



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS E FLORESTAIS
CURSO AGRONOMIA

MARLON LUAN DA COSTA FERREIRA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MONITORAR A UMIDADE DO
SOLO E AUTOMATIZAR AS IRRIGAÇÕES**

MOSSORÓ

2018

MARLON LUAN DA COSTA FERREIRA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MONITORAR A UMIDADE DO
SOLO E AUTOMATIZAR AS IRRIGAÇÕES**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, campus Mossoró para a obtenção do título de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Batista Figueirêdo

MOSSORÓ

2018

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. 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. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. 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.

F383s Ferreira, Marlon Luan da Costa Ferreira.
Sistema de aquisição de dados para monitorar a
humidade do solo e automatizar as irrigações /
Marlon Luan da Costa Ferreira Ferreira. - 2018.
53 f. : il.

Orientador: Vladimir Batista Figueirêdo
Figueirêdo.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Agronomia, 2018.

1. Automação da irrigação. 2. Lisimetria. 3.
Manejo da irrigação. 4. Melão. I. Figueirêdo,
Vladimir Batista Figueirêdo, orient. II. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

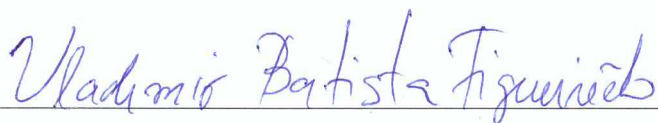
MARLON LUAN DA COSTA FERREIRA

**SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA MONITORAR A UMIDADE DO
SOLO E AUTOMATIZAR AS IRRIGAÇÕES**

Monografia apresentada a Universidade
Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,
campus Mossoró para a obtenção do título de
Bacharel em Agronomia.

Aprovada em 17 / 04 / 18

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Vladimir Batista Figueirêdo – UFERSA
Presidente



Prof. Dr. Indalécio Dutra – UFERSA
Primeiro Membro



Prof. Dr. Francisco de Assis de Oliveira – UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar oportunidade, coragem e conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos meus pais Livanía Maria e João Ferreira Neto pelo apoio desde o início desta jornada, sendo meus maiores exemplos de vida e inspiração. Agradeço também aos meus irmãos, Marlyson Costa, Marleide Costa e Malem Costa pelas palavras de incentivo. Agradeço ainda a Flaviana Alves e Felipe Junior pela ajuda e apoio ao longo desta jornada. Agradeço também a todos os meus familiares não citados que direto e indiretamente me ajudaram nessa caminhada.

Ao meu orientador Professor Vladimir Batista Figueirêdo pela disponibilidade constante e cooperação, pelos conhecimentos que me transmitiu, pelo direcionamento ao longo deste trabalho e incentivo.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) campus Mossoró pela oportunidade de realizar o curso de graduação.

Aos meus amigos da Igreja Adventista do Sétimo Dia que me proporcionaram momentos de fé, alegria e comunhão, me ajudando a persistir e superar as dificuldades.

E a todos que, direto e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi avaliar dois Sistemas de Aquisição de Dados (SAD's) desenvolvidos para controlar a irrigação, monitorar micro-lisímetros e a umidade do solo. O primeiro SAD (SAD1), foi construído para fazer medidas de umidade do solo usando tensiômetros automáticos (TET) e para fazer o controle das irrigações. Os sensores de umidade foram construídos utilizando tensiômetros cujas leituras são realizadas por transdutor de pressão modelo MPX5100. Para o controle das irrigações pelo SAD1, foi usado válvulas elétricas de campo conectadas a este, e acionadas através de relés. O segundo SAD construído (SAD2), teve o objetivo de coletar e armazenar medidas de pesos (kg) de vasos, constituindo-se como um micro-lisímetro, pela utilização de células de cargas com módulo conversor/amplificador modelo HX711, para determinação do consumo de água das plantas. Os SAD's foram testados em laboratório e avaliados em campo, utilizando índices de precisão como o R^2 . O experimento de campo foi realizado em casa de vegetação, com a cultura do melão, utilizando cinco tratamentos de lâminas de irrigação (tratamentos T1=120%, T2=100%, T3=80%, T4=60% e T5=40%, da ETc-FAO) em quatro repetições. Os resultados encontrados com os dados coletados pelos SAD's, mostraram precisão sempre acima de 99%, podendo afirmar a elevada confiabilidade do uso destes SAD's e a boa estimativa das medidas realizadas pelos sensores. Com o controle da irrigação realizado pelo SAD1, foi possível verificar que as variáveis de crescimento das plantas foram afetadas, ocorrendo diferença significativa ao nível de 1%, onde o T2 apresentou valores iguais ao T1 e maiores que os demais tratamentos. Obteve-se os coeficientes de cultivo (K_c 's) usando os micro-lisímetros, em que na Fase III e IV da planta, os Tratamentos T1 e T2 apresentaram valores maiores que os K_c 's da FAO, e o tratamento T3 apresentou valores menores na Fase III.

Palavras-Chave: Automação da irrigação. Lisimetria. Manejo da irrigação. Melão.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate two Systems Acquisition (SAD) developed to control irrigation, to monitor micro-lysimeters and soil moisture. The first SAD (SAD1) was constructed to measure soil moisture using automatic tensiometers (TET) and control irrigation. The TET sensors were constructed using tensiometers whose readings are realized by pressure transducer model MPX5100. The irrigation control by SAD1, was evaluated for field valves connected in relayed. The second SAD (SAD2) was designed to collect and store weight measurements (kg) of flowerpot, constituting a micro-lysimeter, using load cells with converter/amplifier module model HX711, to determine consumption of plant water. SAD's were laboratory-tested and field-tested, using precision indexes such as R^2 . The experiment was realized in a greenhouse with five treatments of irrigation depth (treatments T1 = 120%, T2 = 100%, T3 = 80%, T4 = 60% and T5 = 40%, from ETc-FAO) in four replicates. The results obtained with the SADs showed precision above 99%, being able to affirm the high reliability of the use of these SAD's and the good estimation of the measurements performed by sensors. With irrigation control performed by SAD1, it was possible to verify that the plant growth variables were affected, with a significant level difference at the 1%, where T2 presented values equal to T1 and higher than the other treatments. The cultivation coefficients (Kc's) obtained using the micro-lysimeters, where in Phase III and IV of the plant, treatments T1 and T2 presented higher values than the Kc's of the FAO, and treatment T3 presented lower values in Phase III.

Keywords: Irrigation automation. Lysimetry. Irrigation management. Melon.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plataforma Arduino Mega.	19
Figura 2 - Sensor MPX5100 da Motorola.	21
Figura 3 - Extensômetro (ilustração).	24
Figura 4 - Sensor de carga StrainGauge.	24
Figura 5 - Módulo conversor e amplificador HX711 de 24 bits.	25
Figura 6 - Módulo Relé SRD-05VDC-SL-C.	26
Figura 7 - Válvula Solenóide RainBird 100-HVF.	27
Figura 8 - Imagem do tensiômetro TET pronto.	31
Figura 9 - Diagrama de montagem do Sistema de Aquisição de Dados.	32
Figura 10 - Croqui do Delineamento Experimental.	34
Figura 11 - Esquema mostrando a Estrutura de apoio para as células de carga.	36
Figura 12 - Correlação entre as medidas realizadas no sensor TET com o SAD1 (TET-SAD) e a medidas desse mesmo sensor com o datalogger CR1000 da Campbell Scientific (TET-DAT).	38
Figura 13 - SAD's construído mostrando os componentes utilizados.	39
Figura 14 - Relação entre os valores de referência e os valores observados.	40
Figura 15 - Valores de peso-padrão versus os valores de pressão estimados pelo modelo.	41
Figura 16 - Dados climáticos coletados dentro da casa de vegetação durante o ciclo da cultura.	42
Figura 17 - Diferenças de peso obtida no dia 12/03/18 (sol pleno) pelas células de carga nos tratamentos T1, T2 e T3.	43
Figura 18 - Diferenças de peso obtida durante os dias 22/02 a 27/03/18 pelas células de carga nos tratamentos T1, T2 e T3.	44
Figura 19 - Evapotranspiração determinada pelo microlisímetro (EtcLis), pelo método da FAO-Penman-Monteith (ETc-FAO) e lâmina de irrigação aplicada (Irrig.) durante os dias 22/02 a 27/03/18.	45
Figura 20 - Área foliar da planta nas três coletas realizadas.	47
Figura 21 - Massa seca da parte aérea.	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Guia para interpretação de leitura dos tensiômetros.....	23
Tabela 2 - Características químicas e hídricas do solo.	33
Tabela 3 - Performance do SAD1 utilizando o sensor TET.	39
Tabela 4 - Performance do sensor de célula de carga.....	41
Tabela 5 - Estádio fenológico, período em dias, coeficiente de cultivo (T1, T2, T3 e o da FAO), encontrado no período avaliado.	46
Tabela 6 - Resumo da ANAVA das características de massa seca da parte área em gramas (MSPA) e área foliar em cm ² (AF).....	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
3 REVISÃO DE LITERATURA	15
3.1 Aspectos gerais da cultura	15
3.2 Automação da irrigação.....	17
3.2.1 Sistemas de Aquisição de Dados (SAD)	17
3.2.2 Sensores	20
3.2.3 Tensiômetro	21
3.2.4 Lisímetros	23
3.3 Controladores de Irrigação	25
3.3.1 Módulo relé	25
3.3.2 Válvulas solenóides	26
3.4 Manejo da irrigação	27
3.4.1 Evapotranspiração da cultura (ETc)	28
3.4.2 Avaliação do sistema de irrigação	28
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
4.1 Localização e características do experimento	30
4.2 Construção e calibração do sistema de aquisição de dados (SAD)	30
4.3 Condução do experimento e delineamento experimental.....	32
4.3.1 Manejo do sistema de irrigação	34
4.3.2 Fertirrigação e adubação da cultura.....	35
4.4 Características avaliadas e análises estatísticas	35
4.4.1 Calibração dos equipamentos construídos.....	35
4.4.2 Análises estatísticas	36
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5.1 Calibração do SAD e do sensor TET.....	38
5.2 Calibração do sensor de peso.....	39
5.3 Dados climáticos	41
5.4 Balanço hídrico do solo nos micro-lisímetros	43
5.5 Dados de crescimento da cultura	46
6 CONCLUSÕES	49

REFERÊNCIAS50

1 INTRODUÇÃO

A região Nordeste do Brasil, em especial sua porção semiárida, historicamente é afetada pela escassez de água. Conforme dados da Agência Nacional de Águas (ANA), nesta região, o balanço entre a disponibilidade e a demanda dos recursos hídricos superficiais está entre as mais preocupantes do país. A situação mais crítica é a observada na região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental, com média inferior a $1.200 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo que em algumas unidades hidrográficas dessa região são registrados valores menores que $500 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (BRASIL, 2007).

A expansão da fruticultura no Brasil, especialmente nessas regiões do semiárido, pode-se observar um crescente pólo para produção de frutas e hortaliças irrigadas, especialmente a cultura do melão que foi possível observar um grande aumento da produtividade, fortalecendo as exportações, especialmente para a Europa. Atividade que gera quase 100.000 empregos diretos e indiretos no estado do Rio Grande do Norte, que é responsável por 90% da exportação brasileira de melão, fazendo desta atividade um ótimo prepuser para aquecer a economia da região. Devido à realidade existente no de escassez de água na região se ver a importância de utilizar esse recurso com precisão, utilizando meios tecnológicos para aperfeiçoar a distribuição de água para as culturas.

Associado a essa necessidade, é de fundamental importância avaliar o desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc) (COELHO FILHO et al., 2004). As possibilidades de inovação têm sido proporcionadas devido à expansão do mercado e evolução da eletrônica, que favorece o acesso à tecnologia e ferramentas de ponta para determinação da demanda hídrica das culturas, que antes eram disponíveis apenas em laboratórios e centros de pesquisa.

Então para melhorar o cultivo de plantas, a utilização da automação dos sistemas irrigados aliado a determinações precisas do consumo de água para as culturas, se torna imprescindível. O uso de registradores de dados de forma automática possibilita, entre outras vantagens, a eliminação de erros humanos na leitura dos sensores, erros de digitação, perdas de dados, sincronismo da leitura entre vários instrumentos e frequência de leitura com intervalos precisos (GOMIDE, 1998). Aliado ao uso de registradores de dados, para que tenhamos um sistema de aquisição de dados (SAD) completo há a necessidade de utilização de sensores.

Grande parte destes estudos engloba medidas de transpiração de plantas e umidade do solo para estimativa da ET_c. Com relação a evapotranspiração da cultura, sua estimativa tem sido bastante utilizada pelo método de FAO – Penman – Monteith (ALLEN et al., 2006), que basicamente usa de dados climatológicos. Mas o método de estimativa direta da ET_c é o do lisímetro de pesagem, em que se baseia na determinação de pesos de bloco de solo isolado com cultivo.

