

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

SIDNEI BORGES DE OLIVEIRA

**ESTUDO PRELIMINAR DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE IRRIGAÇÃO EM
PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

PORTO ALEGRE
2020

SIDNEI BORGES DE OLIVEIRA

**ESTUDO PRELIMINAR DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE IRRIGAÇÃO EM
PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**

Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

PORTO ALEGRE

2020

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

O48e Oliveira, Sidnei Borges de
Estudo preliminar de sistema fotovoltaico de irrigação em pequenas propriedades rurais – Porto Alegre, 2020.

36 f.: il.

Monografia (Graduação em Automação Industrial) - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso Superior em Automação Industrial, Unidade de Ensino em Porto Alegre, 2020.

Orientador: Prof^o. Dr^o. João Alvarez Peixoto.

1. Automação. 2. Tecnologia. 3. Clima. I. Peixoto, João Alvarez. II. Título.

CDU 62

SIDNEI BORGES DE OLIVEIRA

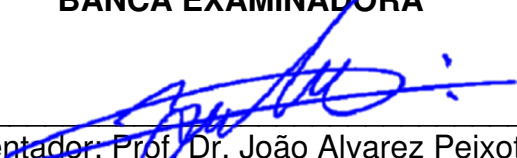
**ESTUDO PRELIMINAR DE SISTEMA FOTOVOLTAICO DE IRRIGAÇÃO EM
PEQUENAS PROPRIEDADES RURAIS**


Monografia a apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.


Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto.

Aprovado em: 21 / 08 / 2020

BANCA EXAMINADORA


Orientador: Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS


Prof. Dr. André Borin Soares
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS


Prof. Dr. Fernando Almeida Santos
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2020

Dedico este trabalho aos que se empenham na nobre missão de ensinar, o que faz a vida de cada cidadão e cidadã ter verdadeiro significado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a compreensão de minha família pelas inúmeras ausências quando na busca do conhecimento, tanto para os cursos técnicos, como para esta formação superior.

Agradeço à Petrobras S.A., que proporcionou e ainda proporciona inúmeras oportunidades de aplicação de conhecimentos e permitiu as trocas de horários para que eu pudesse comparecer às disciplinas e atingir esta conquista.

Agradeço aos colegas de curso, que contribuíram para solução de dúvidas e que juntos possamos fazer um mundo melhor.

Ao Dr. Marco Antônio Ferreira Conceição (Embrapa), pelas correções e orientação técnica.

Por fim, agradeço aos profissionais do ensino, que dedicam sua vida à transmissão do conhecimento, sem o qual as conquistas civilizatórias não se consolidam.

RESUMO

A proposta deste estudo é obter racionalização do uso de água de irrigação, ou seja, economizar água, com incremento de produtividade para pequenas propriedades rurais de até 10 hectares. Ao contrário do senso comum, as pequenas propriedades rurais são as grandes responsáveis pelo abastecimento de alimentos das cidades. Além disso, as transformações climáticas no planeta, e a previsível continuidade destas mudanças, com impacto sobre a disponibilidade de recursos naturais como a água, fonte indispensável à sobrevivência, à agricultura e produção de alimentos, indissociada da estabilidade social e organização coletiva, torna necessário otimizar o uso dos recursos hídricos. Neste estudo, procurou-se levantar dados para possível agregação de sistemas automatizados para uso na irrigação com válvulas e sistema de bombeio acionados por microcontrolador, a partir de sensoriamento de solo e alimentados por fontes sustentáveis de energia, como solar e eólica. O estudo foi realizado em campo, em pequena escala, em plantação de videira na localidade de Novo Hamburgo, RS, confeccionando e utilizando planta piloto automatizada para irrigação. A partir dos dados coletados chegou-se à conclusão que o projeto pode ser usado para futuros estudos de dimensionamento volumétrico para racionalização de água de irrigação.

Palavras-chave: Automação, Tecnologia, Clima, Alimentação, Natureza.

ABSTRACT

The purpose of this study is to obtain rationalization of the use of irrigation water, that is, to save water with increased productivity for small rural properties of up to 10 ha. Contrary to common sense, small rural properties are largely responsible for supplying food to cities. In addition, climate change on the planet, and the foreseeable continuity of these changes, with an impact on the availability of natural resources such as water, an indispensable source for survival, agriculture and food production, inseparable from social stability and collective organization, makes it necessary to optimize the use of water resources. In this study, we sought to gather data for possible aggregation of automated systems for use in irrigation with microcontroller-driven valves and pumping systems, based on soil sensing and powered by sustainable energy sources, such as solar and wind power. The study was carried out in a small-scale field in a vine plantation in Novo Hamburgo, RS, making and using an automated pilot plant for irrigation. From the data collected, it was concluded that the project can be used for future studies of volumetric design for rationalization of irrigation water.

