento propício e na quantidade demandada pela cultura, é fundamental para que se produzam frutos com qualidade satisfatória aos diversos mercados. Por proporcionar maior produtividade e frutos de melhor qualidade, a irrigação do meloeiro nas principais regiões produtoras do Brasil é realizada principalmente por gotejamento (COSTA, 2008). Por esse meio, a água é aplicada no volume de solo ocupado pelo sistema radicular da cultura sem que a parte aérea e a faixa entre fileiras de plantas sejam molhadas. As principais vantagens são a economia de água e de mão de obra, alta eficiência do uso da água e possibilidade de se realizar a fertirrigação. A principal restrição é o maior custo de implantação por unidade de área.

A irrigação por gotejamento consiste na manutenção de uma faixa molhada junto às raízes das plantas próximo a fita gotejadora, aproximando esta região do solo próxima à capacidade de campo. A vazão do gotejador pode variar de 0,5 a 4,0 L.h⁻¹. Como regra geral, recomenda-se o espaçamento entre emissores de 0,20 m a 0,30 m para solos de textura grossa e de 0,40 m a 0,60 m para solos de texturas média e fina (BRAGA, 2010)

2.4. Determinação da umidade do solo

O consumo de água por parte do setor da agropecuária é responsável pela maior parcela do consumo de água no Brasil, sendo responsável por 70% do consumo de água doce no país (FAO, 2018). Porém, 50% desse volume é desperdiçado ao longo do processo produtivo, algumas das razões para esse desperdício são: irrigações mal executadas e falta de controle do agricultor na quantidade usada em lavouras e no processamento dos produtos segundo os dados apresentados pelo Fundo das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), apresentadas no documento “*Rumo a um futuro de segurança hídrica e alimentar*”, no Fórum Mundial da Água.

Entende-se que o estado de umedecimento mais comum em solos agrícolas é o de não-saturação, pois os processos que permeiam a relação solo-água-planta-atmosfera se dão,

majoritariamente, em solos com conteúdo de água abaixo da saturação. Tais circunstâncias viabilizam a aeração dos sistemas radiculares, necessidade intrínseca da grande maioria das plantas cultivadas.

No contexto da movimentação da água no solo não saturado, a quantificação do movimento da água dentro do solo torna-se mais complexa do que o é para solos saturados. A primeira grande diferença reside no fato de a condutividade hidráulica não ser um fenômeno constante, como no solo saturados. Com a redução do conteúdo de água nos solos há uma diminuição da área útil ao fluxo e os poros vazios funcionam como barreiras ao movimento de água, diminuindo o valor da condutividade hidráulica, como destaca Amaro Filho (2008). Assim, os poros preenchidos com ar contribuem para a tortuosidade do fluxo.

A equação de Darcy, reformulada por Buckingham explicita o reconhecimento de que em solo não saturado, a condutividade hidráulica varia com a quantidade de água dentro do solo, como apresentado na Equação 1, a seguir:

$$q = -K(\theta) \frac{\Delta\psi}{\Delta S} \quad (1)$$

Em que: q : representa a densidade do fluxo ($L \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$);
 $K(\theta)$: representa a condutividade hidráulica (L/s);
 $\Delta\Psi$: representa o gradiente de Potencial Mátrico (m/m);
 ΔS : representa a variação de posição qualquer no perfil (m).

Como o Potencial Mátrico é uma função do conteúdo de água, também o gradiente mudará com a variação da umidade. Assim, observa-se que o fluxo será ascendente quando $q > 0$ e descendente quando $q < 0$.

Existem métodos diretos e indiretos para determinar a umidade de um solo. O método direto mais conhecido é o método termogravimétrico, que se baseia em realizar pesagens de amostras de solo anterior e posteriormente ao seu acondicionamento em estufa a $105-110^\circ C$, para secagem em recipientes abertos por um período de 24 horas (MANTOVANI, 2008). Esse é um método preciso e direto, mas que apresenta como desvantagem o tempo demandado para a obtenção do resultado e o fato de ser destrutivo.

Já entre os indiretos, ressaltam-se as metodologias dos blocos de resistência elétrica, o da sonda de nêutrons, o da radiação gama, a tensiometria, a tomografia computadorizada e a reflectometria no domínio do tempo (ALBUQUERQUE; DURÃES, 2008). Como no manejo do solo recomenda-se um método de determinação de umidade que

seja mais rápido e, de preferência, que não necessite de análises destrutivas, são mais indicados os métodos indiretos que levam em consideração as propriedades físicas, altamente relacionadas à quantidade de água presente no meio. Além dos métodos indiretos supracitados ressalta-se o método capacitivo, que tem ganhado espaço entre as pesquisas por obter bons resultados (ROCHA NETO *et al.*, 2015) (CRUZ *et al.*, 2010) em suas aplicações.

2.5. Monitoramento remoto de dados

Computação em nuvem (*Cloud Computing*) e Internet das coisas (*IoT*) são conceitos surgidos desde a década de 1960. Eles são o núcleo da indústria de tecnologia da informação da nova geração. As próximas grandes mudanças na era da computação provavelmente estarão distantes do desktop tradicional, pois a Internet das Coisas, assume o pressuposto de que muitos dos objetos devem estar na rede, de uma forma ou outra (GUBBI, 2013).

Reconhecendo-se que a agricultura mundial vem passando por um processo de industrialização, valendo também para a brasileira, em sua busca por mecanização e novas tecnologias, é essencial destacar o desenvolvimento da informatização agrícola neste ínterim, pois se tornou a tendência de desenvolvimento para a agricultura mundial (TONGKE, 2013).

A integração de *IoT* e *Cloud Computing* é o que permitiu a criação de ambientes inteligentes (GUBBI, 2013). Para promover o rápido desenvolvimento da informatização agrícola é necessário usar a tecnologia de computação em nuvem e ferramentas de monitoramento, para construir uma “Computação Agrícola nas Nuvens” (TONGKE, 2013).

Como consequência natural do aumento do número de sensores e outros dispositivos embarcados, um grande volume de dados é gerado – *Big Data* – e extrair tais informações úteis de um ambiente complexo é desafiador em uma pesquisa de inteligência artificial. Os métodos de última geração, usam métodos de aprendizagem, onde eventos pré-definidos e anomalias de dados são extraídos usando aprendizagem supervisionada e não supervisionada, conceito esse que origina o *Datamining* (GUBBI, 2013).

Weltzien (2016) confirma o questionamento de Tonggke (2013), sobre a informação não ser suficientemente utilizada pelos agricultores e o efeito das informações sobre a agricultura e a área rural não ser tão expressiva. Assim, ambos apontaram a necessidade de mecanismos que gerem informações uteis para os produtores.

2.6. Sensor Capacitivo

Os sensores do tipo capacitivos, têm seu princípio de funcionamento baseado na capacitância elétrica. Em junho de 1980, G. Clarke Topp, J. L. Davis e P. Annan, publicaram

um documento (*Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines*) que abriu o precedente para possibilitar medir uma propriedade elétrica do solo (a permissividade dielétrica) e correlacionar essa propriedade elétrica com o teor de água no solo.

Topp *et al.* (1980) mostrou que o teor volumétrico de água do solo pode ser determinado a partir da constante dielétrica aparente dos solos, independentemente do tipo de solo, temperatura do solo e teor de sal solúvel.

Os métodos de caracterização da constante dielétrica do solo são amplamente usados, e as técnicas mais comuns são os sensores capacitivos e os reflectômetros no domínio do tempo (TDR's) para a medição da permissividade do solo *in loco* (SILVA, 2005). Entre as placas capacitivas, é inserido um dielétrico de forma que suas propriedades interferem na capacitância e, conseqüentemente, no sinal de frequência elétrica gerado na saída do circuito elétrico desse sensor.

Sua aplicação tem-se difundido bastante em pesquisas relacionadas à irrigação por ser um método não destrutivo. Esses sensores promovem alternativas para monitorar o teor de água no solo. Todavia, Coelho & Teixeira (2004) explicaram a ocorrência de oscilações nas respostas dos sensores, quando expostos a variações de temperatura, bem como Silva (2005).

O trabalho de pesquisas ao longo dos anos culminou em uma patente, depositada no INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) por Teixeira (2008) (PI 0604585-5 A2), intitulada “Sensor capacitivo para determinação da umidade em meios porosos”. Assim lançaram-se os fundamentos que possibilitaram não apenas este, mas diversos outros trabalhos, aprimorando o monitoramento da umidade do solo e facilitando a tomada de decisão por parte do produtor rural.

2.7. Histórico de trabalhos do Lab. de Eletrônica e Mecanização Agrícola

2005 - DISSERTAÇÃO: Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade do solo (Ilda de Oliveira Silva)

- Desenvolvimento do Sensor Capacitivo de umidade do solo

2009 - DISSERTAÇÃO: Estratégias de monitoramento e automação em sistemas de irrigação utilizando dispositivos de comunicação em redes de sensores sem fio. (Tadeu Macryne Lima Cruz)

- Curva de calibração de sensores capacitivos de umidade do solo

2013 - TESE: Plataforma de controle sem fio para irrigação de precisão. (Clemilson Costa dos Santos)

- Módulos para automação do sistema de irrigação
- Controle sem fio da irrigação
- Indicação de Dispositivos moveis para controle

2013 - TESE: Desenvolvimento, implementação e avaliação de uma estação agrometeorológica automática e sensores ambientais (Francisco José Firmino Canafistula)

- Desenvolvimento de circuito eletrônico para carga de bateria com painel solar.

2013 - DISSERTAÇÃO: Automação de sistema de irrigação em malha fechada utilizando rede sem fio de sensores capacitivos de umidade do solo (Henrique Souza Vasconcelos)

- Controle em malha fechada
- Software para gerenciamento da irrigação

2016 - DISSERTAÇÃO: IrrigBlue: módulo de controle e aplicativo Android para o manejo da irrigação (Amnon Amoglia Rodrigues)

- Aplicativo para manejo da irrigação
- Módulo de controle com comunicação via Bluetooth
- Uso de dispositivos móveis para controle

2017 - DISSERTAÇÃO: Desempenho do sensor capacitivo em meios porosos em diferentes condições de salinidade (Clarissa Pereira Dos Santos)

- Verificação do sensor em meios porosos submetido a meios salinos
- Utilização de diferentes resistores no circuito RC montado

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo foi implementado no Laboratório de Eletrônica e Mecânica Agrícola (LEMA), no Departamento de Engenharia Agrícola (DENA) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici.