Nos cultivos em casa de vegetação pode-se usar os vasos com plantas como um micro-lisímetro, onde normalmente os pesos são contabilizados por sensores como os transdutores de pressão comumente chamados de “células de carga”, conectadas ao SAD registradores de dados. Com relação a umidade do solo, tem sido utilizado sensores como o tensiômetro, sondas capacitivas, o TDR, o FDR, sonda de nêutrons, placas de vidro, etc (BRITO et al. 2009). Além disso, para melhorar o monitoramento das irrigações, pode-se utilizar do conhecimento da automação, que é realizada dentre os vários equipamentos principalmente os controladores de irrigação e as válvulas de abertura/fechamento dos setores de irrigação.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi verificar o crescimento da cultura do melão cultivada com diferentes lâminas de irrigação, controladas por Sistemas de Aquisição de Dados (SAD's) construído para serem usados como um controlador de irrigação, coleta e armazenamento de dados de sensores de peso para micro-lisímetros de pesagem (SPL) e de sensores de umidade do solo usando tensiômetros eletrônicos (TET). Irá se verificar o desempenho dos SAD's e destes sensores, utilizando medidas de regressão, precisão e acurácia destes equipamentos, bem como, analisar componentes de crescimento da planta cultivada com o uso dos SAD's e sensores construídos dentro de casa de vegetação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Aspectos gerais da cultura

Na década de 1960 a cultura do melão foi implantada no Brasil, nesse período os principais estados produtores era o Rio Grande do sul e São Paulo. Entretanto, devido os fatores climáticos, a produtividade e a qualidade dos melões produzidos eram limitadas (DIAS et al., 1998). A produção brasileira cresceu significativamente quando a cultura foi introduzida na região Nordeste entre os anos de 1987 e 1996, ocorrendo um incremento de 366% segundo (ARAÚJO & VILELA, 2003). Contribuindo para que o Brasil deixasse de ser importador para um grande exportador dessa hortaliça, devido, as condições climáticas favoráveis existentes na região. Os estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia são os maiores produtores com, respectivamente, 50%, 27% e 11% da produção nordestina (FONTES & PUIATTI, 2005).

No período de janeiro/2004 a abril/2005 foram produzidos nos pólos agrícolas Mossoró/Assu (RN) e Baixo Jaguaribe (CE) cerca de 175.551,42 toneladas de frutos de melão (COEX, 2005). Sendo um pólo de grande importância para a exportação de frutas do Brasil sendo caracterizado pela presença de grandes empresas produtoras, as quais são responsáveis pela maior parte da produção e exportação de melão. Entretanto, o paradigma de que somente as grandes empresas exportam melão vem sendo quebrado pela presença neste mercado, de pequenas empresas organizadas em grupos (NEGREIROS et al., 2003).

O fruto de melão é consumido in natura e na forma de suco, sendo uma rica fonte de vitaminas e mineral para o organismo humano, destacando-se o potássio, sódio e fósforo. O conteúdo de sólidos solúveis totais pode chegar a até 18%. De acordo com Bianco & Pratt (1977) apud Costa & Grangeiro (2003), mais de 97% dos sólidos solúveis totais são açúcares, com a sacarose representando 50% dos açúcares solúveis totais.

O melão pertence ao gênero *Cucumis*, subtribo Cucumerinae, tribo Melothriaceae, subfamília Cucurbitaceae, família Cucurbitaceae e espécie *Cucumis melo* L. Segundo Fontes & Puiatti (2003). Os melões cultivados mais importantes são os pertencentes aos grupos Inodorus, Cantaloupensis e Reticulatus (MAROTO, 1995, apud FONTES & PUIATTI, 2005, e PEDROSA, 1997).

O meloeiro é uma dicotiledônea, perene na natureza, sendo explorada como planta anual. O sistema radical é superficial e praticamente sem raízes adventícias. O caule é

herbáceo, de crescimento rasteiro ou prostrado, provido de nós com gemas. A partir dessas gemas desenvolvem-se gavinha, folha e novo caule ou ramificação. As folhas são de tamanho variável, alternadas, simples, ásperas, providas de pêlos, limbo orbicular, reniforme, pentalobadas, com as margens denteadas. Das axilas das gemas saem caules secundários. A partir desses caules secundários podem surgir caules terciários (PEDROSA, 1997; FONTES & PUIATTI, 2005). As flores são amarelas e constituídas por cinco pétalas. O meloeiro possui flores imperfeitas e perfeitas ou hermafroditas em pontos diferentes da planta. O fruto é uma baga carnuda (pepônio) de tamanho, aspecto, forma e cores variadas. Possuindo um ciclo de plantio a colheita em média de 60 a 70 dias (PEDROSA, 1997; FONTES & PUIATTI, 2005).

Sendo originário de regiões tropicais, o meloeiro requer climas quentes e secos, ou seja, temperaturas elevadas. A faixa ótima de temperatura para melhor crescimento e produção durante todo ciclo do meloeiro situa-se entre 25°C e 35°C (PEDROSA, 1997; FONTES & PUIATTI, 2005).

A temperatura tem papel fundamental no processo de florescimento. Nesse sentido, temperaturas elevadas, acima de 35°C, estimulam a formação de flores masculinas que também sofrem influência de outros fatores ambientais como água, luz e nutrientes, principalmente o nitrogênio (PEDROSA, 1997). Por outro lado, a expressão de flores femininas é favorecida pelas condições de baixa temperatura, suprimento adequado de nitrogênio, fotoperíodo curto, alta irradiância e alta umidade. Além da influência dos fatores climáticos no florescimento e frutificação do meloeiro, a presença de agentes polinizadores, normalmente abelhas melíferas, é importante para garantir a produção e a qualidade comercial dos frutos.

O meloeiro é muito exigente em luminosidade durante todo o ciclo, a duração e a intensidade luminosa são fatores decisivos a serem considerados na escolha da área para o cultivo dessa hortaliça. Silva et al. (2003) mencionam que a redução da intensidade luminosa ou o encurtamento do período de iluminação têm influência negativa no crescimento da planta com redução da área foliar. Assim, todos os fatores que afetam a fotossíntese afetam, também, a produção e a qualidade do melão.

Em relação à umidade relativa do ar a cultura é muito exigente, portanto, regiões com elevados índices pluviométricos dificultam o cultivo dessa hortaliça. A umidade relativa do ar ótima situa-se na faixa de 65% a 75% durante a fase de crescimento vegetativo (BRANDÃO FILHO & VASCONCELLOS, 1998).

3.2 Automação da irrigação

A automação de sistemas de irrigação vem sendo implantada com maior intensidade no Brasil nos últimos anos. A necessidade da busca da otimização dos recursos produtivos, da competitividade, do aumento de produtividade e da redução de custos, leva a uma tendência de implantação de novas tecnologias aos métodos de irrigação.

Os sistemas de automação para irrigações têm sido, neste século, uma tecnologia de profunda repercussão, cuja importância provém não só de substituir o trabalho humano nas tarefas monótonas e/ou cansativas, mas também, e principalmente, do fato de permitir sensível melhoria na qualidade dos processos, com pequena elevação no custo do equipamento (CASTRUCCI, 1969).

As principais vantagens de se automatizar um sistema de irrigação são as seguintes:

- Eficiência no consumo de energia;
- Eficiência na aplicação de água;
- Menor custo com bombeamento
- Podem ser realizadas irrigações sem acompanhamento
- Menor utilização de mão de obra
- Precisão no tempo de irrigação

Pode-se ver dessa forma que a automação supre muito das necessidades de exploração, otimizando os processos de produção e reduzindo os custos de forma racional e sustentável.

3.2.1 Sistemas de Aquisição de Dados (SAD)

O objetivo de um sistema de aquisição de dados é apresentar, ao observador, os valores das variáveis, ou parâmetros, que estão sendo medidos, auxiliando para que as operações sejam menos dependentes da habilidade do operador, tornando uma ferramenta essencial em todo tipo de tecnologia e ciência. Os elementos que compõe um sistema de aquisição de dados são sensores, transdutores, elemento de processamento de dados, elemento transmissor de dados, elemento sensível primário, elemento armazenador de dados em memória não voláteis, elemento conversor de sinal e elemento de apresentação de dados, segundo Inamasu et al. (1996).

Esses sensores não seriam úteis se não houvesse uma interface para ler e processar todas as informações obtidas. Para tal função o mercado disponibiliza várias plataformas, porém o projeto Arduino engloba hardware e software, facilitando o desenvolvimento de projetos, por utilizar microcontroladores. Além de permitir que seja feita leituras de dados dos sensores, seu software é livre e seu hardware é bastante versátil, tornando-se compatível com diversos outros equipamentos, facilitando a utilização de circuitos construídos pelo pesquisador.

O mercado disponibiliza uma grande variedade de modelos de *dataloggers*, cada qual com especificações técnicas, tamanho, velocidade de processamento, software de avaliação e outras características. Visando desenvolver equipamentos com menor custo e fácil manutenção, os pesquisadores tem buscado desenvolver seus próprios protótipos, com a evolução da tecnologia e facilidade de acesso a ferramentas de ponta, possibilitou novas alternativas.

O microcontrolador é um semicondutor em forma de circuito integrado, dotado de inteligência programável utilizado no controle de processos lógicos por possuir uma unidade lógica aritmética, toda a lógica é estruturada na forma de um programa e gravada dentro do componente, possibilitando que toda vez que o microcontrolador for alimentado o programa interno seja executado.

Sua estrutura é pequena encapsulado em uma única pastilha de silício onde existem todos os componentes necessários ao controle de um processo. O microcontrolador deve ser visto como um controlador de periféricos como display, sensores, relés, etc. São utilizados em inúmeras aplicações como automação industrial, automação comercial, automação predial, área automobilística e agrícola.

O Arduino[®] é uma plataforma de prototipagem eletrônica, capaz de permitir o desenvolvimento de controles de sistemas, sendo de baixo custo e acessível a todos como também através dele é possível enviar e receber informações de qualquer outro sistema eletrônico. O mercado disponibiliza uma grande variedade de modelos de *dataloggers*, que em sua maioria apresentam alto custo, além de não traduzirem por completo os objetivos que se almeja.

De acordo com Bridi et al. (2013), o Arduino é uma plataforma de hardware tipo código aberto, de fácil utilização, ideal para a criação de dispositivos que permitam interação com o ambiente, dispositivos estes que utilizem como entrada diferentes tipos de sensores/transdutores e como saída, leds, motores, displays e alto-falantes, criando desta

forma possibilidades ilimitadas. A dispensa do uso de compiladores ou hardware adicional para a programação do chip, juntamente com uma vasta quantidade de bibliotecas disponíveis, permitem o interfaceamento com outros hardwares, permitindo o completo desenvolvimento e aplicações simples ou complexas em qualquer área. Com a utilização de placa Arduino, pode-se montar sistemas de aquisição de dados específicos de acordo com a demanda operacional necessária, visando baixo custo e confiabilidade. O hardware é composto pelos seguintes blocos que estão ilustrados na Figura 5.

- Núcleo CPU – Microcontrolador, computador responsável por da vida a placa, controla e faz leituras de todos os pinos da placa;
- Fonte de Alimentação – Recebe, filtra e converte a energia externa;
- Entradas e Saídas – A CPU vem completa com dispositivos dentro do chip;
- Firmware – Programa que é carregado dentro da CPU para o funcionamento da placa;
- Pinos com funções Especiais – Alguns possuem hardware para funções especiais.

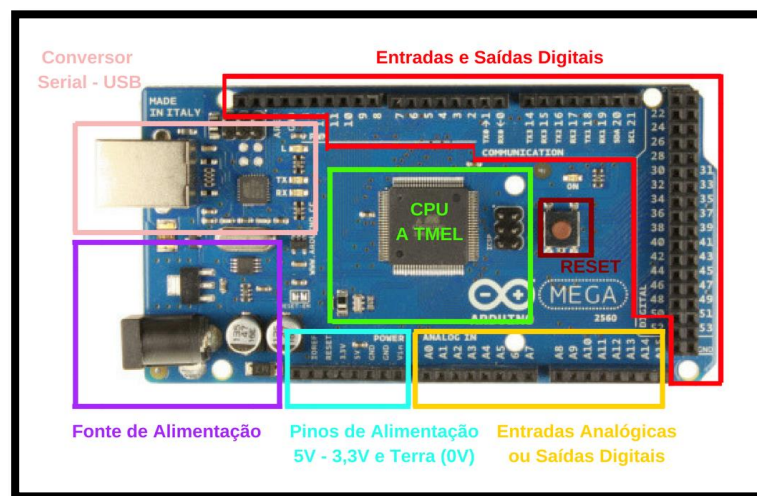


Figura 1 - Plataforma Arduino Mega.