Keywords: Automation, Technology, Climate, Food, Nature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico comparativo de produtividade em 2015.....	13
Figura 2 - Evolução da área Irrigada no Brasil.	16
Figura 3 - Protótipo para irrigação alimentado por energia solar.....	19
Figura 4 - Placa Microcontroladora Arduíno.	20
Figura 5 - Instrumento de medição Irrigas.....	22
Figura 6 - Método aplicado no projeto.....	23
Figura 7 - Esquema Elétrico Utilizando Arduíno R3	24
Figura 8 - Esboço esquemático da montagem do sistema.....	24
Figura 9 - Precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da tabela 5.....	29
Figura 10 - Precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da tabela 6.....	31
Figura 11 - Experimento montado para testes preliminares.....	32
Figura 12 - Experimento em Campo.	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Radiação Solar para Latitudes Sul.....	26
Tabela 2 - Valores médios de Kc para produção em latada*	26
Tabela 3 - Valores médios de Kc para produção em espaldeira*	27
Tabela 4 - Valores Mensais ETo Novo Hamburgo 2020 (mm/dia).	27
Tabela 5 - Dosagem medida com 1 sensor.....	30
Tabela 6 - Dosagem medida com 2 sensores.....	31
Tabela 7 - Materiais e equipamentos utilizados para os testes de campo.	33

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de águas.
CC	Corrente Contínua.
Dma	Depreciação do maquinário.
PID	Proporcional, Integral, Derivativo.
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> ou Modulação de Largura de Pulso.
UERGS	Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

LISTA DE SÍMBOLOS

Ω Unidade de medida de resistência elétrica

β Coeficiente angular

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMÁTICA	14
1.2 HIPÓTESE.....	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	17
1.3.2 Objetivos Específicos	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1.1 Dosagem de água dependendo da cultura e região.....	18
2.1.2 Sistemas elétricos e instalações	19
2.1.3 Uso do microcontrolador Arduino	20
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 TIPO DE PESQUISA	21
3.2 MÉTODO APLICADO	21
4 RESULTADOS	29
6 CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS	36

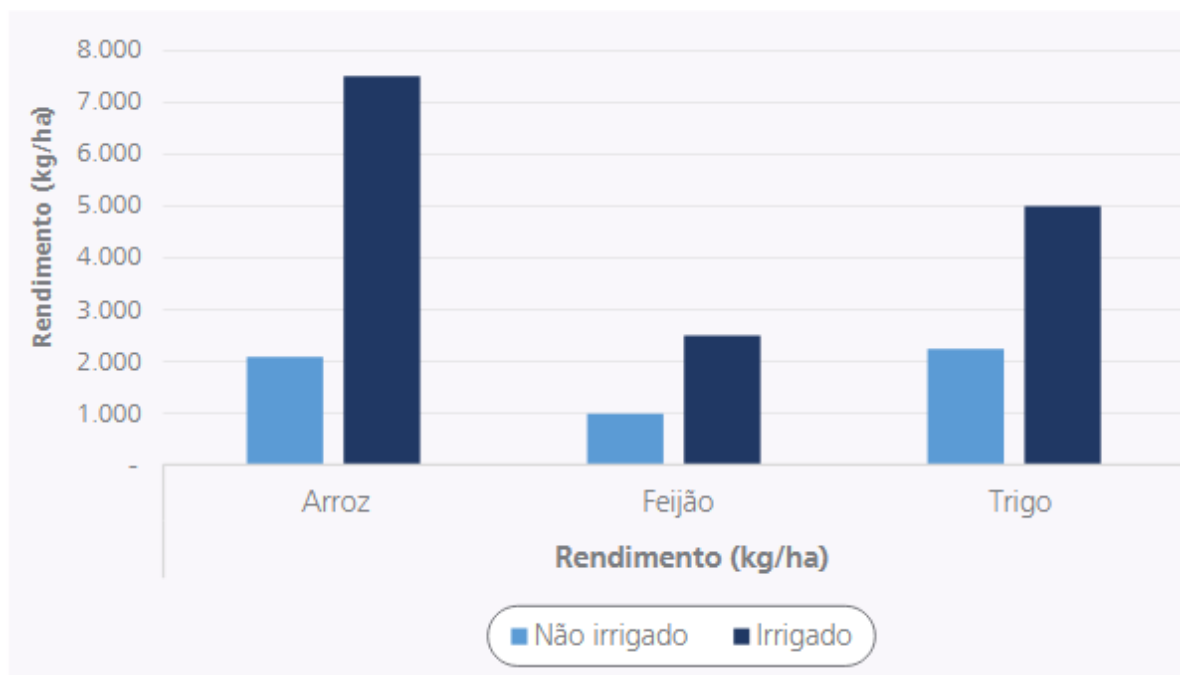
1 INTRODUÇÃO

A progressiva escassez de recursos naturais, dentre estes a água, com suas previsíveis consequências sociais, ambientais, econômicos e políticos tende a ser o maior problema a ser resolvido pela tecnologia, a fim de preservar a produção industrial e, principalmente, agrícola para garantir a produção de alimentos para a sociedade e sua crescente demanda por maiores quantidades e melhor qualidade de alimentos, bem como a necessidade do agricultor gerar rendas para si e sua família a fim de manter-se em atividade no campo.

Tendo em conta que a produção de alimentos está concentrada na pequena propriedade, nem sempre atendida por fontes de água próximas ou abundantes, faz-se oportuno o uso de tecnologias de automação para melhoria da produtividade com uso de irrigação automatizada, já em uso em outros países como Espanha, Marrocos, Argélia, etc. com bons resultados (NOGUEIRA, 2009).