Nas dependências da área experimental do Laboratório foi conduzido um experimento de avaliação do estresse salino sobre a cultura do meloeiro (Fig. 1), sendo implantada a variedade Natal. Tal pesquisa consistiu na aplicação de água com diferentes teores de salinidade – a saber 0, 2, 3, 4 e 5 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ e cada tratamento possuía 4 repetições, totalizando 20 canteiros.

Figura 1 – Cultura do meloeiro na área experimental do LEMA na UFC.



Fonte: LEMA (2018).

3.1. Sistema de irrigação automatizado

Para permitir um acionamento simplificado do sistema de irrigação, foi utilizado um sistema similar ao modelo proposto por Rodrigues (2017), fundamentado em sensores capacitivos de umidade para tomada de decisão na irrigação. Com a distinção de que o autor utilizou um módulo *Bluetooth* e no presente trabalho foi utilizado um módulo de acionamento via Wi-Fi.

Quanto ao detalhamento do *hardware* responsável pelo acionamento do sistema de irrigação, ressalta-se que na avaliação da cultura do meloeiro os tratamentos demandavam individualidade, sendo referentes a níveis de salinidade diferentes, fazendo-se necessário ter tanto reservatórios quanto acionamentos independentes para cada nível de salinidade.

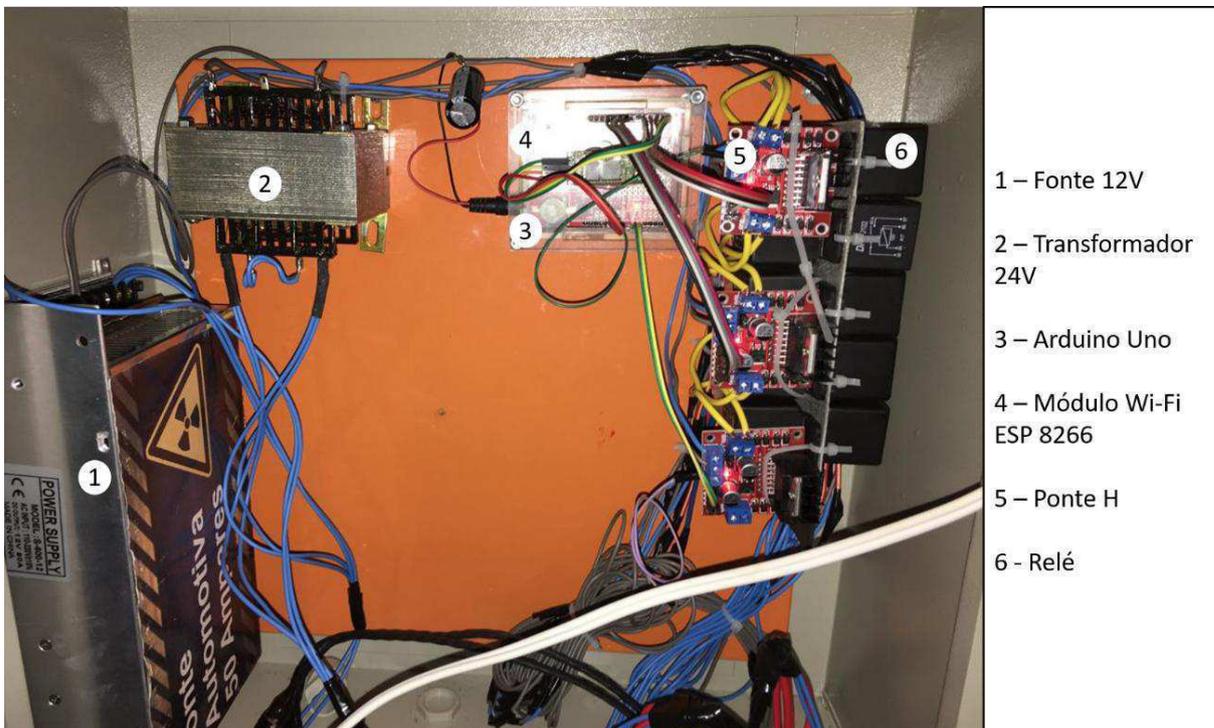
Para o acionamento independente das bombas foi necessário a utilização de um conjunto Caixa-Bomba-Solenóide para cada tratamento. Dessa forma foram necessários: *i*) um (01) Arduino Uno; *ii*) um (01) ESP 8266; *iii*) cinco (05) Válvulas Solenoide; *iv*) cinco (05) Bombas; *v*) dez (10) Relés; *vi*) cinco (05) Reservatórios; *vii*) um (01) Fonte + Transformador; *viii*) três (03) Pontes H; *ix*) cinco (05) Chave contatora; *x*) dez (05) Relés de sobrecarga.

Assim, de posse destes itens, procedeu-se o desenvolvimento do sistema de controle e de aquisição de dados, foi utilizado como hardware a placa modelo Arduino UNO. Para possibilitar o acesso remoto, seja para controle ou requisitar dados foi utilizado um módulo Wi-Fi ESP 8266 ligado ao Arduino. O Arduino recebe sua alimentação através dos 12V da fonte, e é ligado as portas de comando da ponte H, sendo responsável por acionar todas as válvulas e também o módulo relé que irá acionar o motor de indução trifásico.

A fonte (12V e 50A) é ligada a rede (AC 220V) e converte para DC 12V, que segue para ponte H. A ponte H faz o acionamento dos relés, que estão ligados aos 24V do transformador, pois as válvulas solenoides são acionadas com 24V.

A Figura 2 apresenta os componentes utilizados dentro da caixa de controle.

Figura 2 – Caixa de Controle confeccionada para o campo.

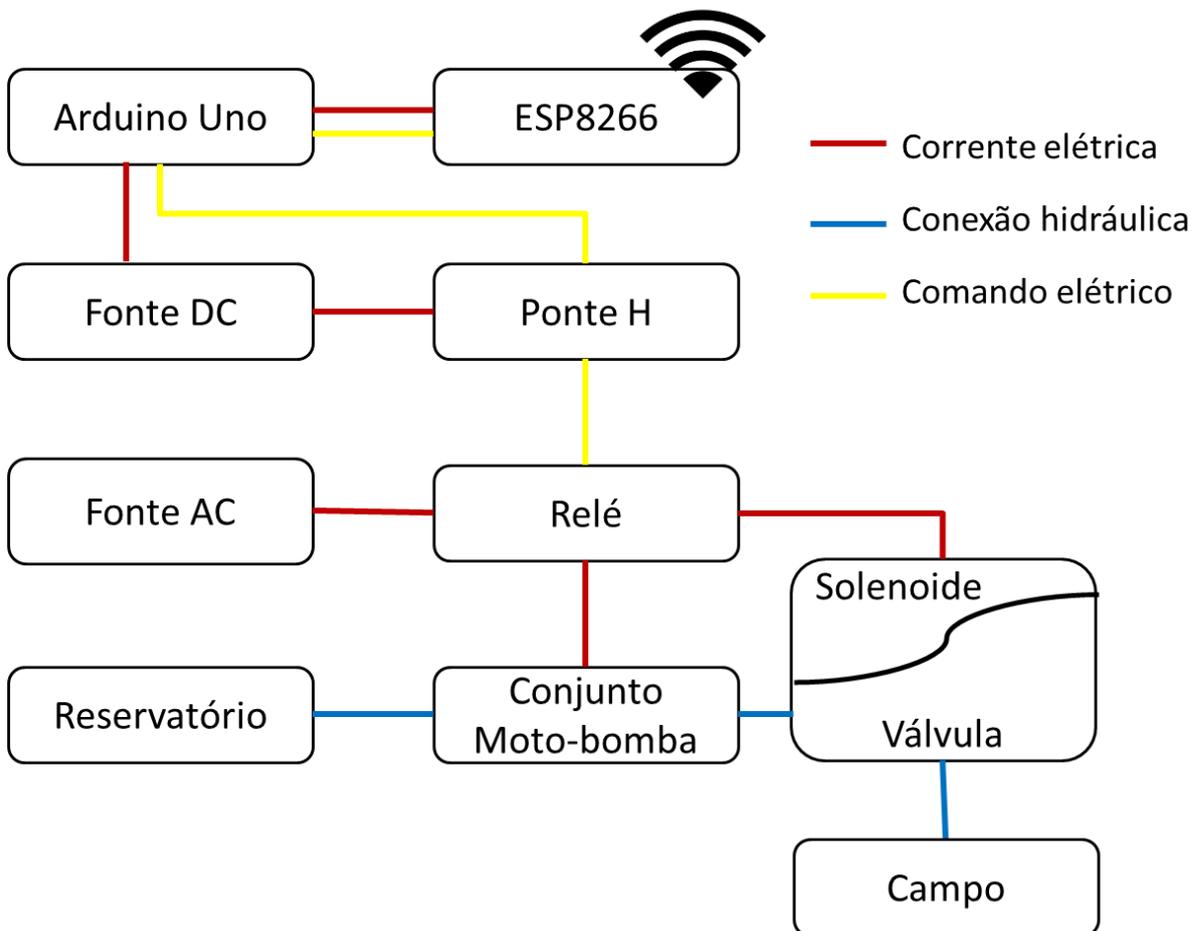


Fonte: Autor.