O software possui um compilador CC++, que usa uma interface gráfica construída em Java, resumindo a um programa IDE (ambiente de desenvolvimento integrado), muito simples de usar e de estender com bibliotecas que podem facilmente ser encontradas. Depois de criar o programa e compilar usando a IDE, o código gerado é enviado para a placa onde é gravado dentro do chip controlador. Esse software que roda na placa chama-se FIRMWARE. As

funções da IDE do Arduino são basicamente duas: Permitir o desenvolvimento de um software e enviá-lo à placa para que possa ser executado.

Depois de preparado o IDE é necessário conectar a placa no PC para gravar o programa e verificar sua energização. Para a confirmação de sua energização a placa acende um LED verde indicando que a passagem de corrente elétrica esta normal. Depois da verificação e compilação do programa é realizado o upload gravando o programa na placa, após isso, o console nos informa através de um LED laranja que o processo foi realizado com sucesso.

3.2.2 Sensores

O elemento sensor é o componente do instrumento que converte a variável física de entrada para outra forma mais usável. A grandeza física da entrada geralmente é diferente de grandeza de saída. O elemento sensor depende fundamentalmente da variável sendo medida e geralmente está em contato direto com o processo, e da saída que depende da variável a ser medida (RIBEIRO, 2002).

A tecnologia tem avançado muito possibilitando o desenvolvimento de sensores de fácil conexão com computadores e *dataloggers*, permitindo que a irrigação seja automatizado. Dessa forma os controladores podem ser capazes de acionar ou desligar os sistemas a partir dos dados enviados pelos sensores. Um sistema automatizado de irrigação bem programado e instalado garante a umidade necessária às culturas em cada estágio de desenvolvimento, evitando a escassez ou o excesso de irrigação. Os sensores são classificados de acordo com a variável a qual são sensíveis. Podendo ser transdutores do tipo termopares e termistores, os quais medem a temperatura; os sensores de pressão de silício integrado, para medir a pressão, e as células de carga, para medir força. Para medir indiretamente a umidade do solo, há sensores, como os resistivos, que tomam por base a variação da resistência do solo à passagem de corrente elétrica, a qual é tanto menor quanto maior sua umidade. Independente do elemento sensor, encontra-se aplicação em praticamente todos os ramos da indústria e da agricultura.

Os transdutores segundo Horowitzehill (1989) são sensores que convertem grandezas físicas, como temperatura, luminosidade, magnetismo, peso, aceleração, intensidade do som, etc. em grandeza elétrica, gerando sinais que podem ser manipulados por circuitos eletrônicos, quantificados por um conversor analógico-digital e analisados por computadores. De acordo

com a resposta apresentada por um sensor a um estímulo externo ele pode ser classificado em mecânico ou eletrônico, praticamente todas as variáveis envolvidas em processos podem ser medidas eletronicamente, ao passo que a medição mecânica é mais difícil. Sensores mecânicos apresentam suas medidas na forma de grandezas mecânicas, tais como, movimento, força ou deslocamento.

Sensores eletrônicos recebem um sinal de entrada do processo ao qual estão ligados e respondem com uma grandeza elétrica, tal como, tensão, corrente elétrica, variação de resistência, capacitância ou indutância de forma proporcional a variável. Sensores de natureza elétrica apresentam algumas vantagens em relação aos mecânicos por não apresentarem efeitos de inércia e atrito, sua amplificação ser mais facilmente obtida e maior possibilidade de registro a distância. Como exemplo o sensor MPX5100 DP pertencente à série MPX5100 da Motorola, igual da Figura 1, que apresenta diversas aplicações, é um excelente modelo para ser usado na automação para manejar a irrigação.



Figura 2 - Sensor MPX5100 da Motorola.

3.2.3 Tensiômetro

O acompanhamento do nível de umidade no solo, na zona de maior atividade das raízes, tem sido recomendado com uma das formas pertinentes para verificação da efetividade das irrigações. Esse acompanhamento pode ser realizado, indiretamente, por meio de medidas da tensão em que a água se encontra retida no solo. Com essas medidas, tanto superficiais quanto em profundidade, é possível identificar se o solo está suficientemente seco para o reinício das irrigações ou suficientemente úmido para interromper sua aplicação. Essas medidas podem ser conseguidas, facilmente, utilizando o tensiômetro.

Gardner em 1922 desenvolveu o tensiômetro, aparelho que é empregado para medir a tensão com que a água está retida pelas partículas do solo, também conhecido por potencial matricial. Dispondo-se da relação entre o conteúdo de água no solo e a tensão em que ela se

encontra pode-se estabelecer, indiretamente, o teor de água no solo a partir das leituras desse aparelho, sendo talvez o aparelho mais utilizado para o conhecimento dos potenciais de água no solo em irrigação.

Os tensiômetros possuem mais vantagens em relação a outros métodos de controle da irrigação quanto ao conhecimento em tempo real da tensão de água no solo e, indiretamente do teor de água no solo; utilização do conceito de potencial, medindo diretamente a energia de retenção da água pelo solo; facilidade de uso, custo relativamente baixo e facilmente encontrado no comércio.

O tensiômetro consiste em uma cápsula porosa, geralmente de cerâmica ou porcelana, um tubo plástico ou de outro material, conectado a um medidor de vácuo ou sensor de umidade e uma tampa de borracha. Todo o tubo é preenchido com água, a cápsula porosa é permeável à água e a solutos na solução do solo, sendo impermeável a gases e à matriz do solo. No mercado existem inúmeros modelos disponíveis (tensiômetro com vacuômetro, tensiômetro com manômetro de mercúrio, tensiômetro de leitura direta e o simplificado). Outra versão de tensiômetro que foi utilizada pelo trabalho, possui maior tecnologia empregada, sendo mais avançada em termos do processo de medida da tensão estabelecida em seu interior, aparelho que usa um transmissor eletrônico de pressão com saída digital.

O funcionamento do tensiômetro é simples. Após estar completamente cheio de água e em solo saturado, nenhuma água passará pela cápsula e não haverá vácuo. À medida que o solo seca, a água sai do tensiômetro através da cápsula porosa, criando um vácuo no interior do tubo equivalente à tensão da água no solo, de forma inversa, após uma chuva ou irrigação, o teor de água no solo é aumentado e a água passa do solo para o tensiômetro através da cápsula. Por causa disto, seu limite de operação depende do ponto em que a água, sob vácuo, entra em processo de cavitação, ou seja, começa a haver a formação acentuada de bolhas de vapor d'água dentro do sistema. Nesse momento, há pronunciada redução da sensibilidade das medidas do tensiômetro.

Normalmente, os tensiômetros vêm com escalas de medidas correspondentes a uma variação de 0 a 100 kPa. Por exemplo, se o tensiômetro vier com uma escala expressa em kPa, a faixa de medidas será de 0 a 100 kPa. Nessa escala, a leitura zero indica que o solo está saturado e que as raízes das plantas podem sofrer pela falta de oxigênio. De 20 a 60 kPa, o teor de água no solo é adequado à maioria das culturas. Os valores podem ser interpretados como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Guia para interpretação de leitura dos tensiômetros.

GUIA PARA INTERPRETAÇÃO DE LEITURA DOS TENSIOÂMETROS		
Condição	Leitura (kPa)	Interpretação
Saturação	0	Acumulação de água; Nível freático raso; Aeração prejudicada; Tensiômetro com vazamento.
Capacidade de campo	6 a 10	Ponto para interrupção das irrigações. Evitar percolação de água e lixiviação de nutrientes.
Momento de aplicação	20 a 40	Irrigações dirigidas para produtividade máxima e culturas de maior valor econômico e solos arenosos;
Momento de aplicação	40 a 50	Valor usual para iniciar irrigações; Aeração assegurada; Solos de textura média.
Intervalo de irrigação	50 a 60	Início de irrigação em solo argiloso; Manutenção da umidade disponível.
Seco	70 a 80	Valor de início de déficit; Alguma umidade disponível; Risco de perda de produção.

Adaptado de James (1988).

3.2.4 Lisímetros

Lisímetros são grandes recipientes com solo, instalados em condições de campo, com sistemas de pesagem ou controle de entrada e saída de água, e que apresentam uma superfície nua ou coberta por uma vegetação. Esses sistemas podem ser usados para determinação da evapotranspiração das culturas ou tão somente para a evaporação do solo (CAMPECHE, 2002). Vale salientar que a medida da evapotranspiração por lisimetria é difícil e de alto custo, sendo utilizado apenas em condições experimentais.

Existem vários tipos de lisímetros, como o de drenagem, de pesagem e de nível de lençol freático constante, com a popularização da microeletrônica, esses equipamentos estão ganhando um novo impulso na pesquisa agrometeorológica. A difusão e a disponibilidade comercial de sensores eletrônicos, como a célula de carga, permitiram o uso cada vez mais comum e frequente na construção de lisímetros de pesagem.

A célula de carga é um dispositivo mecânico/eletrônico que usa o extensômetro para medir deformação, tensão e força. Os medidores de deformação chamados extensômetros elétricos são dispositivos de medida que transformam pequenas variações nas dimensões em variações equivalentes em sua resistência elétrica.

Os extensómetros são habitualmente finos e de forma retangular, consistindo numa serpentina de material (fio) condutor, composta por um fio metálico ou várias tiras metálicas que é depositada numa folha de material não condutor. Quando a serpentina é esticada (tração), fica mais fina e ocorre um aumento da resistência eléctrica, já quando é comprimida (compressão), torna-se mais espessa e dá-se uma diminuição da resistência eléctrica. Como é ilustrado na Figura 2.

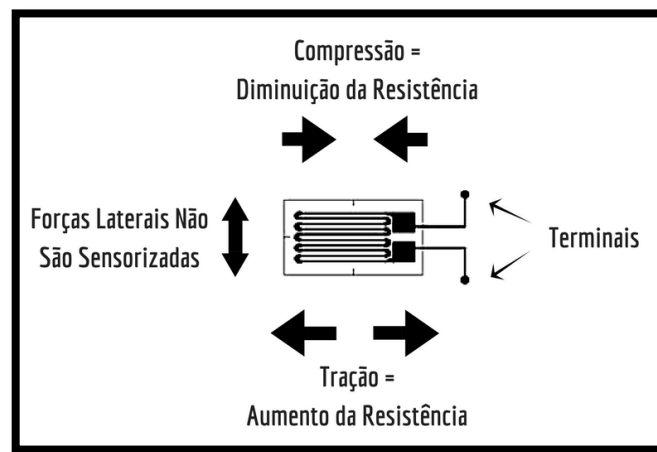


Figura 3 - Extensómetro (ilustração).

O sensor de carga StrainGauge, ilustrado na Figura 3 funciona promovendo mudanças na resistência eléctrica do sensor proporcional a uma determinada pressão ou força aplicada a ele (daí o nome “Strain”). A célula de carga atua como um sensor de meia ponte, ou seja, utiliza uma meia-ponte de Wheatstone com uma resistência de referência e um elemento sensor cuja resistência varia conforme a pressão aplicada. É possível utilizar vários sensores de carga simultaneamente para aumentar a capacidade.



Figura 4 - Sensor de carga StrainGauge.

A grande dificuldade desses sensores é que as deformações provocadas pela aplicação de uma força ou pressão externa são muito pequenas, provocando variações na escala de décimos de ohms. Devido à essas variações de ordem muito pequena, é necessário usar um segundo componente, que é um amplificador de sinais. O Módulo conversor e amplificador HX711 de 24 bits (Figura 4), é utilizado para amplificar o sinal das células de carga, fazendo a interligação entre essas células e o microcontrolador.

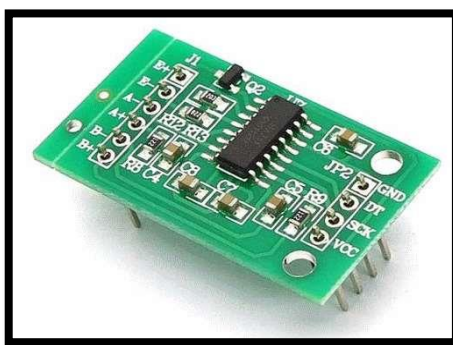


Figura 5 - Módulo conversor e amplificador HX711 de 24 bits.

3.3 Controladores de Irrigação

3.3.1 Módulo relé

Um relé eletromecânico comum é um interruptor ou chave eletromecânica, acionado quando se estabelece uma corrente através de uma bobina. Quando se aplica uma tensão na bobina, uma corrente circula, criando um campo magnético que atrai a armadura e, portanto, aciona o sistema de contatos. O relé de 5Vcc (Figura 6), com 2 canais, é a alternativa perfeita pra quem busca um módulo compacto e de qualidade para projetos com Arduino e outros controladores. Ele pode ser energizado com pequenas correntes, possibilitando o controle de circuitos de altas correntes como motores, lâmpadas e máquinas industriais, diretamente a partir de dispositivos eletrônicos fracos como transistores e circuitos integrados (RIBEIRO, 1999). O módulo é equipado com transistores, conectores, LED's, diodos e relés de alta qualidade. Cada canal possui um LED para indicar o estado da saída do relé (FILIPEFLOP, 2016).