Pode-se ilustrar melhor os ganhos de produtividade, no Brasil, a partir de uma boa irrigação, observando o gráfico comparativo de produtividade em áreas irrigadas e não irrigadas da figura. 1, logo abaixo.

Figura 1 - Gráfico comparativo de produtividade em 2015.



Fonte: ANA (2017)

Conforme Figura 1, a Agência Nacional de Águas (ANA), estima que houve aumento de 3,6 vezes da produção de Arroz, 2,5 vezes de Feijão e 2,2 vezes de Trigo, importantes componentes da dieta no Brasil, a partir do uso de irrigação na agricultura brasileira (ANA, 2017).

A irrigação apresentou um histórico crescente e acelerado nos últimos 15 anos e, mesmo não havendo ainda dados consolidados sobre os benefícios totais da agricultura irrigada, devido à ausência de levantamentos nacionais, a ANA avalia que o uso de irrigação seguirá tendência de aumento, devido a fatores como melhoria do produto agrícola, principalmente frutas, melhor aproveitamento da área de cultivo, assim como produção de artigos mais nobres e de maior valor agregado, melhor planejamento da colheita e expansão do emprego na área técnica com o surgimento de fábricas de equipamentos de irrigação e surgimento de equipamentos automatizados para irrigação (ANA, 2017).

1.1 PROBLEMÁTICA

O Brasil, mesmo possuindo a maior reserva de água doce do planeta já necessita fazer racionamento de água potável em aproximadamente 25% dos seus municípios, sendo que, no interior nordestino, o racionamento de água já atinge 75% do total das cidades.

Também a escassez e distância das fontes de água nas pequenas propriedades, maiores produtoras de alimentos, para garantir a produção agrícola e abastecimento da sociedade poderá sofrer ainda mais com a falta de recursos hídricos.

Com a redução de 10% do desperdício de água de irrigação para agricultura, maior fonte consumidora, através da racionalização do uso da água, pode-se normalizar fornecimento de água para as cidades.

Atualmente a área irrigada no Brasil ainda possui potencial de 30 milhões de hectares, mas irriga apenas 7 milhões de hectares (Mha), ocupando a sétima posição mundial. O Japão, com uma área total de pouco mais de 4% do território brasileiro, irriga o equivalente a 40% da área irrigada do Brasil. Considerando a demanda crescente em todo o planeta por alimentos, fibras e bioenergia, as

mudanças climáticas globais e o potencial de expansão da agricultura irrigada no país, fica evidente que a agricultura irrigada deve ser tratada como uma estratégia regional e nacional de produção, geração de emprego, renda e desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2019).

Também a Agricultura é a principal fonte de sobrevivência de 86% das comunidades rurais pelo mundo e proporciona emprego a mais de um bilhão de habitantes, sendo a principal dificuldade nestas comunidades, o acesso a água em quantidades que satisfaçam às demandas agrícolas (MORALES, 2011).

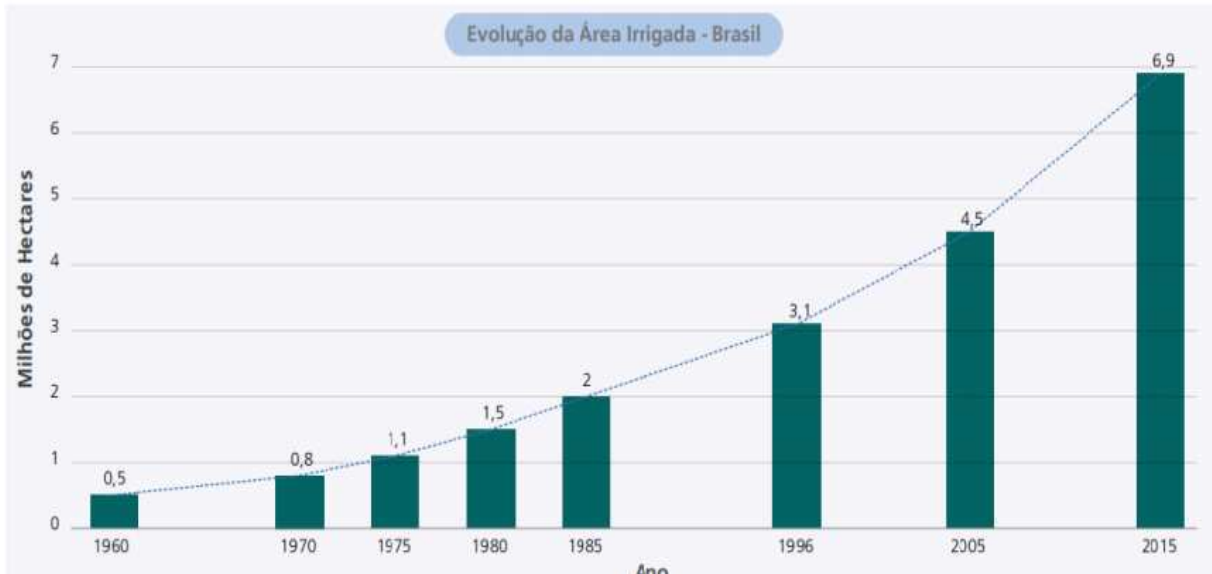
1.2 HIPÓTESE

A questão do uso da irrigação para plantio em pequenas propriedades já está há muito tempo sendo estudada, principalmente em países muito populosos como Japão, Índia, Chile, Peru, entre outros, para equacionamento da produção de alimentos. Mas também no Brasil tem sido levada em consideração para aumento da produtividade e inserção do pequeno agricultor como fornecedor de alimentos, inclusive no semiárido nordestino (SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL DO RGS, 2014), (COELHO, 2015).