Neste trabalho utilizaram-se três Pontes H para o controle de 10 relés, 5 para o acionamento das válvulas hidráulicas acionadas por solenoides. As válvulas solenoides

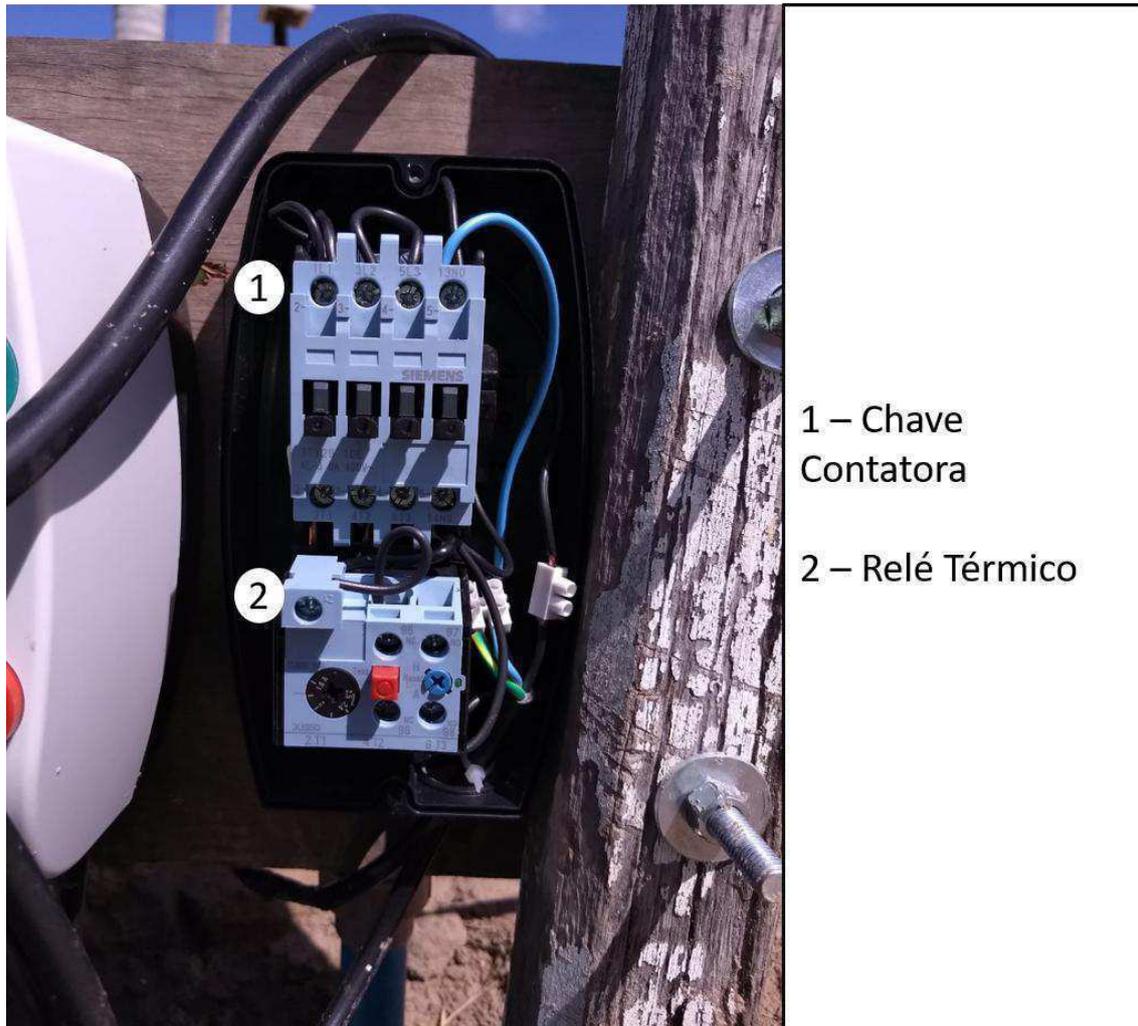
utilizam o pulso de corrente elétrica para manter uma posição definida sem a aplicação constante de uma corrente elétrica, a variação da sua posição com o pulso é que irá permitir a passagem de água no sistema. Além das válvulas, a Ponte H também controla outros 5 módulos relé, que foram utilizados para o acionamento da chave contatora do conjunto motobomba do sistema de irrigação. A chave contatora está ligada a rede de energia (220V AC) que faz a alimentação do conjunto motobomba, e ligada a chave está um relé térmico, que protege o sistema contra sobrecargas, a Figura 3 mostra a ligação entre os componentes supracitados e a Figura 4 mostra a chave contatora e o relé térmico.

Figura 3 – Esquema de automação para acionamento do conjunto motobomba



Fonte: Autor.

Figura 4 – Chave contatora e o relé térmico.

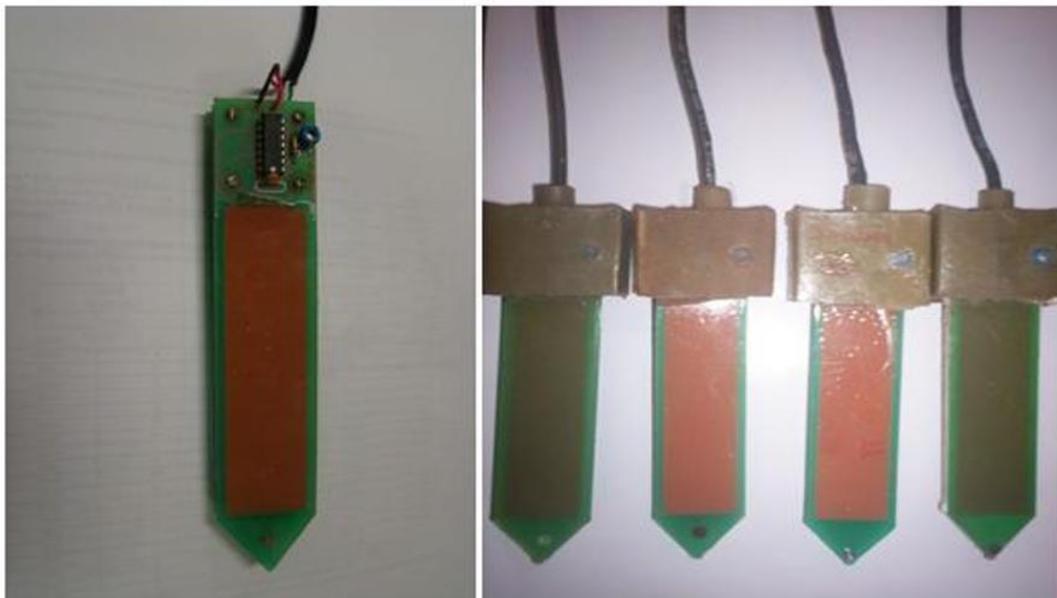


Fonte: Autor.

3.2. Adaptação do Sensor

Com intuito de otimizar o manejo da irrigação, faz-se necessário o uso de sensores para monitoramento da umidade do solo, para tal foram utilizados sensores capacitivos. A modelo base para o trabalho foi o desenvolvido por Silva (2005) e patentado por Teixeira (2008), que foi atualizado por Vasconcelos (2013), recebendo agora pequenas alterações. A Figura 5 mostra o modelo de sensor utilizado por Vasconcelos (2013).

Figura 5 – Sensor capacitivo de umidade do solo desenvolvido segundo a patente PI 0604585-5 A2 (TEIXEIRA, 2008)

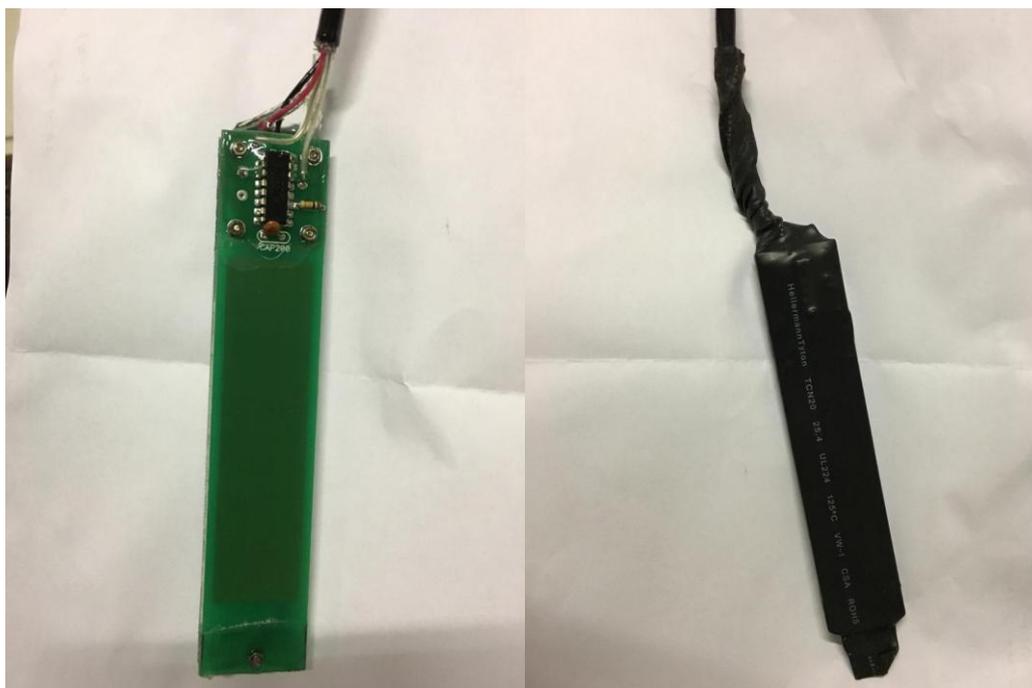


Fonte: Vasconcelos (2013).

O funcionamento do sensor é similar ao de um capacitor, fornecendo uma frequência de carga e descarga (RODRIGUES, 2017). Vasconcelos (2013) salienta que a frequência depende diretamente do material entre as placas do sensor (dielétrico), isto é, do solo. Depois de instalado no solo, a fase sólida do solo praticamente não varia. Em contrapartida, tanto a fase líquida e a gasosa variam devido à passagem ou acúmulo de água nesta região, modificando a frequência do sensor de acordo com a variação do teor de água no solo que leva a variação da capacitância (VASCONCELOS, 2013).

Porém, no novo modelo de sensor proposto, o dielétrico será o ar, no lugar do solo, isto é, as placas paralelas do sensor estarão isoladas do meio externo, de forma a testar se a leitura apenas de borda do capacitor é suficiente para leitura da umidade do solo, diferente do proposto nos trabalhos prévios supracitados. A Figura 6 representa o novo modelo de sensor, sendo utilizado o encapsulamento com termo-retrátil, para garantir isolamento físico da parte interna do sensor com a umidade do solo. Sendo assim, realizado apenas a leitura de bordas das placas paralelas.

Figura 6 – Aplicação termo retrátil sobre o Sensor capacitivo de umidade do solo.



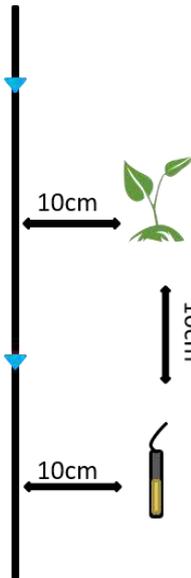
Fonte: Autor.

As demais características como: tamanho das placas, distância entre as placas, relação resistor-capacitor (circuito RC), oscilador, CI (circuito Integrado) e demais componentes foram mantidas, tendo em vista a metodologia proposta por Silva (2005).

Os sensores foram alocados na área de forma a abranger todos os tratamentos – 0, 2, 3, 4 e 5 dS.m^{-1} – sendo em cada um deles posicionado um sensor em uma profundidade, e em um dos tratamentos (4 dS.m^{-1}) foram alocados dois (02) sensores, representativo das duas camadas mais superficiais do solo, respectivamente de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm. Desta maneira, foi possível monitorar a água em profundidade e totalizando os seis (06) sensores utilizados para o monitoramento.