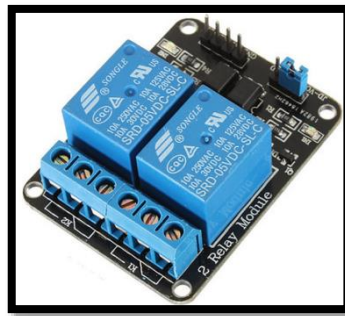


Figura 6 - Módulo Relé SRD-05VDC-SL-C

Fonte: FILIPEFLOP, 2018.

3.3.2 Válvulas solenóides

Na irrigação as válvulas são utilizadas principalmente para setorizar diferentes áreas de irrigação ou aumentar a pressão utilizando diferentes bombas. Seu acionamento pode ocorrer basicamente de quatro formas: manual, elétrico, hidráulico e pneumático. (PEREZ, 2011).

As válvulas com controle elétrico possuem sua abertura ou fechamento controlados através de acionamento elétrico, por corrente ou pulsos, com diferentes tensões. Esse acionamento é feito por um solenóide.

A válvula solenóide é formada por duas partes principais (corpo e bobina solenóide), (Figura 7). A bobina é formada por um fio enrolado através de um cilindro. Quando uma corrente elétrica passa por este fio, ela gera uma força no centro da bobina solenóide, fazendo com que o êmbolo da válvula seja acionado, criando assim o sistema de abertura e fechamento. O corpo possui um dispositivo que permite a passagem de um fluido ou não, quando sua haste é acionada pela força da bobina. Esta força é que faz o pino ser puxado para o centro da bobina, permitindo a passagem do fluido.

A válvula solenóide pode estar acoplada a um relé, para operar contatos elétricos. Os contatos são abertos ou fechados, conforme a energização - desenergização da bobina. Os termos normalmente aberto ou normalmente fechado se referem à posição antes da aplicação da corrente (PEREZ, 2011).



Figura 7 - Válvula Solenóide RainBird 100-HVF

Fonte: Rain Bird, 2018.

3.4 Manejo da irrigação

De uma forma ampla, manejo da irrigação consiste na determinação do momento, da quantidade e de como aplicar a água. Considerado também os outros aspectos do sistema de produção como controle fitossanitário, informações climatológicas, adubação, economia e estratégias de condução da cultura, são pontos fundamentais que precisam ser observados para se manejar corretamente a irrigação, podendo ser realizado amplamente via planta, solo, clima e associação destes (PIRES et al., 2001).

A irrigação é uma estratégia para aumento de rentabilidade da propriedade agrícola pelo aumento da produção e da produtividade, de forma sustentável e com maior geração de emprego e renda. A falta de um programa de manejo pode comprometer todo o processo produtivo e acarretar danos ambientais. Se não houver uma correta definição de quando e quanto de água aplicar, o irrigante estará fazendo uso ineficiente da água, seja pela aplicação em excesso ou aquém das necessidades da planta. Quando a irrigação é excessiva, além do desperdício da água e o comprometimento na produção da lavoura, a ineficiência na irrigação contribui para um maior impacto ambiental sobre o solo e a qualidade dos mananciais que recebem o excesso de água aplicada, levando consigo parte dos insumos aplicados, como fertilizantes e agrotóxicos. Assim, a quantidade de água a ser aplicada deve ser aquela que atenda às necessidades da planta, sem provocar excesso de água no solo (COSTA, 2006).

3.4.1 Evapotranspiração da cultura (ETc)

Racionalizar o uso da água na agricultura, por meio da correta determinação da ET da cultura é imprescindível. Existem vários fatores que incidem diretamente sobre a evapotranspiração, sendo a radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento, o tamanho da superfície evaporante, o teor de umidade do solo, profundidade do lençol freático e a textura do solo.

Pozzebon et al. (2003) expressam a evapotranspiração de referência (ET_o) como sendo a demanda evaporativa da atmosfera de um local específico em uma época do ano e não considera as características da cultura e fatores do solo, sendo função dos fatores do tempo. A Food and Agriculture Organization (FAO) utiliza como método padrão de estimativa da ET_o os métodos de Penman – Monteith que exigem grande número de variáveis meteorológicas e, por isso, têm aplicação limitada, somente sendo utilizados quando há disponibilidade de todos os dados necessários (ANDRADE JUNIOR et al., 2003).

A evapotranspiração é afetada por diversos fatores meteorológicos, pois os elementos fornecem energia para vaporização e removem vapor d'água da superfície evaporante, tais como: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

3.4.2 Avaliação do sistema de irrigação

Em função da escassez de água, foi desenvolvido o sistema de irrigação por gotejamento, sistema esse que aplica água em apenas parte da área, reduzindo significativamente parte da área molhada que pode ser exposta às perdas pela evaporação. Desta forma a eficiência de aplicação é maior como também o consumo de água. Segundo Bernardo et al. (2006), a utilização do sistema de irrigação por gotejamento também é vantajosa pois possibilita o uso da fertirrigação, promovendo um melhor aproveitamento dos fertilizantes, possibilitando o parcelamento da aplicação de adubos de acordo com a frequência de irrigação.

Sabe-se que para uma maior eficiência do método de irrigação é necessário que haja uniformidade de aplicação da água, pois a mesma também pode interferir no rendimento das culturas. Dessa forma, os parâmetros relacionados às boas práticas de irrigação são decisivos no planejamento e na operação de sistemas de irrigação.

O primeiro passo para a realização do teste de uniformidade de distribuição é identificar quantas mangueiras (linhas laterais de irrigação) de gotejadores estão irrigando ao mesmo tempo, como também selecionar o conjunto das linhas que forma um setor ou uma válvula. Depois é contado e selecionado o número de gotejadores, de forma que seja selecionado (o primeiro, 1/3 da origem, o 2/3 da origem e o ultimo), logo em seguida faz-se a medição da vazão fornecida a cada planta. (MERRIAM & KELLER, 1978).

A coleta da água nos emissores é feita com o auxílio de recipientes marcando-se o tempo de coleta com um cronômetro, a pressão de serviço dos emissores deverá ser aferida usando-se um manômetro que é essencial para determinar a variação da pressão nas laterais. Caso o recipiente usado não permita a determinação do volume de água coletado, deve-se fazer uso da proveta graduada onde o volume coletado é medido e posteriormente os valores devem ser anotados em uma planilha, que serão utilizados para os cálculos da uniformidade de distribuição de água da área irrigada e vazão fornecida a cada planta.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Localização e características do experimento

A pesquisa foi desenvolvida na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, localizado no município de Mossoró, Rio Grande do Norte, na latitude de 5° 03' 37'' S, longitude 37° 23' 50'' W Gr. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do grupo BSw^h, isto é, tropical semi-árido muito quente e com estação chuvosa no verão, atrasando-se para o outono, apresentando temperatura média de 27,4°C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9% (CARMO FILHO; OLIVEIRA, 1989).

O estudo foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira no laboratório de “Manejo e Instrumentação na Irrigação” e a segunda em casa de vegetação (com dimensões 8 x 20 m) pertencentes ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Florestais – DCAF, UFERSA. A condução das duas etapas foi realizada entre os meses de setembro de 2017 a março de 2018, onde os dados climáticos utilizados na segunda etapa foram provenientes de uma estação meteorológica automática instalada no interior da casa de vegetação, a qual tem sensores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global, velocidade do vento e precipitação pluviométrica.

4.2 Construção e calibração do sistema de aquisição de dados (SAD)

No laboratório de Manejo e Instrumentação na Irrigação foram construídos e calibrados dois Sistemas de Aquisição de dados (SAD's), em que cada um deles possui como componente central a placa de microprocessamento Arduino Mega 2560 R3, dispositivo responsável pela coleta, armazenamento e gerenciamento todas as operações realizadas no SAD, sendo também responsável pela conversão dos sinais analógicos para o sinal digital. Outros componentes que constituem os dois SAD's foram: display de LCD de 20x4 (colunas e linhas) que representa a interface homem-máquina, permitindo que o operador realize a leitura de dados oriundos do sistema e também informe parâmetros necessário à operação; um real time clock (RTC) modelo DS1307 para funcionamento de relógio e data; um Shield microSD para armazenamento de dados em cartão de memória do tipo microcard; placa fenolítica (15 x 25 cm), bornes, jumpers, cabo quatro vias e um regulador de tensão instalado

na entrada da alimentação do Arduino para minimizar os efeitos da variação de corrente na rede elétrica.

O primeiro SAD construído (SAD1), foi desenvolvido para fazer medidas de umidade do solo usando tensiômetros automáticos (Figura 8), chamado de TET, e para fazer o controle das irrigações por abertura/fechamento de válvulas elétricas (Figura 7) e do conjunto moto-bomba, constituindo-se um controlador de irrigação. Nesse caso, foi usado para compor o TET um sensor de pressão modelo MPX5100 da Motorola[®] (Figura 2), e, para o controlador de irrigação um módulo de relés de 5 Vcc com oito canais comumente usado para Arduino e outros microcontroladores, possibilitando o controle de circuitos de altas correntes (até 10A) como motores, permitindo também o controle de válvulas solenóides possibilitando setorizar as áreas de irrigação. Em todos esses componentes foi usado componentes eletrônicos para condicionamento de seus sinais.

O segundo SAD construído (SAD2), teve o objetivo de coletar e armazenar pesos dos vasos com plantas, constituindo-se como um micro-lisímetro. Nesse caso, os sensores de peso foram células de carga com capacidade de 50kg (Figura 4), a qual foi usado para condicionamento do sinal o módulo conversor/amplificador HX711 de 24 bits Figura 5.

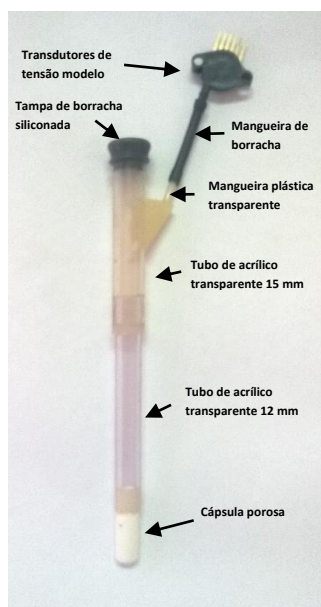


Figura 8- Imagem do tensiômetro TET pronto.

Todos os equipamentos descritos anteriormente possuem sua funcionalidade própria desenvolvendo as atividades da SAD em conjunto. Para melhorar a interpretação, o trabalho será descrito em partes, descrevendo toda a montagem do sistema, funcionamento do SAD e

validação e calibração dos sensores. As programações dos SAD's foram realizadas no ambiente de programação do Arduino chamado Sketch, a qual é uma plataforma “Open Source” em linguagem de programação “C++” adaptada.

O diagrama apresentado na Figura 9 mostra dois tipos de ligações. Entre cada sensor, na placa Arduino, no modulo de armazenamento e display são representadas as ligações para cada transporte de sinais elétricos, que são enviados dos sensores/transdutores (podendo ser analógicos ou de pulso) para a placa Arduino Mega, onde são convertidos para a forma digital e processados. Os dados processados em formato digital são armazenados nos módulos (cartão microSD). As ligações de alimentação são responsáveis pelo fornecimento de energia elétrica para o funcionamento adequado de todo o sistema.

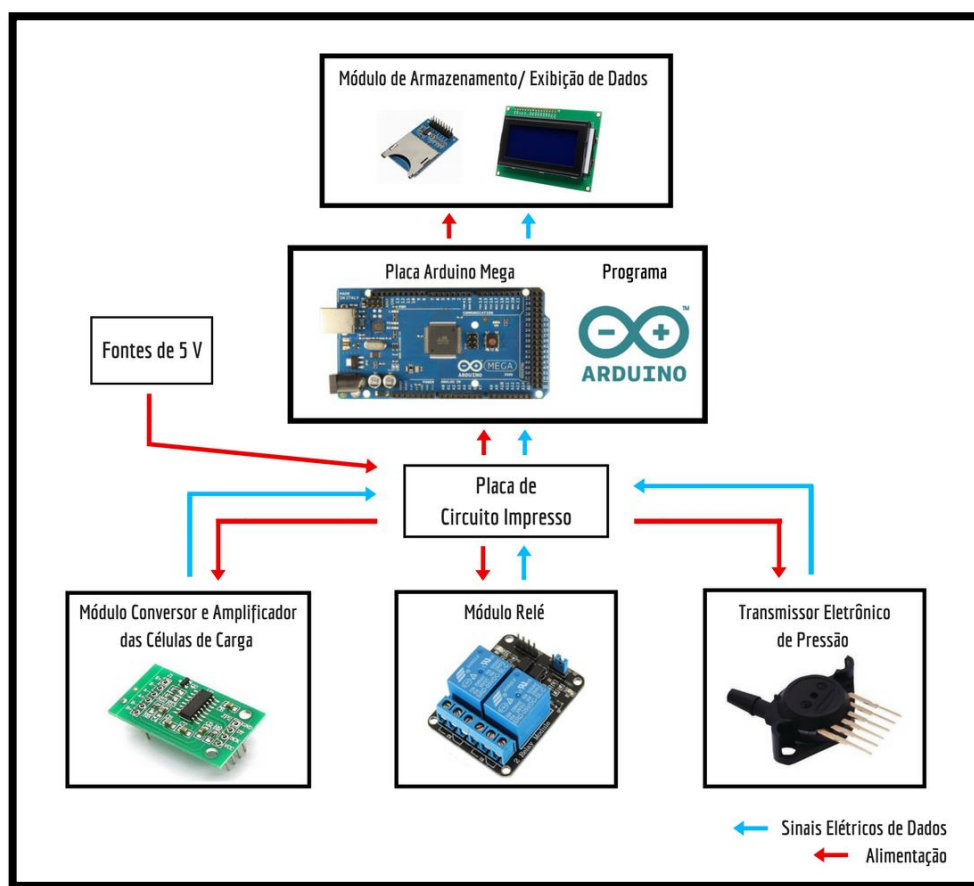


Figura 9 - Diagrama de montagem do Sistema de Aquisição de Dados.