O bombeamento com uso de sistemas fotovoltaicos é uma das soluções que tem se apresentado como alternativa viável e de baixo custo, inclusive por não necessitar uso de baterias (MORALES, 2011) e aplicável à pequena propriedade para ajudar a equacionar a questão da crescente escassez de mananciais a céu aberto que antes eram facilmente acessíveis ao pequeno agricultor.

A racionalização do uso da água é também foco deste trabalho, haja visto ser hoje, a irrigação responsável por 69% do uso da água consumida no país (BRASIL, 2019a).

Figura 2 - Evolução da área Irrigada no Brasil.



Fonte: (BRASIL, 2019a).

Também em casos de áreas antes improdutivas, mas que foram alcançadas por projetos de reforma agrária, os sistemas de irrigação por energia solar vieram agregar valor na forma de viabilizar aumento da produtividade e qualidade da produção, inserindo economicamente as famílias através da venda de seus produtos a um mercado mais exigente, além da subsistência, através de projetos de baixo custo e fácil de implementação e operação (SCALAMBRINI; ARAUJO; COSTA NETO, 2006).

Na maioria dos casos, o clima local precisará ser levado em consideração, pois determinará a demanda hídrica da cultura a ser irrigada, levando-se em conta também que cada cultura terá sua demanda hídrica a depender de períodos específicos do ano (MORALES, 2011).

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho são a delimitação do universo de ações que ocorrerão, servindo como limite, a fim de dar foco ao que se está pesquisando e implementando em termos de ciência.

1.3.1 Objetivo Geral

Como objetivo geral se define por este trabalho, implementar sistema automatizado de irrigação e racionalização do uso da água com uso de microcontrolador para dosagem na plantação, alimentado por fontes sustentáveis como fotovoltaica e eólica.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos se traduzem na decomposição do objetivo geral, sendo definidos como:

- a) implementar tecnologias de automação para irrigação, ao custo em torno de 3 salários mínimos vigentes em 2020 de investimento inicial;
- b) usar sistemas de irrigação com uso de bombeamento por motores elétricos, acionados por painéis solares ou geradores eólicos;
- c) fazer a dosagem de água a partir do sensoriamento de umidade do solo, a fim de garantir produtividade e evitar escassez de água na produção de alimentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A compreensão da proposta deste trabalho requer fundamentação na prática de irrigação que leva em conta a proporção da dosagem de água especificamente delimitada por tipo de solo, região e cultura a ser cultivada. A tecnologia dos sensores de umidade permite a delimitação dos níveis de dosagem pré-ajustados e adequados a cada cultura e região, com acionamento de bomba de água operando a partir do acionamento de motores CC e de válvulas solenoides CC automatizadas, via controlador Arduíno, a fim de alcançar os resultados esperados.

A dosagem se dá a partir do estudo pré elaborado.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O trabalho está fundamentação nas seguintes teorias, que precisaram ser revisados para a pesquisa deste TCC.

- a) Agricultura para dosagem de água de acordo com o plantio;
- b) Modelos de Irrigação;
- c) Sistemas Solares e Automação;

2.1.1 Dosagem de água dependendo da cultura e região

Cada solo necessita de irrigação modulada em acordo com o tipo de solo da região, à evaporação média da água e à natureza da cultura que se pretende produzir. Desta forma a utilização de modelos controlados e automatizados poderá ser útil à racionalização do uso da água, sem prejuízo da qualidade e quantidade produzida. Ao contrário, o uso de irrigação controlada, ainda que de modo experimental, tem se mostrado como agregador de qualidade e aumento de produtividade com redução do desperdício de água (SCALAMBRINI; ARAUJO; COSTA NETO, 2006).

Também levando em conta as crescentes demandas por combustíveis fósseis, associados à previsível escassez nas próximas décadas, o custo destas fontes tende a tornar-se inviável para uso em dispositivos de energia mecânica para

bombeio em sistemas de irrigação para pequenas propriedades. Deste modo, tanto a segurança de fornecimento, quanto a sustentabilidade ambiental, tornam a energia solar e energia eólica as fontes preferenciais para atendimento de demandas de irrigação em pequenos lotes de economia familiar.

[...] introduzir novas tecnologias para melhorar a qualidade de vida em zonas rurais é um exercício de inovação do entorno social, como tal, as variáveis do processo de transferência vão além da questão tecnológica, incluindo aspectos sociais, econômicos, políticos e ambientais (NOGUEIRA, 2009).