O sensor foi alocado de forma equidistante da planta para a fita gotejadora e da fita para o sensor, ou seja, a planta dista 10 cm da fita gotejadora e o sensor dista 10 cm da planta e da fita, conforme demonstrado na Figura 7. Com esta precaução, o sensor foi exposto ao monitoramento da umidade da faixa úmida, representante da área umidade disponível para a planta, sem que a maior ou menor proximidade individual entre estes fosse um fator de oscilação na coleta de dados.

Figura 7 – Distribuição espacial dos sensores na área

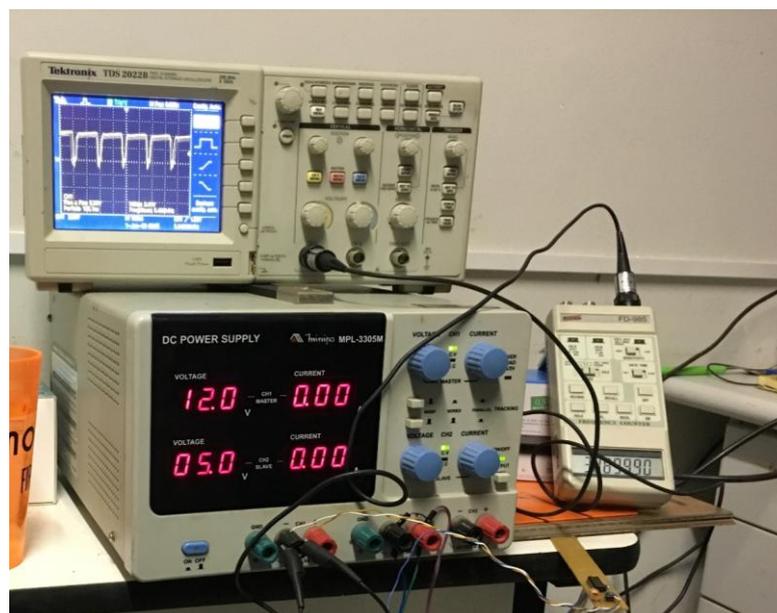


Fonte: Autor.

3.3. Avaliação do Sensor em laboratório

Para o processo de calibração do sensor, o primeiro passo foi verificar no osciloscópio e no frequencímetro o comprimento de onda e a leitura da frequência, para comparar com o valor de frequência recebido e convertido para número digital no Arduino. Como mostra a Figura 8. Foi então verificado que a leitura era constante e que, por tanto, poderia ser realizado o monitoramento dos dados com base nos dados gerado pelo Arduino.

Figura 8 – Teste no Osciloscópio e Frequencímetro.



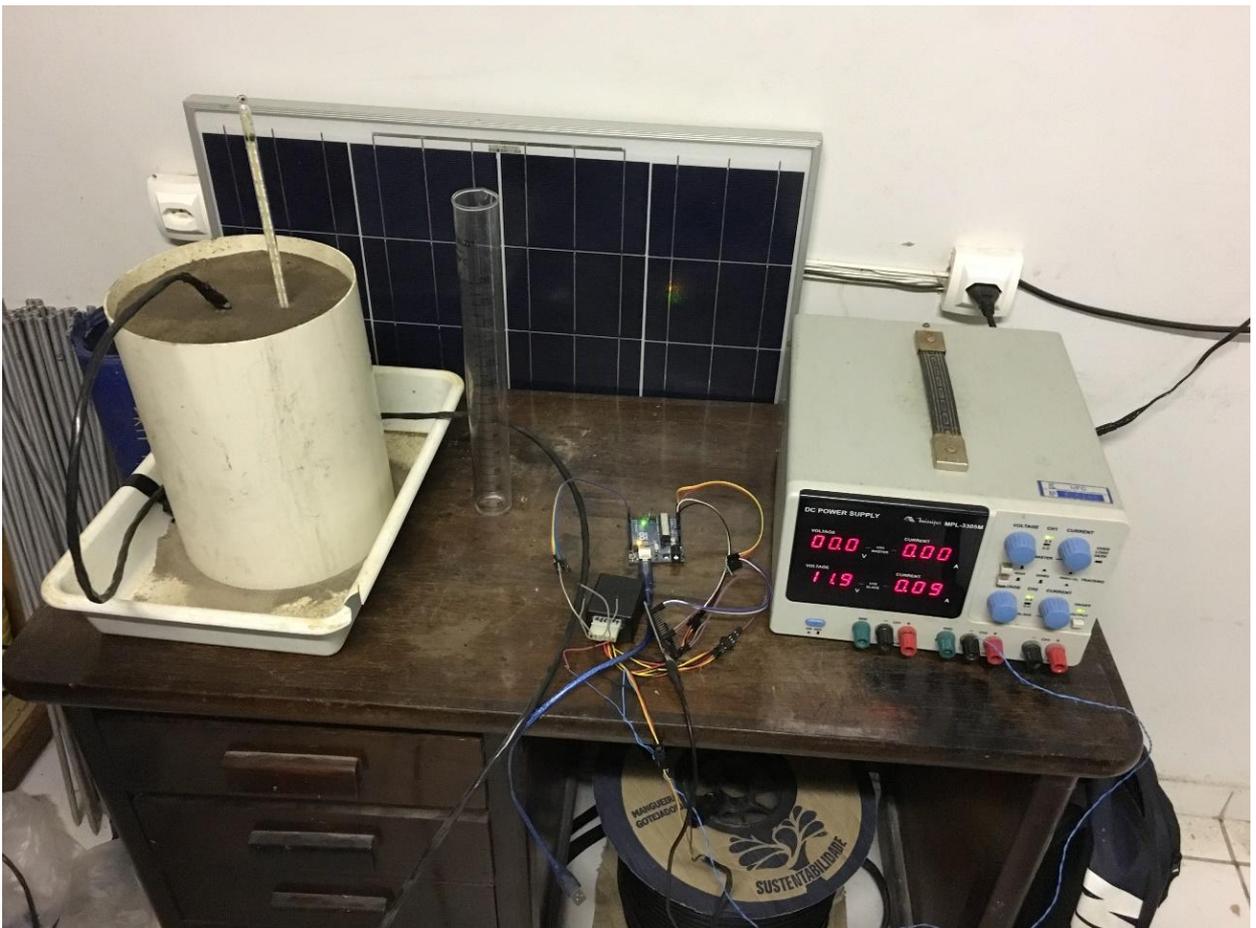
Fonte: Autor.

O Arduino se manteve conectado a um ESP que enviava os dados para uma planilha online, possibilitando assim o acompanhamento remoto dos dados. Foram requisitados dados a cada 15 segundos, com o fim de obter, não apenas os pontos, mas uma curva do comportamento da umidade do solo.

O teste de calibração foi conduzido em tubo de PVC com o sensor inserido juntamente ao solo formando blocos. O nível do solo inserido foi de 24 cm de profundidade do limite inferior do cilindro, cujo diâmetro era de 19.3 cm. Nesta calibração foram adicionados 10 kg de solo seco ao ar, destorroado e peneirado, de forma a se conhecer sua densidade aparente do solo.

Sendo assim, o volume preenchido foi mensurado em 7.021,3 cm³, de forma a se obter uma densidade uniforme no solo de 1,42 g/cm³. Acrescente-se a isto a alocação de um termômetro no solo, como ilustrado na Figura 9, para monitorar e ajudar a manter a faixa de temperatura próximo a 18°C.

Figura 9 – Desempenho do sensor capacitivo em laboratório.



Fonte: Autor.

3.4. Sistema de Monitoramento

A cultura do meloeiro implantado nas dependências da área experimental do LEMA se deu em canteiros envoltos por *mulching* para cobertura do solo, como ilustrado na Figura 1, sob o qual foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, visando a realização da fertirrigação. Objetivou-se monitorar o comportamento da leitura de frequência no solo através do uso dos sensores capacitivos com a finalidade de acompanhar a umidade do solo e a interação água-planta ao longo do dia. Para isso fez-se necessário, não apenas leituras pontuais da umidade do solo, mas a obtenção de leituras ao longo de todo o dia, de forma a se construir uma curva representativa da umidade do solo.

Para tanto, foi montado um sistema de coleta de dados para armazenamento dos dados nas nuvens. Primeiramente, foi necessário a instalação de um roteador na área experimental para possibilitar a conexão *Wi-Fi*. Os dois sensores foram conectados a um Arduino Uno, que requisitava a informação a cada 25 segundos, realizando uma comunicação com uma placa NodeMCU v3 Lolin - com ESP8266 para enviar as leituras para rede. E assim as duas placas trocaram informações entre si, comunicando-se via protocolo serial I2C, por meio da biblioteca *Wire* para realizar esta tarefa.

O protocolo I2C é baseado na interação entre elementos seguindo a hierarquia mestre/escravo, isto é, seria possível utilizar vários dispositivos se comunicando segundo esta premissa. O mestre, em questão, foi placa NodeMCU e o escravo, o Arduino Uno. A função do mestre consistiu em realizar a coordenação de toda a comunicação. Assim, este enviava e requisitava informações ao escravo existente na estrutura de comunicação, o qual, respondia às requisições citadas. Os Apêndices A e B dizem respeito ao código do NodeMCU (mestre) e do Arduino (escravo) respectivamente. O Arduino realiza dez (10) leituras e calcula sua média.

Usando as ferramentas do Google Drive, “Google Planilhas” e “*Script to Google Apps*”, foi possível ao NodeMCU enviar os dados para um *host* (*script.google.com*), que capturava a informação lançada no *Script* e alimentava a planilha *online*. O Apêndice C mostra o código usado no *Google Apps Script* e o Apêndice 1 mostra o código usado para enviar tal código. Os códigos para o NodeMCU e para o Arduino foram escritos e gravados utilizando o ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) do próprio Arduino.

Foram monitorados de forma contínua dois (02) sensores, no tratamento de 4 dS.m⁻¹, escolhido ao acaso. A placa do sensor encontrava-se nas profundidades de 5 – 15 cm e de 25 – 35 cm e foram requisitados e armazenados dados a cada 25 segundos, do dia 27 de setembro de 2018 até 27 de outubro de 2018. Os demais sensores foram monitorados com algumas leituras manuais ao longo do dia, visando monitorar a variação gerada pela irrigação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Desenvolvimento dos Sensores

Foram confeccionados nove (09) sensores, em que certificou-se de que estavam coerentes, na mesma faixa de leitura. Valendo-se do osciloscópio observou-se que a leitura no ar era de 2.440 Hz e na água de 1540 Hz. Notando, assim, uma boa amplitude de leitura com o sensor capacitivo – 900 Hz – entre o meio com menor umidade (ar) e maior umidade (água), sendo razoável admitir que todos os valores de leituras no solo deveriam estar nesta faixa.