4.3 Condução do experimento e delineamento experimental

O solo utilizado no experimento da segunda etapa foi proveniente de uma propriedade localizada no município de Upanema-RN, onde foi realizada a análise para fins de fertilidade

(rotina) e obtenção dos dados da curva de retenção de água, resultados apresentados na Tabela 2, para a camada coletada de 0-40 cm.

Tabela 2- Características químicas e hídricas do solo.

P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	CEes	pH
mg kg ⁻¹			(cmol _c dm ⁻³)			(dS m ⁻¹)	(H ₂ O)
0,30	155,70	29,0	13,54	1,20	0,01	1,49	7,65
Coefficientes da curva de retenção de água (tensão em cm.c.a)							
α	θ _s (g g ⁻¹)	θ _r (g g ⁻¹)	n		m		R ²
0,034	0,314	0,050	1,618		0,382		0,98

A cultura escolhida para o estudo foi o melão (*Cucumis melo* L.) variedade Indian Gold do tipo Cantaloupe. O cultivo foi realizado em vasos com capacidade de 25 litros, a qual possui um sistema de drenagem composto por furos em sua parte inferior, onde os mesmos foram cobertos por uma camada de 3 cm de brita e uma manta de birdim com diâmetro superior ao do vaso. O solo após seco e peneirado (peneira de 2 mm), foi colocado nos vasos de modo que a sua borda ficou 5 cm acima do nível do solo, e que resultasse numa densidade global de 1,25 g cm⁻³.

Foi adotado um espaçamento de 0,80 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, onde cada linha de plantio corresponde a um bloco experimental, com quatro 4 repetições (Figura 10). Utilizamos espaldeiras verticais para o cultivo de 1,9 m de altura, com quatro fios, presos e esticados por mourões instalados ao longo das linhas de plantio. As plantas foram tutoradas na vertical, presas por fitilhos instalados transversalmente durante todo o seu ciclo, sendo conduzidas com haste única e realizada a polinização artificial manual diariamente no período da manhã.

Dessa forma, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados, constituído por cinco tratamentos (T) e quatro repetições, totalizando 20 plantas úteis. Os tratamentos adotados foram cinco lâminas de irrigação, determinada pelo cálculo da evapotranspiração da cultura (ET_c), usando método de FAO (ALLEN et al. 2009), usando o SAD1 para controlar cada lâmina de irrigação, sendo estas: 120% da ET_c (T1), 100% da ET_c (T2), 80% da ET_c (T3), 60% da ET_c (T4) e 40% da ET_c (T5).

evapotranspiração de referência (ET_o), foram registrados pela estação meteorológica. Os coeficientes basais utilizados foram recomendados pelo Boletim 56 da FAO (ALLEN et al., 2006) para a cultura do melão, sendo: 0,20; 1,05 e 0,75 para as fases inicial, intermediária e final do seu ciclo cultural, respectivamente.

Neste experimento o sistema de irrigação foi automatizado, utilizando o controlador de irrigação do SAD1.

4.3.2 Fertirrigação e adubação da cultura

Foi aplicado, via adubação de cobertura e antes do transplante das mudas, aproximadamente, 1 kg de esterco bovino curtido por vaso, considerando-se como adubação de fundação. A injeção de fertilizantes foi realizada por meio de um pulmão, construído com diâmetro de 50 mm e 65 cm de comprimento, tendo sido fornecidos 120 kg ha⁻¹ de N, 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O, em todo o ciclo da cultura e de acordo com a marcha de absorção de nutrientes.

4.4 Características avaliadas e análises estatísticas

4.4.1 Calibração dos equipamentos construídos

Durante a primeira etapa, foi realizado em todos os componentes dos SAD's construídos, os pré-testes de continuidade dos sinais elétricos coletados (corrente elétrica, tensão elétrica, sinal digital, etc.) e dos dados armazenados. Para o sensor TET foi usado a equação de calibração encontrada por Arruda et al. (2017).

No caso do sensor de peso célula de carga, não se encontrou na literatura um fator de calibração usual, sendo, portanto, necessário obter esse fator por calibração com pesos padrões conhecidos (de 1 kg).

Para o experimento também foi construído uma estrutura para apoiar as células de carga abaixo dos vasos (Figura 11). A estrutura foi constituída de placa de plástico rígido (0,8 cm de espessura, com largura de 25 cm e comprimento de 40 cm), sendo perfurada no ponto de inserção das células de carga, instaladas abaixo dessas placas, sustentando-as, onde os vasos eram colocados acima destas placas. As células de carga foram apoiadas em tabletes de madeira de 15 mm de espessura cortadas nas dimensões destas células (Figura 11). Dessa

forma, a calibração foi realizada com toda essa estrutura (placa de plástico + células de carga + tablete de madeira) instalada sem os vasos, a qual se inseriu os pesos padrões conhecidos, acrescentando-os em ordem crescente e em ordem decrescente até um peso total de 20 kg, anotando-se os valores dos dados digitais (Counts) coletados pelos SAD2.

Em casa de vegetação foram utilizados três tratamentos (T1, T2 e T3) para analisar o balanço hídrico do solo contido nos vasos e consequentemente o comportamento da evapotranspiração pelas plantas. Os micro-lisímetros foram instalados utilizando as mesmas bases utilizadas para a calibração.

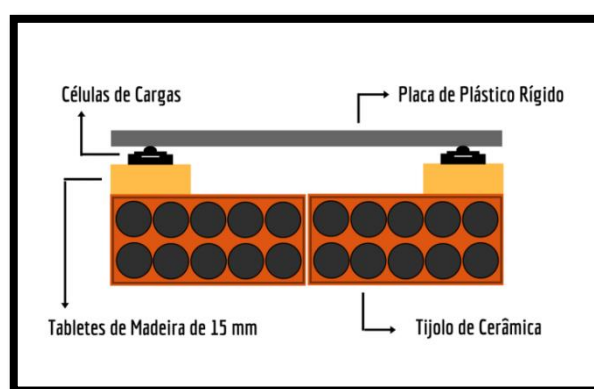


Figura 11 - Esquema mostrando a Estrutura de apoio para as células de carga.

Na segunda etapa foi monitorado o crescimento das plantas, onde as mesmas foram avaliadas com o intuito de verificar o desenvolvimento sob os diferentes tratamentos aplicados. As amostras de plantas foram coletadas próximo ao final do ciclo da cultura, iniciando a primeira coleta aos 61º dias e as demais aos 68º e 73º dias após o transplante. Nas duas primeiras amostragens, foi coletada uma planta de cada tratamento, sendo medida a área foliar (AF) através do comprimento (C) e largura da folha média (L), além da contabilização do número de folhas (NF) e a massa seca da parte aérea (MSPA). Na última amostragem foram coletadas todas as plantas úteis do experimento, sendo utilizados os mesmos parâmetros de medidas. Todas as plantas sofreram submetidas a secagem com o intuito de obter a MSPA.

4.4.2 Análises estatísticas

Os dados do experimento foram submetidos a análise de variância, utilizando o software SISVAR, onde as médias obtidas entre os tratamentos foram comparadas pelo teste Tukey a 1% de significância e regressão linear.

Para averiguar a calibração dos equipamentos, foi realizada a análise de características técnicas de acurácia, precisão e linearidade. Para tanto, foram ajustados os modelos segundo regressões lineares, regressões ajustadas à origem, índice de concordância (d) e índice de desempenho (c). A precisão de um instrumento é a capacidade deste de repetir uma mesma medida e é indicada pelos erros de repetibilidade, sendo a histerese indicada separadamente. A exatidão está correlacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância (d) (Willmott et al., 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita. O índice de Willmott é dado pela Equação 1

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \quad (1)$$

em que:

- d = adimensional, variando de 0 a 1;
- P_i = valores de pesos estimados pelo método;
- O_i = valores observados de pesos;
- O = média dos valores observados.

O índice c, equação 2, proposto por Camargo & Sentelhas (1997) foi utilizado para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os coeficientes de correlação (R) e o “d”.

$$c = R \cdot d \quad (2)$$

Assim foram feitas análises da regressão, tendo como critério de ajuste a verificação dos coeficientes de determinação e pelo coeficiente de correlação (R) que indica o grau de dispersão dos dados em relação à média, ou seja, o erro aleatório. Todos esses índices utilizados na análise do desempenho dos lisímetros podem ser encontrados em Coelho Filho et al. (2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Calibração do SAD e do sensor TET

Os pré-testes realizados nos SAD's construídos mostraram que esses equipamentos, em conjunto com os sensores, podem ser utilizados para minimizar os problemas dos erros de leituras que ocorrem comumente no manejo das irrigações no campo. O primeiro teste foi realizado com o SAD1, onde se fez as leituras e a calibração do sensor tensiômetro automático (TET), que pode ser visto na Figura 12. Observa-se a correlação deste sensor quando os dados foram coletados no SAD1 (TET-SAD) e quando um sensor idêntico teve também seus dados coletados num SAD comercial CR1000 da Campbell Scientific (TET-DAT), ao mesmo tempo. Verifica-se que a relação entre os dados foi muito boa, o que pode ser comprovado pelo elevado coeficiente de determinação, R^2 de 99,98%, isto é, os dois sensores TET construídos, submetido as mesmas condições de ensaio, mas instalados em registradores de dados diferentes, comprova que o SAD1 pode ser utilizado para determinar indiretamente a umidade do solo por tensiometria, se levamos em consideração o *datalogger* da Campbell Scientific como padrão.

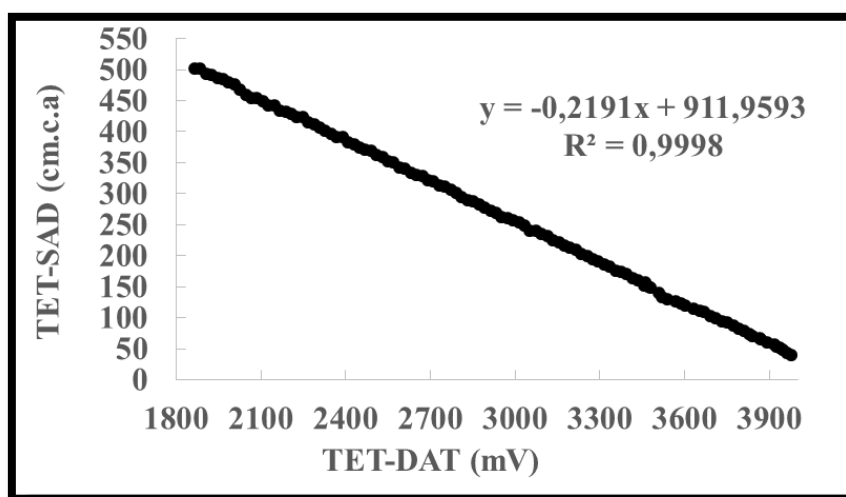


Figura 12 - Correlação entre as medidas realizadas no sensor TET com o SAD1 (TET-SAD) e a medidas desse mesmo sensor com o *datalogger* CR1000 da Campbell Scientific (TET-DAT).

Na Tabela 3, encontram-se os coeficientes estatísticos encontrados para o TET-SAD. Verifica-se que os valores de R, d e c são muito próximos de 1 o que indica que o modelo linear adotado na Figura 12 tem elevada correlação.

Tabela 3- Performance do SAD1 utilizando o sensor TET.

Coeficientes Estatísticos	SAD1
R	0,99989
d	0,99999
c	0,99989

Na Figura 13 pode ser observado o SAD construído, mostrando os componentes como o Arduino, display, relógio, cartão de memória, placa de relé e materiais utilizados normalmente em eletrônica como a placa de fenolite e os bornes. O SAD foi acondicionado em caixa de plástico e instalado dentro de um abrigo de fibra-amianto, para coleta e armazenamento dos dados do trabalho em campo.