2.1.2 Sistemas elétricos e instalações

Consiste na base fundamental de conhecimentos teóricos e práticos que possibilitam a montagem e testes dos resultados almejados para este sistema de bombeio e irrigação. Consiste no modelo prático para este TCC. Trata-se de montagem já utilizada e com resultados positivos, testados na América Latina e outras partes do mundo onde há carência ou elevados custos para obtenção de energia elétrica (MORALES, 2011).

A Figura 3 ilustra a simplicidade e praticidade do sistema e sua facilidade de realocação para outras áreas, caso se fizer necessário.

Figura 3 - Protótipo para irrigação alimentado por energia solar.



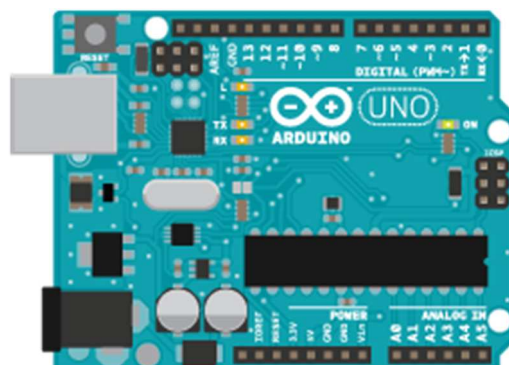
Fonte: (CPTE, 2013).

2.1.3 Uso do microcontrolador Arduino

A placa microcontroladora Arduino, conforme a Figura 4, é uma plataforma disponível para pequenos projetos experimentais e acessível a pesquisadores de vários níveis acadêmicos para montagem de sistemas baseados em microcontrolador, que pode ser programável pelo usuário, atendendo as suas necessidades de pesquisa de modo customizável, haja visto a flexibilidade de uso desta plataforma além do baixo custo de aquisição e montagem para experimentos em pequena escala, e até maiores, a depender apenas da necessidade do projetista. Seu baixíssimo custo em relação à outras plataformas, tem possibilitado uma ampla gama de aplicações nas mais diversas áreas em que a aplicação de sistemas automatizados podem gerar soluções práticas de fácil implementação e baixos custos de aquisição e montagem.

Para este projeto, especificamente, usamos a placa Arduino Uno, devido sua adequação técnica estar compatível com o uso e aplicação do sistema a ser montado e testado e estarem disponíveis todos os seus periféricos e acessórios. Também a facilidade de implementação de códigos, não necessitando outras interfaces, simplifica muito seu uso a quase todas as áreas da engenharia que pretendam automatizar funções a partir de microcontroladores com uso de lógicas PID, On/Off, PWM ou Fuzzy.

Figura 4 - Placa Microcontroladora Arduino.



Fonte: Arduino (2020).

3 METODOLOGIA

Para alcançar os resultados almejados neste trabalho, selecionamos um sistema de tecnologia de automação baseado em microcontrolador Arduíno, alimentado por painéis solares, mas podendo ser, também, gerador eólico, com reserva de energia por baterias ou fontes simples.

Sensores de umidade são usados para determinar a dosagem de água na cultura a ser produzida, com um sistema de bombeamento de água por motor elétrico, comandado por relé, via Arduíno, e válvula de acionamento elétrico (solenoide) com abertura e fechamento controlados por microcontrolador para dosagem de água.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa fundamentou-se, principalmente, no levantamento de dados em campo para verificação de sua viabilidade como instrumento de pesquisa científica, com montagem e confecção de código e testes preliminares em bancada com computador. Também propõe levantar dados relativos ao consumo de água em sistemas de irrigação para solos e culturas diversas, além de servir como planta piloto, para determinação de volume de água e potência a ser instalada, a depender da área, solo e cultura a ser irrigada. Para efeito apenas deste trabalho, a pesquisa determinou o volume de água necessário para irrigar determinado tipo de solo a fim de comprovar sua viabilidade como equipamento de testes para racionalização do consumo de água para irrigação.