Como mencionado por Coelho & Teixeira (2004), a respeito de sensores de umidade e por Silva (2005), a respeito de sensores capacitivos de umidade, foi possível verificar variação das leituras em função da temperatura. A leitura do sensor na água a 15°C foi de 1544 Hz, a 17°C, de 1542 Hz e a 18°C, de 1535 Hz. Por esta razão, realizou-se o teste de calibração dentro de uma sala com temperatura constante e um termômetro o monitorando a temperatura na água para saturação e no solo, uma temperatura de 18 °C.

4.2 Implementação do teste

No tubo PVC com 10 Kg de solo foram adicionados 2.150,0 ml de água, de forma gradual a fim de observar a curva da frequência para cada quantidade de água e aguardando a redistribuição no solo. A água foi sendo adicionada até verificar a saturação do solo pela presença de percolado, como apresentado na Figura 10. Na sequência, foram incrementadas nove (09) porções de 100 ml, em seguida 350 ml, em seguida 150 ml, e por fim três (03) porções de 250 ml, totalizando 2.150,00 ml.

Figura 10 – Avaliação do sensor capacitivo em laboratório.



Fonte: Autor.

4.3 Análise de laboratório

A Figura 11 apresenta a curva da leitura da frequência pelo efeito da adição gradativa de água. Como se observa, a leitura da frequência reduziu gradativamente com o aumento da umidade do solo, corroborando os resultados de Silva (2005). As primeiras frentes de molhamento têm uma curva mais suave, com uma estabilização no final, condizente com o que Bernardo (2008) afirma ao dizer que a velocidade de infiltração diminui com o passar do tempo, por isso há uma queda mais rápida da leitura iminentemente após a irrigação que vai se suavizando com o tempo.

Foram armazenados dados da leitura de frequência a cada 15 segundos, totalizando ao final do teste de calibração 58.991 leituras de frequência feitas pelo sensor.

Figura 11 – Comportamento do sensor em ensaio laboratorial.



Fonte: Autor.

Após a passagem da água pela superfície do solo, ou seja, cessada a infiltração, a camada superior atingiu um “alto” conteúdo de água enquanto as camadas inferiores apresentaram-se ainda com conteúdo inferior. Para efeito prático, Reichardt (1996) afirma que a condutividade hidráulica do solo varia apenas com sua umidade, uma vez que os poros livres de água não contribuem para o fluxo. Ou seja, a medida que a umidade do solo foi aumentando, colaborou para a passagem mais rápida da água. A condutividade é numericamente igual ao volume de um fluido que atravessa, por unidade de tempo. Isto nos leva a concluir que a condutividade é coeficiente que expressa a facilidade com que um fluido é transportado através de um meio poroso e que depende, portanto, tanto das propriedades do meio como das propriedades do fluido (LIBARDI, 2005). Há então, uma tendência de um movimento descendente da água provocando um molhamento das camadas inferiores, dando origem ao fenômeno que recebe o nome de redistribuição.

Em seguida verifica-se (após as irrigações 8 e 9) que a leitura tende a ser mais elevada, apontando uma diminuição da umidade na faixa em que o sensor foi posicionado, devido a uma redistribuição na água no solo, começando a alcançar faixas mais profundas e distantes do sensor. Assim, iniciou-se uma simulação de irrigação mais intensa, de 350 ml, que resulta em uma queda íngreme seguida de uma retomada. Como não atingiu a saturação adicionou-se mais 150 ml, que após sua adição seguiu-se uma retomada, com um incremento mais rápido na leitura da frequência.

Tal fato indica que a água passou mais rapidamente pela faixa do sensor, devido a porosidade do solo estar mais preenchida, redistribuindo-se em camadas inferiores. Um comportamento similar a este ocorre nas irrigações seguintes de 250 ml, nas quais apresentam uma queda acentuada na leitura, pela passagem da água pelo sensor, seguida de uma rápida retomada, tendendo a se aproximar de um valor estacionário. Até a última irrigação de 250 ml, quando o solo atingiu sua capacidade de campo, evidenciada pela estabilização nas leituras e ao fato de as irrigações posteriores resultarem em sua saturação.

4.4 Análise do Sensor em campo

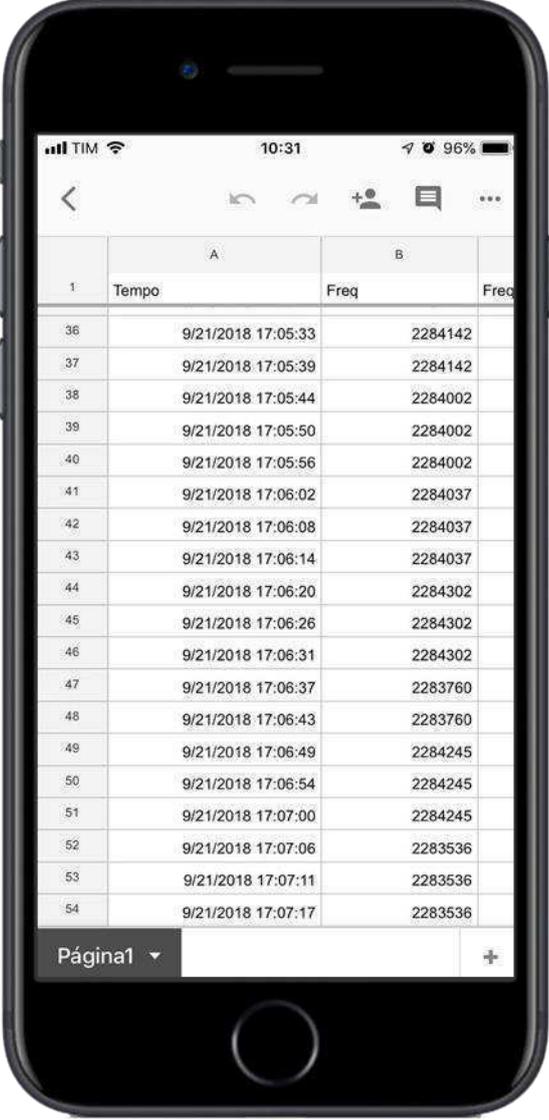
O estágio de frutificação é o período de máxima necessidade hídrica da cultura e se estende do pegamento dos frutos até o início da maturação. Trata-se de um período crítico do meloeiro quanto à exigência de água no solo. O manejo inadequado da irrigação nesse estágio afeta a produtividade e a qualidade de frutos (COSTA, 2008). Ainda segundo o autor, a deficiência de água reduz o pegamento e o tamanho dos frutos, comprometendo a produtividade, enquanto o excesso favorece a ocorrência de doenças e a lixiviação de nutrientes. Por esta razão foi o período escolhido para ser monitorado, um pouco antes da primeira colheita, até o período pós colheita, onde o estresse hídrico não é mais relevante, pois o fruto já foi colhido.

A redução de disponibilidade de água no solo representa fator ambiental de efeito limitante ao crescimento, rendimento e qualidade da produção (HOSTALÁCIO & VÁLIO, 1984). O teor de umidade do solo é importante quando se quer quantificar a água armazenada, aquela a ser colocada no solo, a evapotranspirada ou percolada. Assim um fator importante do presente trabalho foi o monitoramento da umidade do solo, não apenas obtendo pontos referente a medidas diárias, mas um acompanhamento da curva de umidade no solo ao longo do dia.

Os sensores em campo, enviavam dados para planilha Google a cada 15 segundos, totalizando ao final do monitoramento da cultura do melão 303.444 leituras de frequência feitas pelo sensor. Comparado com trabalhos envolvendo tomada de decisão através do uso de sensores capacitivos de umidade realizados anteriormente, como de Silva (2005), Vasconcelos (2013) ou Rodrigues (2017), a leitura em frequência fornecida pelo sensor era convertida em umidade e a tomada de decisão se baseava em um dado momentâneo. Com a obtenção de dados em tempo real e armazenagem remota, a tomada de decisão pode-se basear na curva da umidade do solo, ou seja, no comportamento da umidade no tempo. Além do fato de que a existência de sensores em duas profundidades permite o monitoramento de fenômenos como

o da percolação e a redistribuição natural da água no solo. A Figura 12 mostra o mock-up das leituras do sensor em campo por um dispositivo mobile, mostrando o sistema ser eficiente para monitoramento remoto.

Figura 12 – Mock-up da planilha online dos dados do sensor em campo.



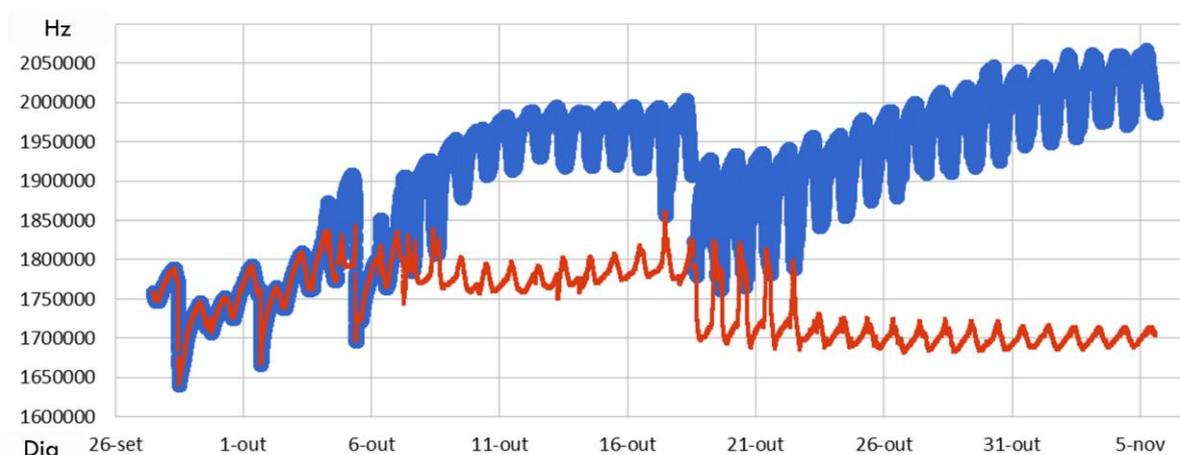
The image shows a smartphone screen displaying a data spreadsheet. The status bar at the top shows 'TIM', signal strength, Wi-Fi, time '10:31', and battery '96%'. The spreadsheet has columns for 'Tempo' and 'Freq'. The data rows show timestamps from 9/21/2018 17:05:33 to 17:07:17 and corresponding frequency values ranging from 2283536 to 2284142. At the bottom, there is a 'Página1' dropdown menu and a '+' icon.