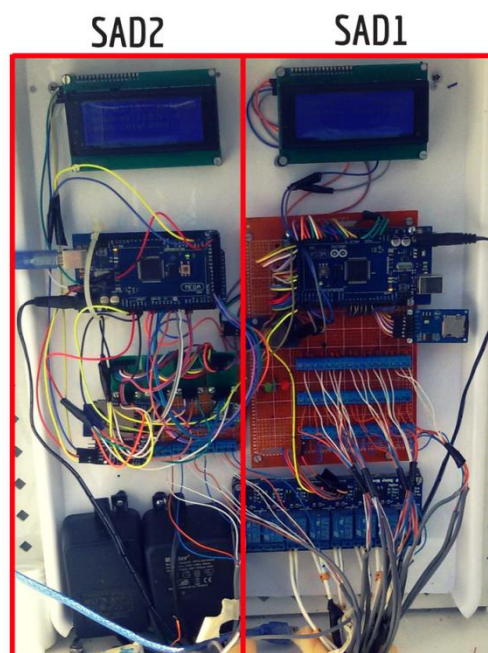


Figura 13 - SAD's construído mostrando os componentes utilizados.

5.2 Calibração do sensor de peso

Na Figura 14 pode ser observada a relação entre os dados do sensor célula de carga coletados pelo SAD2 e os valores dos pesos-padrão usado na calibração. Verificou-se que o

modelo da equação linear obtida por regressão, apresentou ótima relação ($R^2 = 99,8\%$). A equação linear estimada apresentada no gráfico corresponde a “y”, o valor do peso estimado (P_{est}) em kg, e o “x”, o valor do dado da célula de carga medido em “bits/mV”, normalmente chamado de “Count” (Equação 3).

Na Figura 15 observa-se a relação entre os valores do peso-padrão e os valores estimados pelo modelo (Equação 3), fixando-se o intercepto em zero. O coeficiente angular muito próximo de 1 encontrado pela equação regressão mostra a precisão da estimativa dos dados, indicando menores erros sistemáticos. A precisão do modelo pode ser vista pelo elevado valor do coeficiente de determinação (R^2) encontrado de 99,74%. Observam-se também na Tabela 4 os coeficientes estatísticos encontrados no teste, onde os valores de “R”, “d” e “c” são muito próximos de 1, indicando que o modelo adotado na Figura 14 é muito bom.

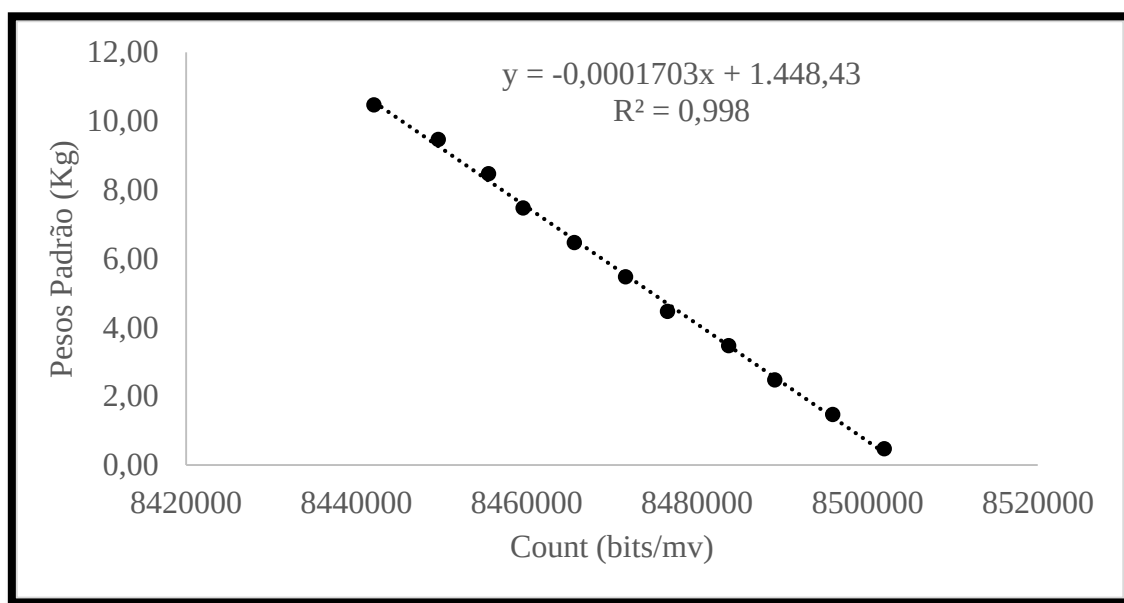


Figura 14 - Relação entre os valores de referência e os valores observados.

$$P_{est} = -0,0001703 * Count + 1448,43 \quad (3)$$

Onde:

P_{est} = peso estimado (kg);

Count = leitura da célula de carga, “bits/mV”.

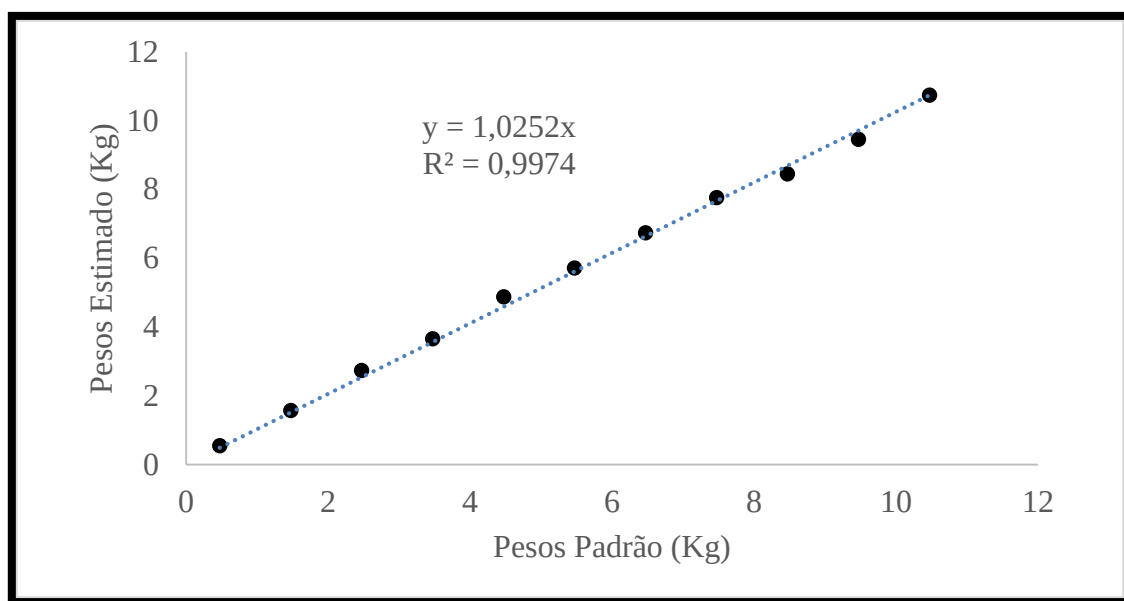


Figura 15 - Valores de peso-padrão versus os valores de pressão estimados pelo modelo.

Tabela 4 - Performance do sensor de célula de carga.

Coeficientes Estatísticos	SAD2
R	0,9989
d	0,9998
c	0,9988

5.3 Dados climáticos

Os dados climáticos obtidos da estação meteorológica semi-automática instalada no local estão apresentados na Figura 16. Como a estação estava instalada nas mesmas condições do experimento, pode-se determinar a estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) descrita por Penman-Monteith-FAO 56 (ALLEN et al., 2006), presumindo erros mínimos. Observa-se nesta Figura a temperatura do ar média (T_{Ar média}), a umidade relativa do ar média (UR média), a radiação solar global (R_g) média e a ET_o.

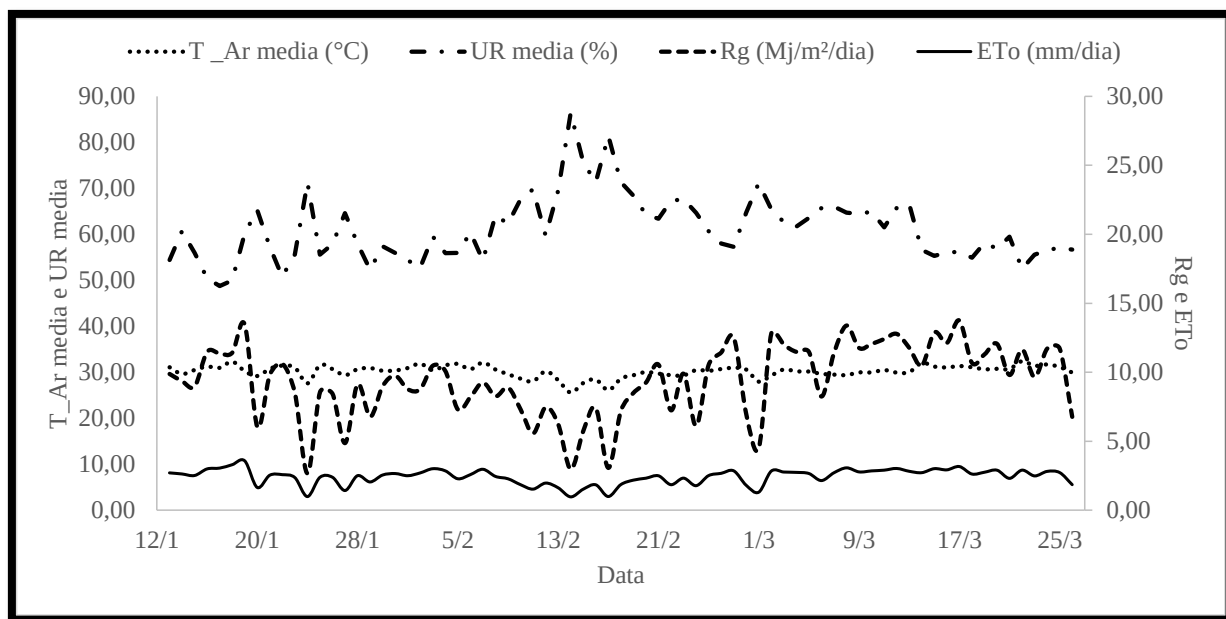


Figura 16 - Dados climáticos coletados dentro da casa de vegetação durante o ciclo da cultura.

Observou-se no período de cultivo do melão, a temperatura média foi de 30,19°C, isto é, bem mais elevada do que a preconizada para a região (CARMO FILHO & OLIVEIRA, 1989), ressaltando-se que essa temperatura e demais dados climáticos foram obtidos em casa de vegetação. Silva et al. (2000) dizem que temperaturas abaixo de 13°C reduzem o crescimento da planta do meloeiro, enquanto temperaturas entre 20 e 30°C são favoráveis ao desenvolvimento e produtividade. Com relação à umidade relativa do ar, a média encontrada foi de 61,19%, abaixo dos 68,9% segundo Carmo Filho & Oliveira (1989), isto ocorre devido o cultivo do meloeiro ter sido conduzido dentro de casa de vegetação e num período ainda seco na região, apesar de ter sido contabilizados um total de 94,5 mm de precipitação pluviométrica.

Na Figura 16 pode ser visto também os valores de Rg, em que nestas condições a radiação global foi de 9,41 MJ/m²/dia em média. Nesse caso, esses valores também são considerados menores do que aqueles encontrados por estações meteorológicas instaladas no campo. Como a Rg é o parâmetro que mais tem influência na estimativa de ETo, segundo Allen et al. (2006), fez com que os valores encontrados de ETo ficassem bem menores, se comparados com dados de campo. O valor médio, máximo e mínimo de ETo encontrados na pesquisa foram de 2,43, 3,58 e 0,97 mm/dia, respectivamente.

5.4 Balanço hídrico do solo nos micro-lisímetros

Na Figura 17 observa-se o funcionamento dos micro-lisímetros instalados nos tratamentos 1 (T1), tratamento 2 (T2) e tratamento 3 (T3), em condições de perda de massa (diferença de peso negativa) e de ganho de massa (diferença de peso positivo) durante o dia 12/03/2018, quando a cultura estava no seu estágio fenológico intermediário (Fase III). Verifica-se nesta Figura o comportamento dos micro-lisímetros devido ao consumo de água ocorrido pelas plantas, já que as irrigações eram realizadas as 9:00hs e as 16:00hs do dia. No T1 e T2, mesmo depois das irrigações, o peso dos micro-lisímetros não retornou ao peso inicial, o que resultou numa perda de água no final do dia. Já no micro-lisímetro do T3, ocorreu exatamente o contrário. Isto ocorre pois, como o T3 é um tratamento de déficit hídrico (80% da ET_c -FAO), as plantas nesse período já tendiam a diminuir seu consumo de água, normalmente para evitar maiores perdas na sua demanda total. Ocorre o contrário com os tratamentos T1 e T2, pois esses eram irrigados com valores de lâminas iguais (T2) ou maiores (T1) que o calculado com a ET_c -FAO, fazendo normalmente com que as plantas consumissem mais água para sua demanda total.