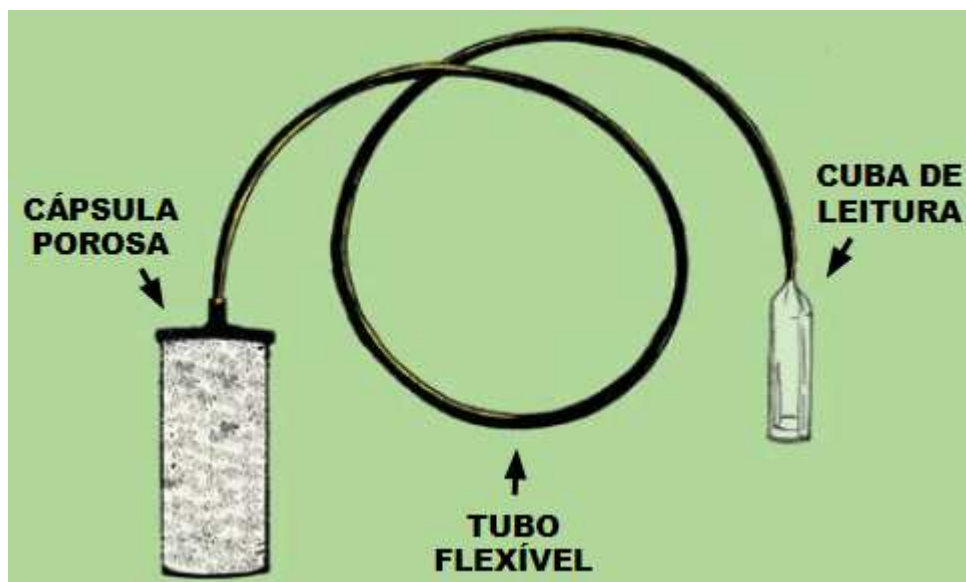
3.2 MÉTODO APLICADO

Para controle da dosagem de água necessita-se conhecer o tipo de solo e a capacidade de retenção de água (permeabilidade), além da umidade necessária ao tipo de cultura a ser produzida.

Conforme figura 5, a permeabilidade do solo pode ser medida por instrumento chamado Irrigas e a determinação da quantidade de água para a planta pode ser

determinada pelo uso de tabelas já implementadas para diversas culturas (COELHO *et al.*, 2014).

Figura 5 - Instrumento de medição Irrigas.



Fonte: Embrapa (2010)

Conforme figura 5, Irrigas é um instrumento criado pela Embrapa, destinado a medições de umidade do solo. Em sua forma mais simples, é constituído de uma vela cerâmica, introduzida no solo, unida a uma cuba transparente por um tubo flexível. A medição é feita através da cuba, que é mergulhada em um frasco contendo água. Caso ocorra subida do nível de água no frasco, o solo está úmido, caso contrário, está seco.

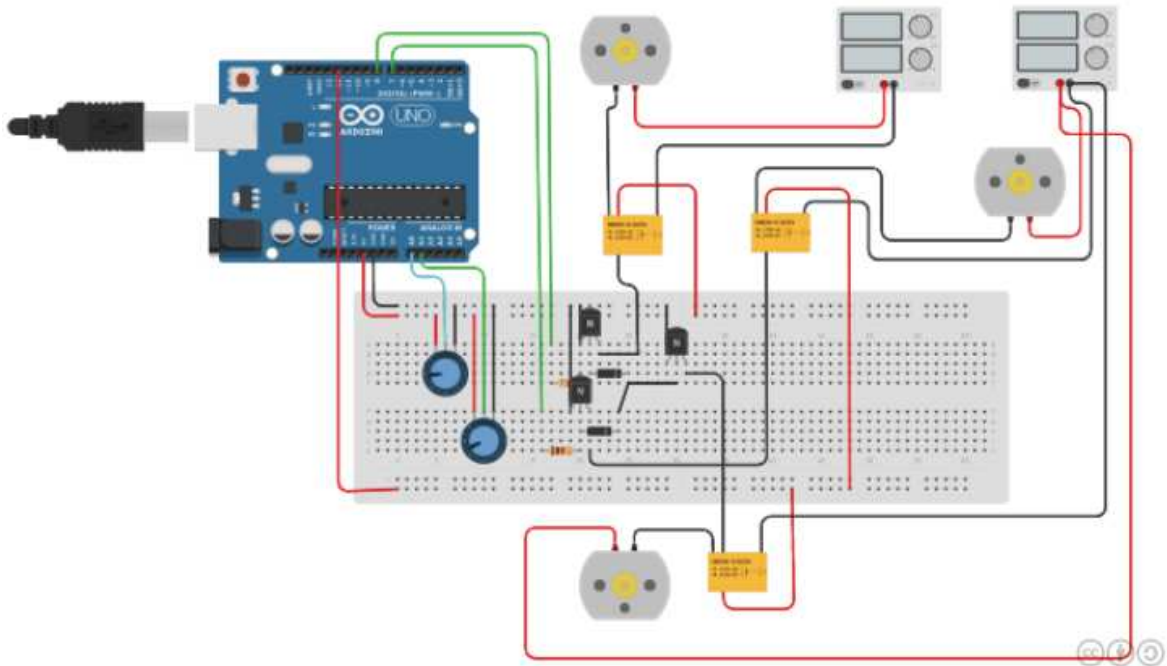
Para este estudo, a determinação da umidade é calculada mediante a aplicação de valores em equacionamento matemático segundo fórmula determinada para cada região e cultura a ser irrigada.

A dosagem de água é iniciada quando o sensor atingir leituras de umidade mínima do solo, enviando este sinal à unidade controladora Arduino, que, partindo a bomba de água e abrindo a válvula solenoide respectiva, envia o volume de água necessária para a dosagem de irrigação.

O sensor capacitivo de umidade, por sua vez, monitora a umidade do solo até o valor previamente determinado por tipo de solo e cultura e, ao ser atingido este valor, a unidade controladora comanda o fechamento da(s) válvula(s) solenoide e o desligamento da bomba elétrica.

A Figura 6 apresenta o diagrama do método a ser aplicado.