	A	B	
1	Tempo	Freq	Frec
36	9/21/2018 17:05:33	2284142	
37	9/21/2018 17:05:39	2284142	
38	9/21/2018 17:05:44	2284002	
39	9/21/2018 17:05:50	2284002	
40	9/21/2018 17:05:56	2284002	
41	9/21/2018 17:06:02	2284037	
42	9/21/2018 17:06:08	2284037	
43	9/21/2018 17:06:14	2284037	
44	9/21/2018 17:06:20	2284302	
45	9/21/2018 17:06:26	2284302	
46	9/21/2018 17:06:31	2284302	
47	9/21/2018 17:06:37	2283760	
48	9/21/2018 17:06:43	2283760	
49	9/21/2018 17:06:49	2284245	
50	9/21/2018 17:06:54	2284245	
51	9/21/2018 17:07:00	2284245	
52	9/21/2018 17:07:06	2283536	
53	9/21/2018 17:07:11	2283536	
54	9/21/2018 17:07:17	2283536	

Fonte: Autor.

Os dados dos dois sensores coletados foram do dia 27 de setembro de 2018 até 05 de novembro de 2018, completando um mês de dados. Esse período compreendeu a realização da primeira colheita até o final do ciclo da cultura, sendo mantidas as plantas em campo a leitura continuou sendo feita mesmo sem irrigação, para observar o efeito na leitura dos sensores. A Figura 13 mostra o gráfico dos dados coletados nesse período.

Figura 13 – Leituras dos sensores em campo entre os dias 26/09 a 05/11.



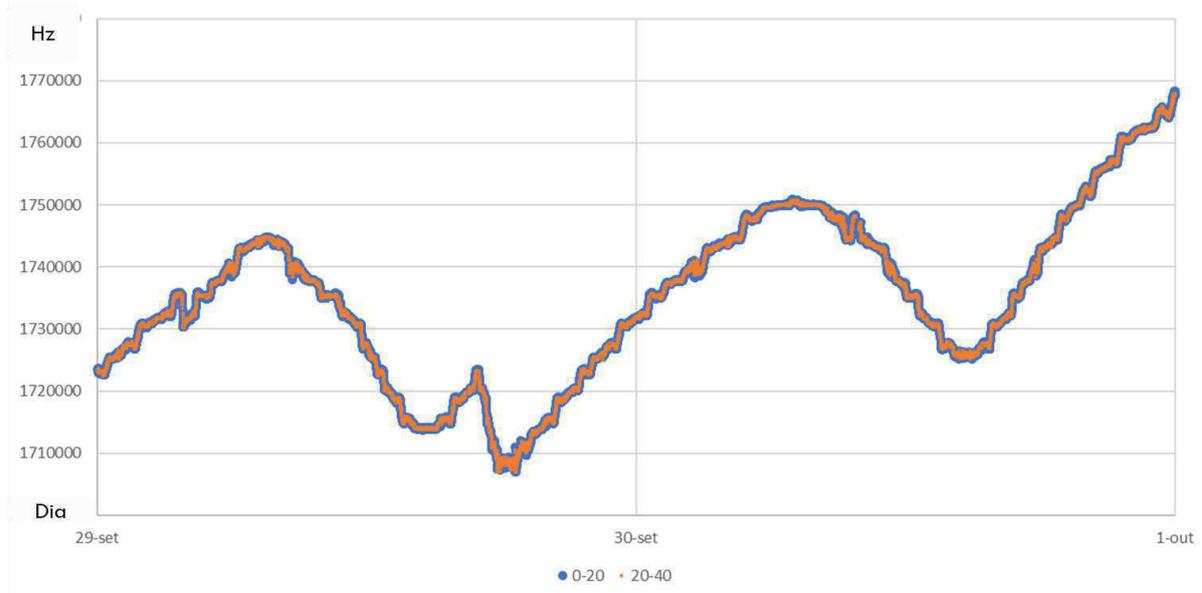
Fonte: Autor.

A última colheita foi realizada no dia 5 de outubro, após isso a irrigação foi reduzida. Percebe-se a mudança na faixa de leitura indicando perda da umidade no solo, uma vez que quanto maior a frequência menor a umidade. As quedas mais abruptas no gráfico representam irrigações, destacando-se os dias: 28/09, 01/10, 05/10, 07/10 e 08/10, que foram irrigações maiores enquanto a cultura ainda estava em fase produtiva, todas as irrigações realizadas foram de 3 mm, com exceção para dias de fertirrigação, nos quais eram irrigados 6 mm ao todo. No dia 28/09 (3 mm de irrigação) a leitura iniciou com 1782 Hz antes da irrigação e caiu para 1640 Hz após a irrigação, já no dia 05/10 (6 mm de irrigação, devido a fertirrigação) a leitura saiu de 1899 Hz para 1696 Hz. As irrigações eram sempre realizadas em horas com temperaturas mais amenas, no começo do dia ou fim da tarde.

Foi percebido também variação por efeito da temperatura do solo, comprovando o que diz Coelho & Teixeira (2004) e Silva (2005) a respeito de uma oscilação provocada pela variação da temperatura. A medida que a temperatura aumenta ao longo do dia a leitura cai, cerca de 50 Hz, como aconteceu no dia 29/09 variando de 1745 Hz a 1705 Hz, como mostra a Figura 14. Após os horários de temperatura mais alta, a leitura retorna a faixa anterior. Assim mesmo que não seja adicionada nenhuma água por irrigação, pode-se passar a falsa leitura de aumento da umidade, por isso a representatividade da curva da umidade do solo é tão significativa, pois quando os valores de horário mais quente são contrapostos com os do horário mais frio é fácil confrontar se o solo aumentou ou diminuiu de umidade. Para perceber

o efeito da variação da temperatura é necessário observar a retomada da leitura no final do dia, sempre voltando pro valor de frequência em que estava, ou mesmo aumentando caso ocorra diminuição da umidade no solo.

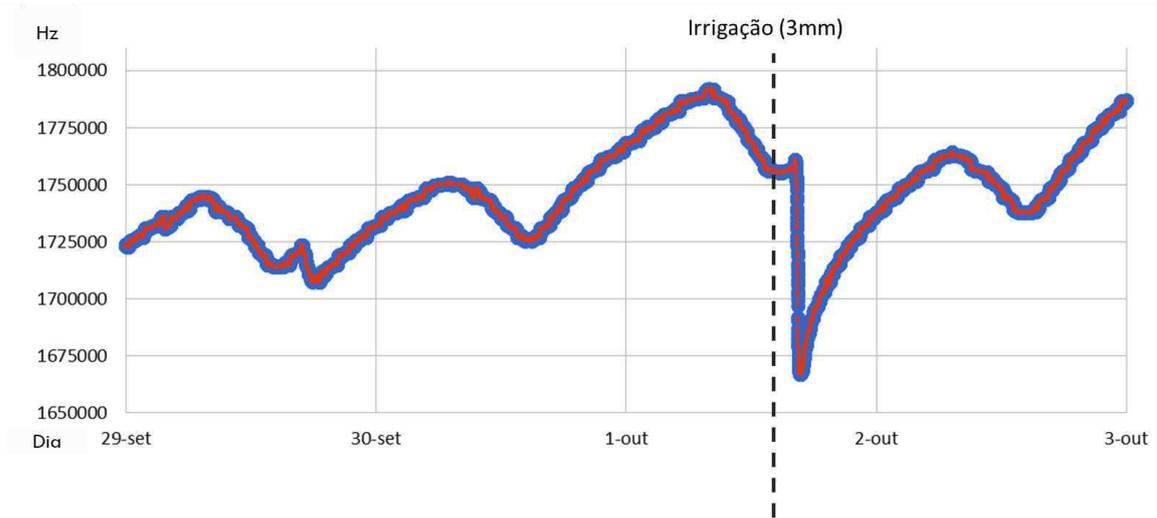
Figura 14 – Monitoramento da cultura em campo.



Fonte: Autor.

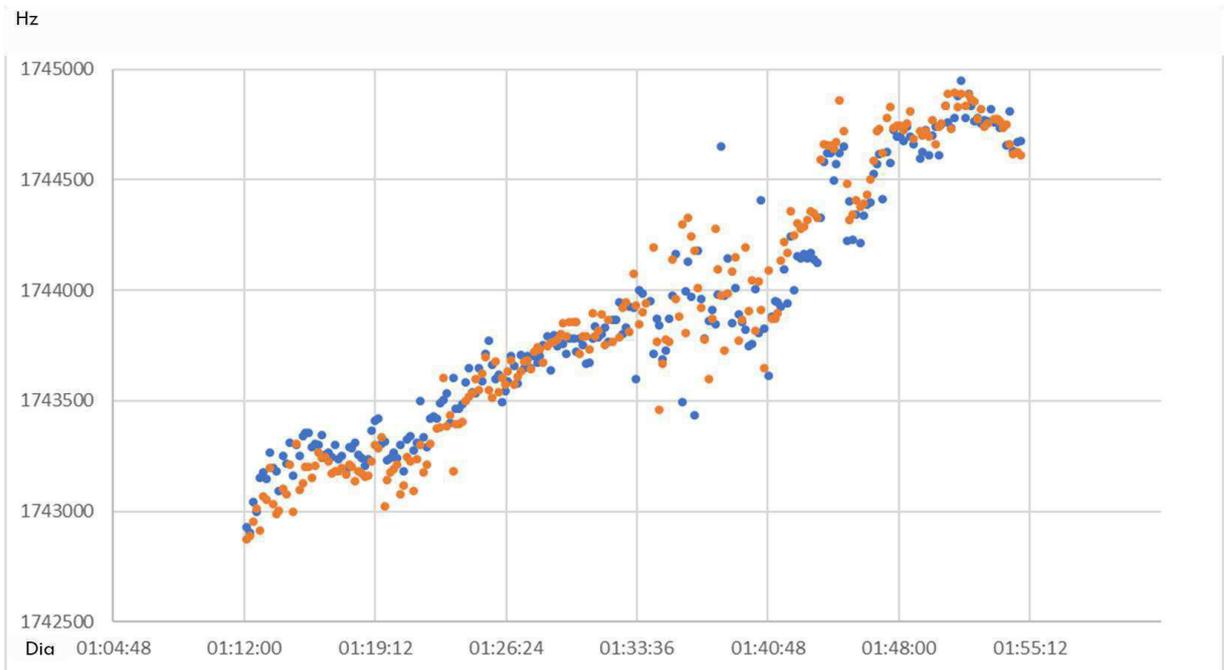
No dia 18 de outubro ocorre a última irrigação, sendo realizada com o propósito de teste, sendo feita uma irrigação de 6 mm, que acarretou uma queda da leitura de 1993 Hz para 1780 Hz, até a manhã do dia seguinte (19/10) a leitura alcançou o valor máximo de 1916 Hz, tendo sido a maior retomada após uma irrigação, isso se deve ao fato do solo estar mais seco após dias sem irrigar, então após a umidade permear a faixa próxima ao sensor, logo depois ela se redistribui para o restante do solo, além do consumo pelas plantas ainda presentes (ainda que sem frutos). Mesmo com a perda rápida de umidade, a leitura não retoma a faixa anterior no mesmo dia, apenas vai ocorrer cerca de 10 dias depois, comprovando que a variação da frequência pela irrigação se distingue claramente de uma variação pela oscilação da temperatura, quando observamos toda a curva da umidade do solo. A Figura 15 mostra claramente um contraponto entre a flutuação da leitura pela variação da temperatura e a variação pelo efeito da irrigação no dia 01/10.