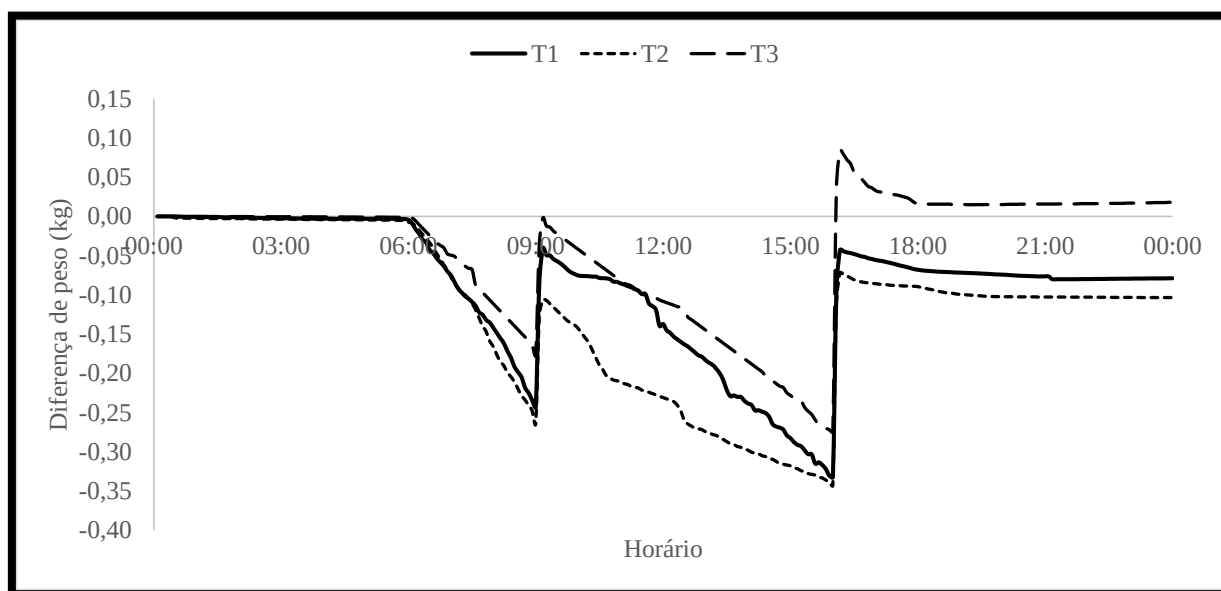


Figura 17 - Diferenças de peso obtida no dia 12/03/18 (sol pleno) pelas células de carga nos tratamentos T1, T2 e T3.

Na Figura 18, pode ser visto as diferenças de pesos diárias nos micro-lisímetros, isto é, a variação de armazenamento de água medida, instalados nos tratamentos 1 (T1), tratamento 2

(T2) e tratamento 3 (T3), durante o período avaliado, que se estendeu nos estádios fenológicos intermediário (Fase III) e final (Fase IV) da cultura. Observa-se que o comportamento das curvas é idêntico ao verificado na Figura 17, isto é, o tratamento T2 apresentou, na maior parte do período, diferenças de peso negativas devido ao elevado consumo de água realizada pela cultura, seguido do tratamento T1. O tratamento T3 tem em grande parte do período diferenças de peso positivas, que são ocasionadas pelas entradas de água pelas irrigações e pelo baixo consumo de água da cultura. Nota-se, que o tratamento T1 apesar de receber lâminas de irrigação maiores (120% da ETc-FAO), em comparação ao tratamento T2 (100% da ETc-FAO), o consumo de água pela cultura já se encontrava menor em relação ao T2 nesse período, provavelmente devido ao excesso de água aplicado nas irrigações controladas a esse tratamento T1.

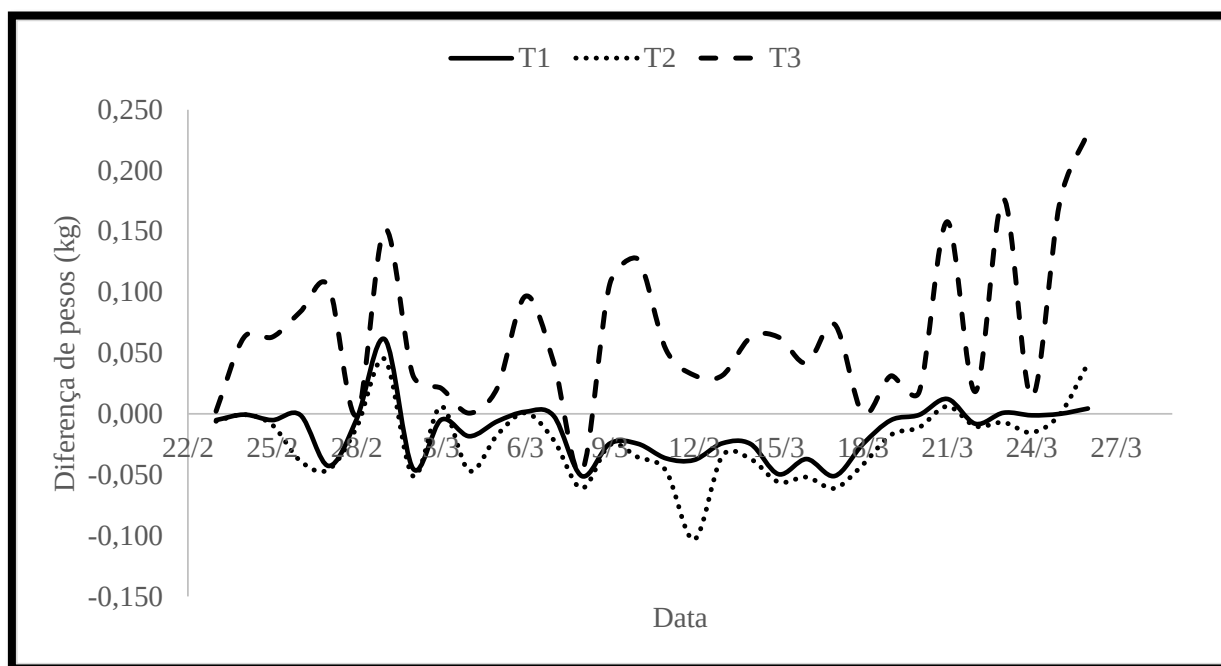


Figura 18 - Diferenças de peso obtida durante os dias 22/02 a 27/03/18 pelas células de carga nos tratamentos T1, T2 e T3.

Na Figura 19, são apresentados a evapotranspiração da cultura estimado pelo método Penman-Monteith-FAO (ETc-FAO), a evapotranspiração da cultura encontrado pelo micro-lisímetro (ETcLis) usando o método do balanço hídrico (calculado considerando o tratamento T2 por ser a testemunha), e, as lâminas de irrigação aplicadas (Irrig.), durante o período de coleta de dados nos micro-lisímetros. Observa-se que a ETcLis foi maior que a ETc-FAO e que as irrigações acompanharam as lâminas pré-determinadas pelo cálculo da ETc-FAO,

comprovando que as lâminas calculadas para a cultura foram estimadas de acordo com sua necessidade. Dessa forma, verifica-se que a demanda hídrica da cultura, nas condições do experimento realizado em casa de vegetação, excedeu a aplicação de lâmina de irrigação calculado pelo método comumente realizado (ETc-FAO). Esse fato pode ter como justificativas, o próprio cultivo em casa de vegetação, a condição de alta frequência de irrigação realizada, já que era irrigado duas vezes ao dia, pela escolha talvez inadequada dos Kc's (Tabela 5) escolhidos para a estimativa da ETc-FAO, e, provavelmente, a um problema ocorrido durante o experimento, que fez com que as plantas vegetassem por maior período de tempo devido à falta de polinização no momento oportuno.

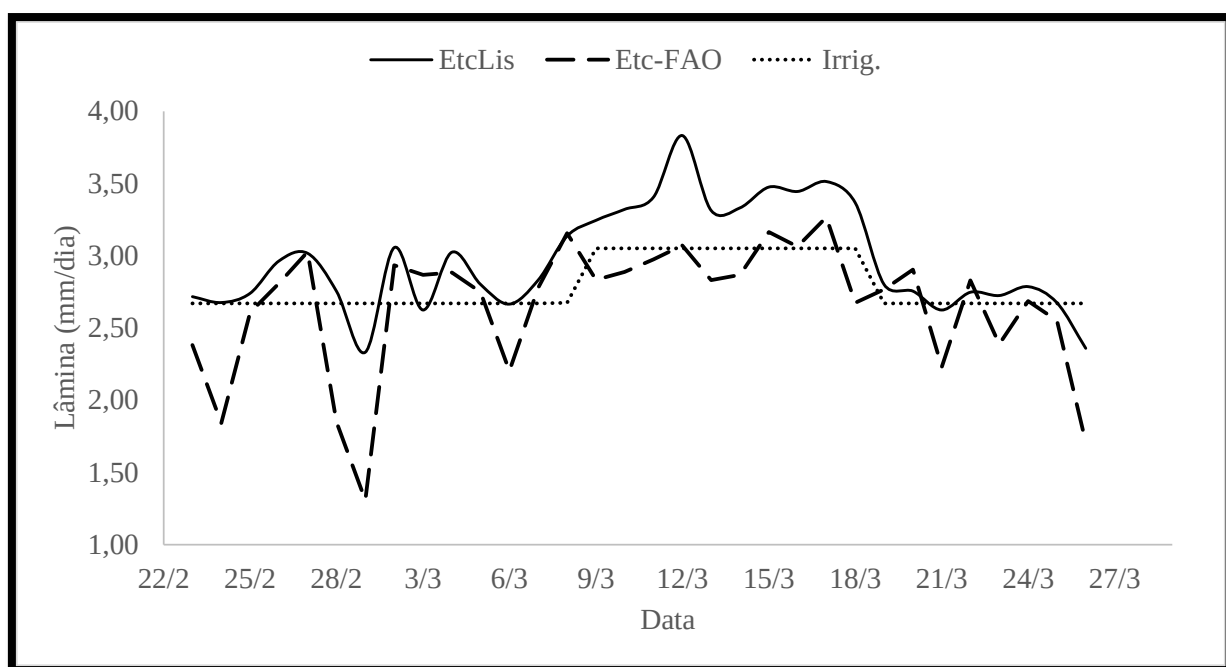


Figura 19- Evapotranspiração determinada pelo microlisímetro (EtcLis), pelo método da FAO-Penman-Monteith (ETc-FAO) e lâmina de irrigação aplicada (Irrig.) durante os dias 22/02 a 27/03/18.

Na Tabela 5, são apresentados os coeficientes de cultura obtidos nos tratamentos T1 (KcT1), no T2 (KcT2), no T3 (KcT3) e os usados para a ETc-FAO (KcFAO). Verifica-se que nos tratamentos T1 e T2 tiveram valores maiores que os recomendados pela FAO (Allen et al., 2006), o que já pôde ser observado no comportamento das curvas na Figura 20. Com relação ao tratamento T3, este apresentou valor de Kc menor na Fase III e maior na Fase IV quando comparado com o KcFAO, reforçando a discussão sobre o prolongamento do desenvolvimento vegetativo da planta no estágio fenológico final da cultura.

Tabela 5 - Estádio fenológico, período em dias, coeficiente de cultivo (T1, T2, T3 e o da FAO), encontrado no período avaliado.

Estádio Fenológico	Duração	KcT1	KcT2	KcT3	KcFAO
Inicial	15	-	-	-	0,50
Desenvolvimento	21	-	-	-	-
Intermediária	23	1,158	1,195	0,953	1,05
Final	14	1,095	1,109	0,815	0,75
Total	73	-	-	-	-

5.5 Dados de crescimento da cultura

Na Tabela 6 pode ser visto a ANAVA das características de crescimento da planta, massa seca da parte aérea em gramas (MSPA), e área foliar em cm² (AF), coletados no final do experimento nos 5 tratamentos. Houve diferença significativa ao nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos, tanto de MSPA como de AF. Com relação a MSPA, verificou-se que o tratamento T1 apresentou média igual ao T2 e superior aos demais. Já para a área foliar, os tratamentos T1 e T2 foram também significativamente iguais, mas superiores aos demais. Esses resultados concordam com Bernardo et al. (2006) que dizem que as plantas tendem a diminuir seu crescimento com o estresse hídrico. Também esses resultados corroboram com o que ocorreu com a evapotranspiração da cultura nos micro-lisímetros, reportados anteriormente.