Figura 6 - Método aplicado no projeto

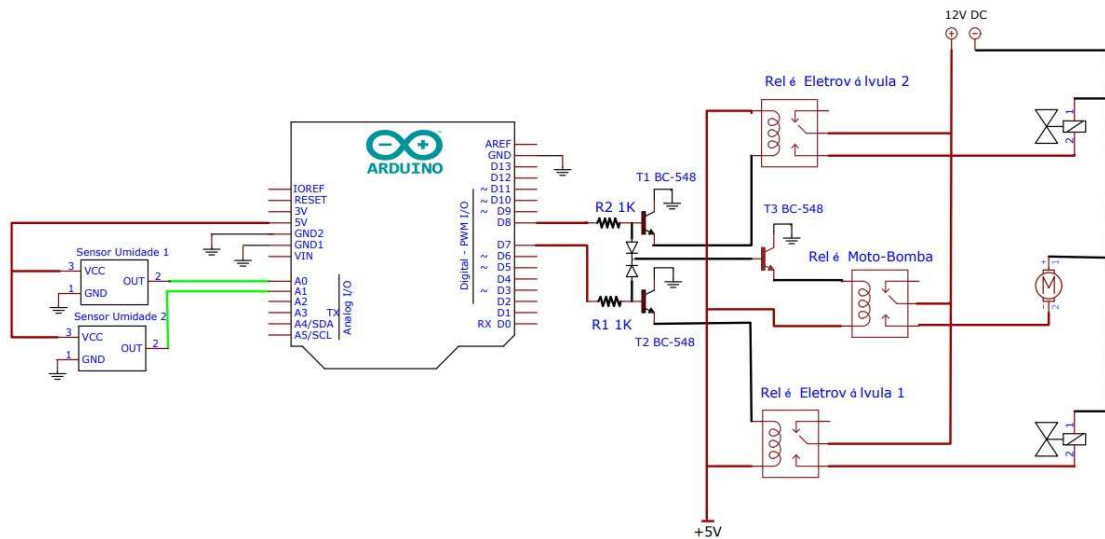


Fonte: Autor (2020).

De acordo com a Figura 6, que ilustra o diagrama de montagem para teste da metodologia aplicada, usou-se uma placa microcontroladora Arduino para acionar uma bomba d'água movida por motor elétrico o qual é comandado por relé.

O diagrama elétrico de montagem é representado na Figura 7.

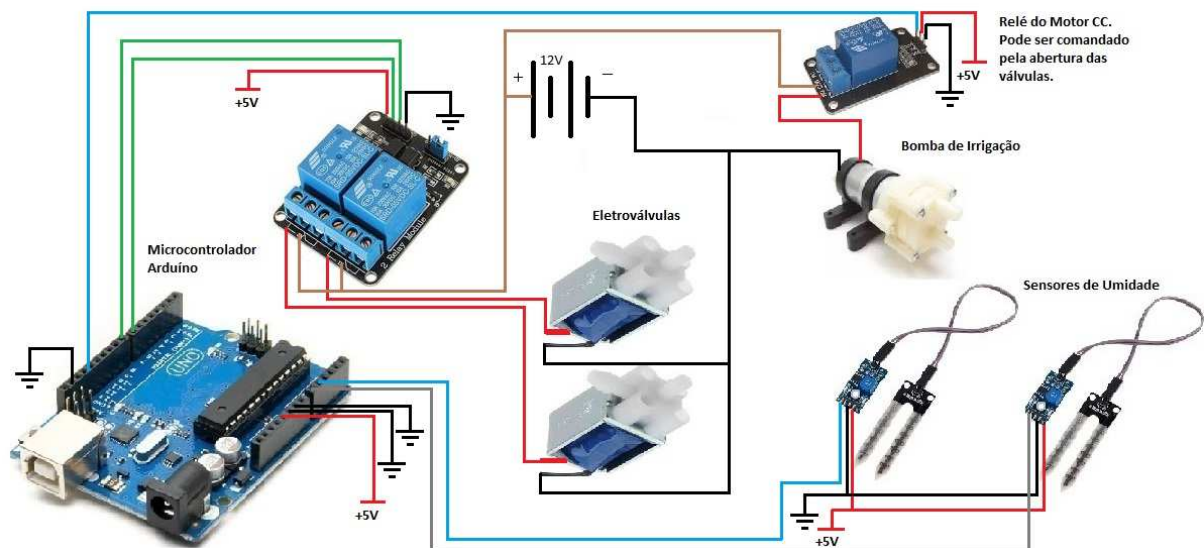
Figura 7 - Esquema Elétrico Utilizando Arduíno R3



Fonte: Autor (2020).

Como esboço da montagem realizada, a Figura 8 apresenta a forma física com que os componentes se interligam.

Figura 8 - Esboço esquemático da montagem do sistema.



Fonte: Autor (2020).

Para o efeito de teste simulado por computador, usou-se dois potenciômetros, que foram aplicados para gerar sinais analógicos simulando a saída de sensores de

umidade aplicado ao solo de uma plantação. Estes sensores enviam sinais para as entradas analógicas do microcontrolador e estes sinais são, então, comparados aos valores previamente ajustados no microcontrolador, neste caso em 40% de umidade do solo, e, ao ser igualado, as saídas em +5V são acionadas para comandar os relés, que também pode ser comandados via saída PWM. Estes, então, acionam a partida da bomba elétrica e abertura da(s) válvula(s) solenoide, em caso de baixa umidade do solo, para fazer a irrigação da plantação. Ao ser atingida a umidade requerida, previamente ajustada, o sinal +5V é cortado, retornando o relé para a posição desligado, cortando a alimentação elétrica para o motor e as válvulas.