Figura 15 – Monitoramento da cultura em campo.



Fonte: Autor.

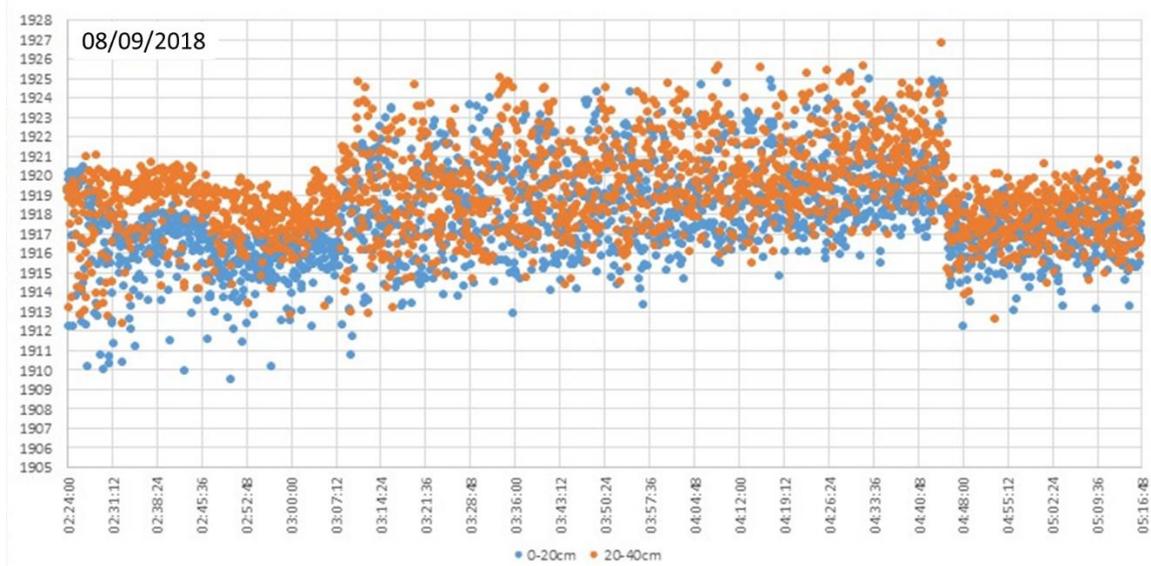
Em leituras pontuais ao longo do dia um cuidado importante a ser tomado é verificar se não está ocorrendo oscilação entre leituras ou algum tipo de ruído. Com um volume grande de dados pode ser observado uma curva clara de tendência, com oscilação baixa entre as leituras, variando até 2.5 Hz, como mostra a Figura 16, do dia 02 de outubro. Sendo notado então que frente a variação por efeito da umidade ou da temperatura, a oscilação pela obtenção de dados do sensor é mínima.

Figura 16 – Dados do Sensor em campo - 02/10/2018.

Fonte: Autor.

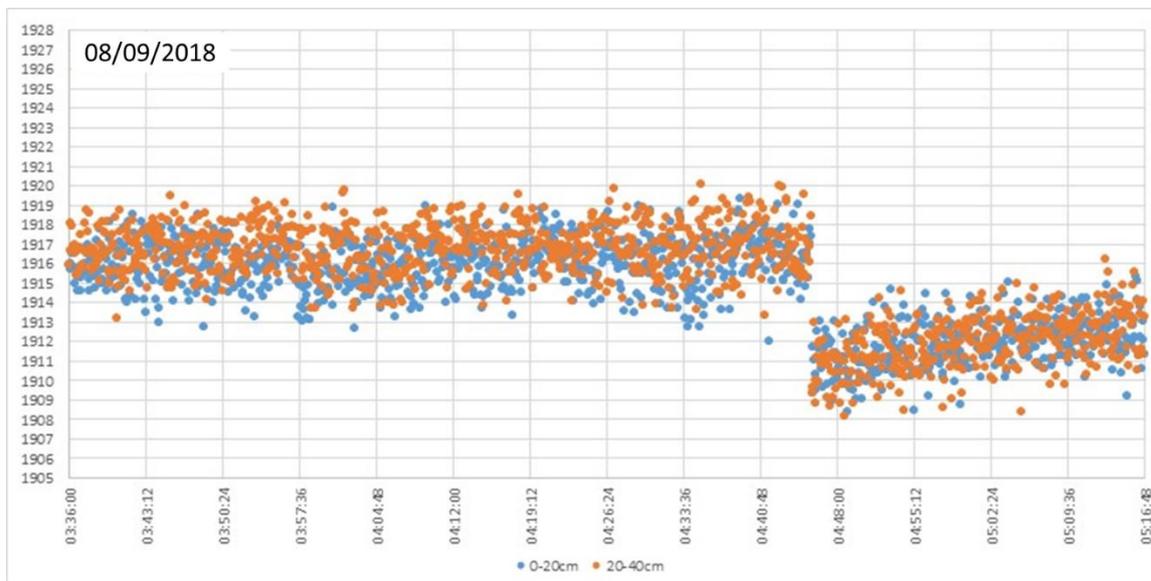
Embora o sistema de automação estivesse já conectado à rede de energia local, e todo cabeamento para os sensores estivesse sido montado, foi verificado que quando os sensores estavam sendo alimentados pela rede de energia local suas leituras ficavam sujeitas a oscilações da rede. Muito embora tivessem sido adicionados reguladores de tensão, ainda assim, em determinados momentos do dia pode-se perceber uma variação na faixa de leitura do sensor, como mostram as Figuras 17 e 18, referentes ao dia 08 de setembro. A Figura 17 mostra como o deslocamento da faixa de leitura ocorre em um determinado período, na Figura 18 pode-se observar, de forma mais aproximada, como o que ocorre é uma mudança abrupta na faixa de leitura e não uma curva de variação, como ocorre pelo efeito da umidade ou temperatura. Por esta razão optou-se por utilizar uma bateria no local, para manter o sistema de monitoramento livre das oscilações da rede de energia, a bateria foi adicionada no dia 10/09/2018, portanto antes dos testes iniciarem.

Figura 17 – Monitoramento da cultura em campo.



Fonte: Autor.

Figura 18 – Monitoramento da cultura em campo.



Fonte: Autor.

5. CONCLUSÃO

Conhecer estes conteúdos de água durante as fases mais críticas do dia, bem como nos estádios fenológicos de maior demanda é essencial para se garantir uma excelente produção em qualquer cultura. É inegável a proposição de que com o crescimento tecnológico a oferta de equipamentos automatizados que se propõem a otimizar os processos de medições em campo se mostra cada vez maior. Afinal, é com estas tecnologias que se obtêm informações, antes demoradas e sob interferência contínua do homem, ou mesmo impossíveis para tais conjunções, agora cada vez mais assertivas e em tempo real.

Foi assim possível o desenvolvimento de sensores capacitivos para determinação da umidade em meios porosos, utilizados no monitoramento da cultura do meloeiro. Sendo possível se valer de técnicas de monitoramento remoto, cada vez mais essenciais para tomada de decisão, validando assim um processo para avaliação e acompanhamento do estado da cultura no campo, usando recursos práticos e acessíveis.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Trabalhos Prévios

Um aspecto importante a ser ressaltado é a continuidade dado no presente trabalho em relação aos trabalhos prévios realizados pelo grupo LEMA, levando em conta a grande relevância e contribuição dada pelos trabalhos anteriores, mas também observando os desafios deixados pelos mesmos.

Rodrigues (2017) conclui seu trabalho deixando o desafio de um sistema de monitoramento de dados em tempo real e remoto, além de possuir um recurso para armazenar os dados. Este desafio foi contemplado no projeto, buscando-se assim lançar luz em alguns desafios passados, além de criar novas ferramentas e ampliar a gama de possibilidades a serem avaliadas no futuro.

6.2 Trabalhos Futuros

Assim para trabalhos posteriores alguns desafios puderam ser lançados de forma a aprimorar o manejo da irrigação de precisão. Entre esses está a integração dos dados obtidos com o sistema automatizado, para que a irrigação funcione em sistema de malha fechada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARO FILHO, J.; ASSIS JUNIOR, R.N., MOTA, J. C. A. **Física do Solo Conceitos e aplicações**. Imprensa Universitária da UFC, 2008, 289 p.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV, 2008. 625 p.
- BRAGA, M. B., Embrapa Semiárido, Sistema de Produção de Melão. Disponível em: http://www.cpatia.embrapa.br:8080/sistema_producao/spmelao/irrigacao.html, Agosto 2010. Acesso em 08 out. 2018.
- COELHO, S. L.; TEIXEIRA, A. D. S. **Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo**. Engenharia Agrícola, v. 24, n. 3, p. 536-545, 2004.
- COSTA, N.D. *A cultura do melão / Embrapa Semi-Árido*; 2. ed. rev. ampl. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 191 p.
- CRUZ, Tadeu M. L. *et al.* **Avaliação de sensor capacitivo para o monitoramento do teor de água do solo**. Eng. Agríc., Jaboticabal , v. 30, n. 1, p. 33-45, Feb. 2010.
- FAO; Food and Agriculture Organization of the United Nations, *Rumo a um futuro de segurança hídrica e alimentar – Fórum Mundial da Água* Disponível em: <https://www.fao.org.br/2050eavpmasams.asp>. Acesso em 14 out. 2018.
- GUBBI, Jayavardhana *et al.* **Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**. Future generation computer systems, v. 29, n. 7, p. 1645-1660, 2013.
- HOSTALÁCIO, S.; VÁLIO, I.F.M. *Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano precoce*, em diferentes regimes de irrigação. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.19, n.2, p.211-218, 1984.
- QUEIROZ, T. M. D.; CARVALHO, J. D. A.; RABELO, G. F.; ANDRADE, M. J. B. **Avaliação de Sistema Alternativo de Automação da Irrigação do Feijoeiro em Casa de Vegetação**. Engenharia Agrícola, v. 25, n. 3, 2005.
- REICHARDT, K.; TIMM, L.C. Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações. Barueri: Manole, 2004. 478p
- RODRIGUES, A. A. **Irrigblue: módulo de controle e aplicativo android para o manejo da irrigação**. 2017. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza.
- SADLER, E. J. *et al.* **Opportunities for conservation with precision irrigation**. Journal of soil and water conservation, v. 60, n. 6, p. 371-378, 2005.