Tabela 6 - Resumo da ANAVA das características de massa seca da parte aérea em gramas (MSPA) e área foliar em cm² (AF).

Fator de variação	G.L	Estatística F	
		MSPA	AF
Tratamentos	3	9,127**	18,829**
Blocos	4	0,268 ^{ns}	2,304 ^{ns}
Resíduo	12	-	-
Lâminas		Médias	
T1		137,79a	9.871,75a
T2		80,83ab	10.902,0a
T3		58,02b	5668,25b
T4		30,63b	4546,50b
T5		26,48b	3123,75b

^{ns} não significativo, ** Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

As Figuras 20 e 21 mostram a Área foliar (AF) e a massa seca da parte aérea (MSPA), coletados em três diferentes datas próximo ao final do cultivo.

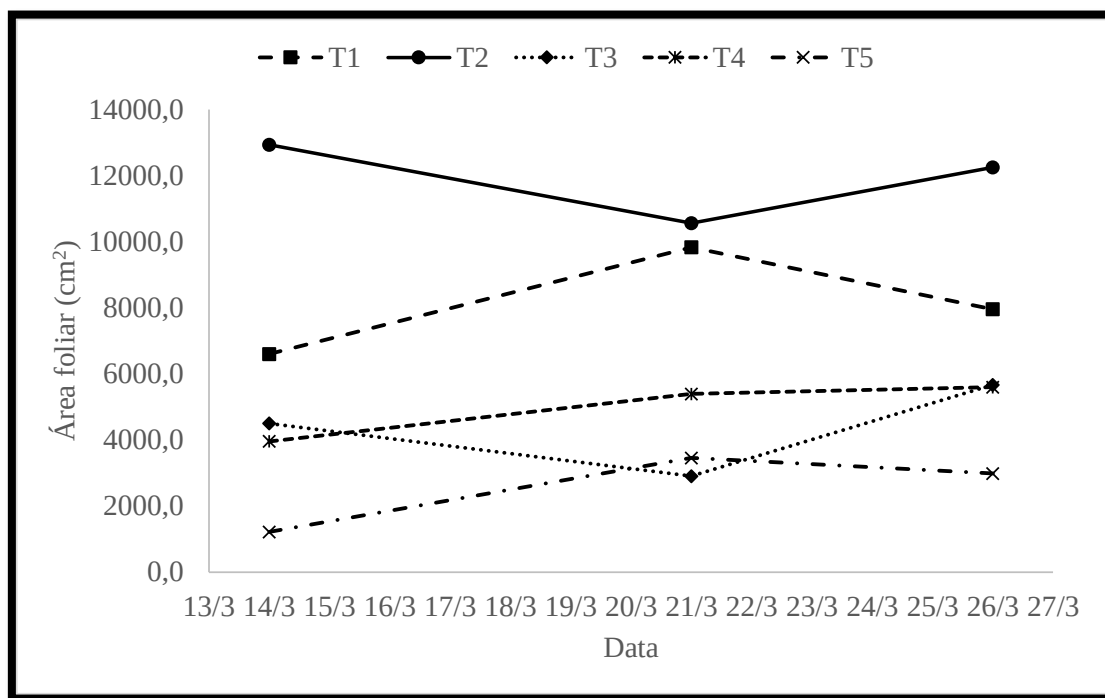


Figura 20 - Área foliar da planta nas três coletas realizadas.

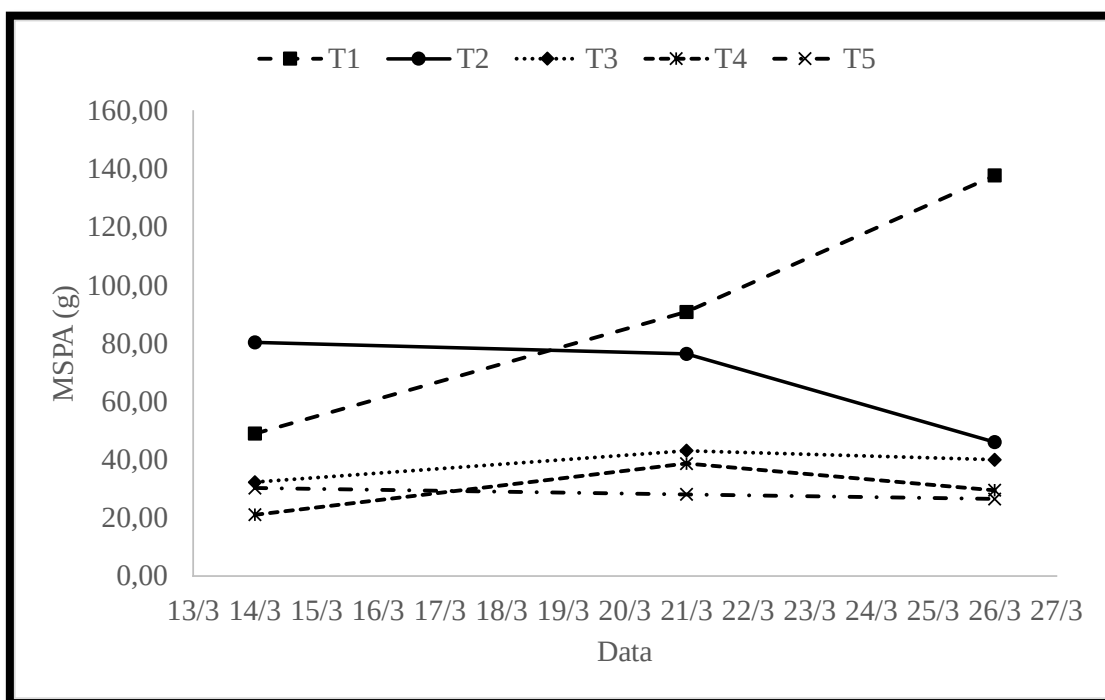


Figura 21 - Massa seca da parte aérea.

Os resultados apresentados na Tabela 6 e nas Figuras 20 e 21, foram obtidos com a aplicação dos tratamentos de lâminas de irrigação, controlando a aplicação dessas lâminas pelo controlador de irrigação do SAD1 construído. Durante o experimento, verificou-se que mesmo na falta de energia ocorridas, esse controlador funcionou adequadamente, sem atrasos ou adiantamentos nos horários de abertura/fechamento das válvulas elétricas de irrigação. Como vantagens do controlador de irrigação construído, não ocorre nenhuma restrição na programação de horários e de dias de irrigação, podendo ser alterado minuto a minuto, bem como pode-se acionar várias válvulas ao mesmo tempo e desligá-las em tempos diferentes. Também pode-se instalar conjuntos motobombas monofásicas de até 5 cv. Na maioria dos controladores vendidos atualmente, para que este faça os mesmos procedimentos ditos anteriormente, o custo do equipamento se torna bastante elevado.

6 CONCLUSÕES

Os SAD's e os sensores de pressão construídos demonstraram serem eficientes na automação da irrigação, na determinação indireta da umidade do solo por tensiometria, bem como, na estimativa do consumo de água pelas plantas.

A evapotranspiração da cultura obtida nas condições do experimento excedeu a lâmina de irrigação aplicada e calculada pelo procedimento recomendado pela FAO (ETc-FAO).

Os parâmetros de crescimento nas plantas (MSPA) e (AF) foram afetados pelas lâminas de irrigação, apresentando diferença significativa dos tratamentos de 120% da ETc-FAO e 100% da ETc-FAO sobre os demais tratamentos de estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH. **Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; BASTOS, E. A.; SENTELHAS, P. C.; SILVA, A. A. G. da. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para Parnaíba e Teresina, Piauí. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.11, n.1, p.63-68, 2003.

ARAÚJO, J.L.P.; VILELA, N.J. Aspectos socioeconômicos. In: SILVA, H. R. da; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.2, p15-18.

ARRUDA, L. E. V.; FIGUEIRÊDO, V. B.; LEVIEN, S. L. A. MEDEIROS, J. F. Desenvolvimento de um tensiômetro digital com sistema de aquisição e armazenamento de dados. **Revista Irriga**, Botucatu edição especial, p.11-20, 2017.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 8.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 2006. 657p.

BRANDÃO FILHO, J.U.T. ; VASCONCELLOS, M.A.S. A cultura do meloeiro. In: GOTO, R.; TIVELLI, S.W. (Org.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. p.161-193.

BRIDI, E.; GIANESINI, B. M.; BIANCHI, E. C.; VILERÁ, K. V.; DIAS, R. R.; CAPRIATA, V.; MOMESSO, A. E. C.; CONEJO, A. Z.; SANTOS, D. C.; FARIA, I. M.; BONATO, M. J. D.; QUADROS, R.; MARTINS, W. K. A. G. Oficina de Arduino como ferramenta interdisciplinar no curso de engenharia elétrica da UFMT: a experiência do petelétrica. **XLI Congresso brasileiro de educação em engenharia**, Gramado, 2013.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida ‘Tahiti’(Citrus latifolia Tan.)**. 2002. 62 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) –

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CARMO FILHO, F. do; OLIVEIRA, O. F. de. **Mossoró: um município do semi-árido: caracterização climática e aspecto florístico**. Mossoró: UFERSA, 1989. 62 p. (Coleção Mossoroense, série B ,672,).

COELHO FILHO, M. A.; VELLAME, L. M.; COELHO, E. F. SOUZA, C. F. **Instalação e operação de sistemas de aquisição e armazenamento de dados para o monitoramento do sistema solo-água-plantas**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2004. 136p. (Documentos n. 143).

COEX- Comitê Executivo de Fitossanidade do Rio Grande do Norte- **Dados de exportação de melão**: Período de Janeiro/2004 a Abril/2005. Mossoró: 2005, 1p.

COSTA, N.D.; GRANGEIRO, L.C. Composição química do fruto e usos. In: .SILVA, H. R. da; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.4, p 22.

DIAS, R.de C.S.; COSTA,N.D.; SILVA, P.C.G.; QUEIROZ, M.A. de; ZUZA, F.; LEITE, L.A.S.; PESSOA, P.F.A.P.; TARAO, D.A. A cadeia produtiva do melão no Nordeste. In: CASTRO, A.M.G.; LIMA, S.M.V. de; GOEDART, W.J.; FREITAS FILHO, A. de; VASCONCELOS, J.R.P.(eds). **Cadeias produtivas e sistemas naturais**: prospecção tecnológica. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa-DPD, 1998. Cap. 17, p.441-494.

FILIPFLOP, site de compras. **Módulos**. Disponível em <<http://www.filipeflop.com/pd-6b84a-modulo-rele-5v-2-canais.html?ct=41d96&p=1&s=1>> . Acesso em fevereiro de 2018.

FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M. Cultura do melão. In: FONTES, P.C.R. (ed). **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa: UFV, 2005. Cap.26. p. 407-428.

INAMASU, R. Y.; BERTUCCI, I. V.; FERREIRA, W. S.; SOTTO, C. A. B.; TORRE NETO, A.; NAIME, J. M.; RABELLO, L. M.; CRUVINEL, P. E.; BERNARDES FILHO R.;

HERMMANN JÚNIOR, P. S. P.; VAZ, C. M. P. Sistema de informação em elementos de aquisição de dados para ambiente agropecuário. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, n.10, p.1-8, 1996.

MAROTO, J.V. **Horticultura herbácea especial**. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1995, 611p.

NEGREIROS, M.Z.; MEDEIROS, J. F.; SALES JÚNIOR, R; MENEZES, J. B. Cultivo do melão no pólo Rio Grande do Norte/Ceará. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n.3, nov., 2003.

PEDROSA, J.F. **Cultura do melão**. Mossoró: ESAM, 1997. 50p. Apostila.

PEREZ, Antônio Daniel Catunda. **Módulo de controle aplicado à automação agrícola**. 2011. 53 f. Monografia de graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, L. M. C. **Procedimentos para pedidos de outorga de direito de uso da água para irrigação**. In: Workshop sobre Água, Agricultura e Meio Ambiente no Estado de São Paulo, 2003. Anais... Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2003.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Instrumentação industrial**. 9ª Ed. São Paulo, TekTreinamento&Consultoria Ltda., 1999.

RODRIGO LOPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J. M.; PEREZ REGALADO, A.; GONZALEZ HERNANDEZ, J. F. **Riego localizado**. MAPA-IRYDA. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 1992. 405p.

SILVA, H.R da; COSTA, N.D.; CARRIJO, O.A. Exigências de clima e solo e época de plantio. In: In: SILVA, H. R. da; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.5, p

23-28.

SILVA, H.R.; FARIA, C.M.de; COSTA, N.D.; FERREIRA, C.C. Distúrbios fisiológicos. In: SILVA, H.R.da.; COSTA, N.D. (eds). **MELÃO: Produção aspectos Técnicos**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2003. cap.15, p 117-120.

WILLMONTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. Statistics for the evaluation and comparision of model. **Journal of Geophysical Research**. Ottawa, v.90, n.C5, p. 8995-9005, 1985.