SILVA, I. O. **Desenvolvimento de um sensor capacitivo para o monitoramento de umidade do solo**. 2005. 86 p. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza.

SILVA, R.A . BEZERRA NETO, F.; NUNES, G.H.S.; NEGREIROS, M.Z. **Estimação de parâmetros e correlações em famílias de meio-irmãos de melões Orange Flesh HTC**. Caatinga, Mossoró, v.15, n.1/2, p. 43-48, 2002

SOUSA, V. F. de; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. Cap. 23, p. 657-687.

TEIXEIRA, A. S.; LEÃO, R. A. O.; CANAFISTULA, F. J. F. SILVA, I. O. **Sensor capacitivo para determinação da umidade em meios porosos**. INPI - PI 0604585-5 A2, 02 oct. 2006, 10 jun. 2008.

TONGKE, Fan. **Smart agriculture based on cloud computing and IOT**. Journal of Convergence Information Technology, v. 8, n. 2, 2013.

TOPP, G.; DAVIS, J.; ANNAN, A. **Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines**. Water Resour. Res., 16, 574–582, 1980.

VASCONCELOS, H. S. **Automação de sistema de irrigação em malha fechada utilizando rede sem fio de sensores capacitivos de umidade do solo**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

WELTZIEN, Cornelia. **Digital agriculture – or why agriculture 4.0 still offers only modest returns**. Agricultural engineering · April 2016.

XIWEN, Luo; YING, Zang; ZHIYAN, Zhou. **Research progress in farming information acquisition technique for precision agriculture [J]**. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, v. 1, p. 037, 2006.

ZHANG, Naiqian; WANG, Maohua; WANG, Ning. **Precision agriculture—a worldwide overview**. Computers and electronics in agriculture, v. 36, n. 2-3, p. 113-132, 2002.

APÊNDICE A – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS

```

#include <Wire.h>
#include <ESP8266WiFi.h>

WiFiClientSecure client;//Cria um cliente seguro (para ter acesso ao HTTPS)
String textFix = "GET /forms/d/e/1FAIpQLSdWa1HtP4ckQPadeWzUNZT-Rkoe3U1NT-
Wbnpur6WH50agQ1Q/formResponse?ifq";
String textFix2 = "&entry.1389692963=";
String textFix3 = "&entry.495872746=";
String textFix4 = "&submit=Submit HTTP/1.1";

char          Api[]          = "docs.google.com"; //pushingbox API server
const char*   ssid           = "TP-Link_Extender";//"LEMA_UFC_"; //
const char*   password       = "dena$804";

void setup()
{
  Wire.begin();
  Serial.begin(115200);

  WiFi.mode(WIFI_STA);//Habilita o modo estaçao

  WiFi.begin(ssid, password);

  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED)
  {
    delay(500);
    Serial.print(".");
  }
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected");
}

```

```

void loop()
{
  byte c[6] = {0};

  Wire.requestFrom(2, 6);

  c[0] = Wire.read();
  c[1] = Wire.read();
  c[2] = Wire.read();
  c[3] = Wire.read();
  c[4] = Wire.read();
  c[5] = Wire.read();

  unsigned long aux1 = c[0]*65536+c[1]*256+c[2];
  unsigned long aux2 = c[3]*65536+c[4]*256+c[5];

  float aux3 = aux1;//*0.001;
  float aux4 = aux2;//*0.001;

  if (client.connect(Api, 443) == 1)//Tenta se conectar ao servidor do Google docs na porta
  443 (HTTPS)
  {
    String toSend = textFix;//Atribuimos a String auxiliar na nova String que sera
    enviada
    toSend += textFix2;//Atribuimos a String auxiliar na nova String que sera enviada
    if(aux3==0) toSend += ""; else toSend += aux3;//Adicionamos um valor aleatorio
    toSend += textFix3;//Adicionamos um valor aleatorio
    if(aux4==0) toSend += ""; else toSend += aux4;//Adicionamos um valor aleatorio
    toSend += textFix4;//Adicionamos um valor aleatorio

    client.println(toSend);//Enviamos o GET ao servidor-
    client.println("Host: docs.google.com");//-
    client.println();//-

```

```
client.stop();//Encerramos a conexao com o servidor
Serial.println("Dados enviados.");//Mostra no monitor que foi enviado
}
else
{
    Serial.println("Erro ao se conectar");//Se nao for possivel conectar no servidor, ira
avisar no monitor.
}

Serial.print(c[0]);
    Serial.print(" \t ");
Serial.print(c[1]);
    Serial.print(" \t ");
Serial.print(c[0]);
    Serial.print(" \t ");
    Serial.print(c[2]);
    Serial.print(" \t ");
Serial.println(aux2);

delay(25000);
}
```

APÊNDICE B – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS

```
#include <Wire.h>

byte a1, a2, a3, b1, b2, b3;
float A=0, B=0, x=1;
int          Sensor_Pin[4]   = {2,3};
int          Sensor_Enb[4]   = {4,5};
float valor=0;
unsigned long aux = 0;

void setup()
{
  pinMode(Sensor_Pin[0], INPUT_PULLUP);
  pinMode(Sensor_Pin[1], INPUT_PULLUP);
  pinMode(Sensor_Pin[2], INPUT_PULLUP);
  pinMode(Sensor_Pin[3], INPUT_PULLUP);
  pinMode(Sensor_Enb[0], OUTPUT);
  pinMode(Sensor_Enb[1], OUTPUT);
  digitalWrite(Sensor_Enb[0], LOW);
  digitalWrite(Sensor_Enb[1], LOW);

  Wire.begin(2);
  Wire.onRequest(requestEvent);
}

void loop()
{
  int y=10, w=10;
  float x1[16]={0}, x2[12]={0};

  for (int i=0; i<10; i++)
```

```

{
x1[i]=Ler_Sensor(Sensor_Pin[0], Sensor_Enb[0], 250);
x1[10]+=x1[i];

x2[i]=Ler_Sensor(Sensor_Pin[1], Sensor_Enb[1], 250);
x2[10]+=x2[i];
}
x1[10]/=10;
x2[10]/=10;
for (int i=0; i<10; i++)
{
x1[11]+= pow((x1[10]-x1[i]),2);
x2[11]+= pow((x2[10]-x2[i]),2);

}
x1[12]= sqrt(x1[11]/9);
x2[12]= sqrt(x2[11]/9);
x1[13]= x1[10]+x1[12]*0.5;
x1[14]= x1[10]-x1[12]*0.5;
x2[13]= x2[10]+x2[12]*0.5;
x2[14]= x2[10]-x2[12]*0.5;
x1[15]=x1[10]*10;
x2[15]=x2[10]*10;
for (int i=0; i<10; i++)
{
if((x1[i]<x1[13])*(x1[i]>x1[14])!=1)
{
x1[15]-=x1[i];
y--;
}

if((x2[i]<x2[13])*(x2[i]>x2[14])!=1)
{
x2[15]-=x2[i];
}
}

```

```

        w--;
    }
}

```

```

A = (x1[15]/y)*1000;
B = (x2[15]/w)*1000;
aux = (unsigned long) A; //Sensor 1
a3 = aux;
a2 = (aux>>8);
a1 = (aux>>16);

```

```

aux = (unsigned long) B; //Sensor 2
b3 = aux;
b2 = (aux>>8);
b1 = (aux>>16);

```

```

delay(1000);
}

```

```

void requestEvent()
{
Wire.write(a1);
Wire.write(a2);
Wire.write(a3);
Wire.write(b1);
Wire.write(b2);
Wire.write(b3);
}

```

```

float Ler_Sensor(int Pin, int Enb, int Rep)
{
    unsigned long    Tempo[2]    =    {0};
    float            Freq          =    0;
}

```

```
digitalWrite (Enb,HIGH);

delay(100);

for(int i=0;i<Rep/10;i++)
{
  for(int j=0;j<10;j++)
  {
    Tempo[0] += pulseIn(Pin, HIGH, 2500);
  }
  for(int j=0;j<10;j++)
  {
    Tempo[1] += pulseIn(Pin, LOW, 2500);
  }
}

digitalWrite (Enb,LOW);
delay(100);

Freq=(Tempo[0]+Tempo[1]);
Freq/=Rep;
Freq=995000/Freq;

return Freq;
}
```

APÊNDICE C – CÓDIGOS UTILIZADOS NA COLETA DE DADOS

```
function doGet(e) {
  Logger.log( JSON.stringify(e) ); // view parameters

  var result = 'Ok'; // assume success

  if (e.parameter == undefined) {
    result = 'No Parameters';
  }
  else {
    var id = '1Q_nl8u_2_PEEsc08i15Raw_IYfZ_Sbhd_SOKOeDp6Lc'; // Spreadsheet ID
    var sheet = SpreadsheetApp.openById(id).getActiveSheet();
    var newRow = sheet.getLastRow() + 1;
    var rowData = [];

    rowData[0] = new Date(); // Timestamp in column A
    for (var param in e.parameter) {
      Logger.log('In for loop, param='+param);
      var value = stripQuotes(e.parameter[param]);
      switch (param) {
        case 'tempData': //Parameter
          rowData[1] = value; //Value in column B
          break;
        default:
          result = "unsupported parameter";
      }
    }
    Logger.log(JSON.stringify(rowData));

    var newRange = sheet.getRange(newRow, 1, 1, rowData.length);
    newRange.setValues([rowData]);
  }
}
```

```
    return ContentService.createTextOutput(result);  
}
```

```
function stripQuotes( value ) {  
    return value.replace(/^["]|"$$/g, "");  
}
```