Para calcular-se a dosimetria de água para cada cultura usa-se o método da evapotranspiração da cultura (ET_c) pela seguinte expressão (BRASIL, 2005).

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

Onde:

ET_c= Evapotranspiração da cultura;

K_c = Coeficiente da cultura;

ET_o= Consumo Hídrico de referência para a região.

Ao definir-se a cultura, pode-se, então, calcular o consumo médio de água para cada fase do crescimento, até a maturação e colheita, a depender de cada cultura.

Um método de cálculo simples (Hargreaves-Samani) e muito empregado, está demonstrado abaixo para a videira: Dia: 28/06 .

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

Sendo que:

K = 0,162 para regiões continentais e 0,190 para regiões costeiras;

Ra = 7,8 (Junho) e 8,1 (Julho) é a radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação (mm/dia), extraído da tabela 1.

T_{max} = 20,9 °C (Junho) e 20,5 °C (Julho);

T_{min} = 10,9 °C (Junho) e 9,1 °C (Julho);

$T_{med} = 0,5 (T_{máx} + T_{mín})$;

$K_c = 0,45$ (produção em latada, após colheita).

Tabela 1 - Radiação Solar para Latitudes Sul.

TABELA 1 - Radiação solar no topo da atmosfera (R_a) no dia 15 de cada mês, expressa em equivalente de evaporação ($mm\ dia^{-1}$) para diferentes latitudes sul (graus).

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

Fonte: Doorenbos & Pruitt. (1997).|

Fonte: Embrapa (2005).

Tabela 2 - Valores médios de K_c para produção em latada*.

Período	K_c
Brotação - Florescimento	0,50
Frutificação - Maturação	0,90
Após a Colheita	0,45

Fonte: Embrapa (2007).

*Horizontal suspensa

Tabela 3 - Valores médios de Kc para produção em espaldeira*.

Período	Kc
Brotação - Florescimento	0,30
Frutificação - Maturação	0,70
Após a Colheita	0,35

Fonte: Embrapa (2007).

*Vertical tipo cerca.

Tabela 4 - Valores Mensais ETo Novo Hamburgo 2020 (mm/dia).

MÊS	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Ra* Lat=30°	ET DIÁRIA mm/dia	Volume DIÁRIO L/planta	ET MENSAL mm/dia	Volume MENSAL L/planta
JAN	32,3	19,6	17,8	6,1	22,8	188,2	705,6
FEV	31,7	19,6	16,4	5,4	20,3	151,8	569,2
MAR	30,7	18,6	14,0	4,5	17,0	140,2	525,6
ABR	27,3	15,5	11,3	3,3	12,5	99,8	374,4
MAI	23,2	11,8	8,9	2,3	8,7	71,9	269,7
JUN	20,9	10,1	7,8	1,9	7,0	56,0	210,0
JUL	20,5	9,1	8,1	1,9	7,3	60,4	226,7

* Valores obtidos na Tabela 1 do Comunicado Técnico 61 (Conceição & Mandelli, 2005)

Fonte: Embrapa (2020).

Valores calculados, bem como suas relações, são apresentados nas Tabela 5 e 6, no próximo capítulo.

$$ET_c = K_c \cdot E_{To} \quad (4)$$

$$E_{To} (\text{Junho}) = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 7,8 \cdot \sqrt{(20,9 - 10,1)} \cdot ((0,5(20,9 + 10,1) * 17,8)$$

$$E_{To} = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 7,8 \cdot 3,3 \cdot (15,5 + 17,8)$$

$$E_{To} (\text{Junho}) = 1,9 \text{ mm/d}$$

$$E_{To} (\text{Julho}) = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 8,1 \cdot \sqrt{(20,5 - 9,1)} \cdot ((0,5(20,5 + 9,1) * 17,8)$$

$$E_{To} = 0,0135 \cdot 0,162 \cdot 8,1 \cdot 3,38 \cdot (14,8 + 17,8)$$

$$E_{To} (\text{Julho}) = 1,9 \text{ mm/d}$$

Cálculo para demanda de água, após colheita, meses de Junho e Julho.

$$ET_c = 0,45 \cdot 1,9 = 0,86 \text{ mm/dia}$$

$$\text{Como } 1,0 \text{ mm} = 10.000 \frac{\text{L}}{\text{ha}}, \quad 0,86 \text{ mm} = 8.600 \text{ L/ha}$$

Além dos critérios climáticos, ambientais e demanda hídrica de cada cultura para seleção do sistema a ser implementado, é necessário avaliar a relação custo/benefício oferecido para cada opção disponível, verificando sua viabilidade econômica para a cultura que se deseja irrigar (BRASIL, 1998).

Pode-se estimar a viabilidade do investimento a partir de sua depreciação para melhor avaliar sua adequação aos custos de produção (BRASIL, 1998):

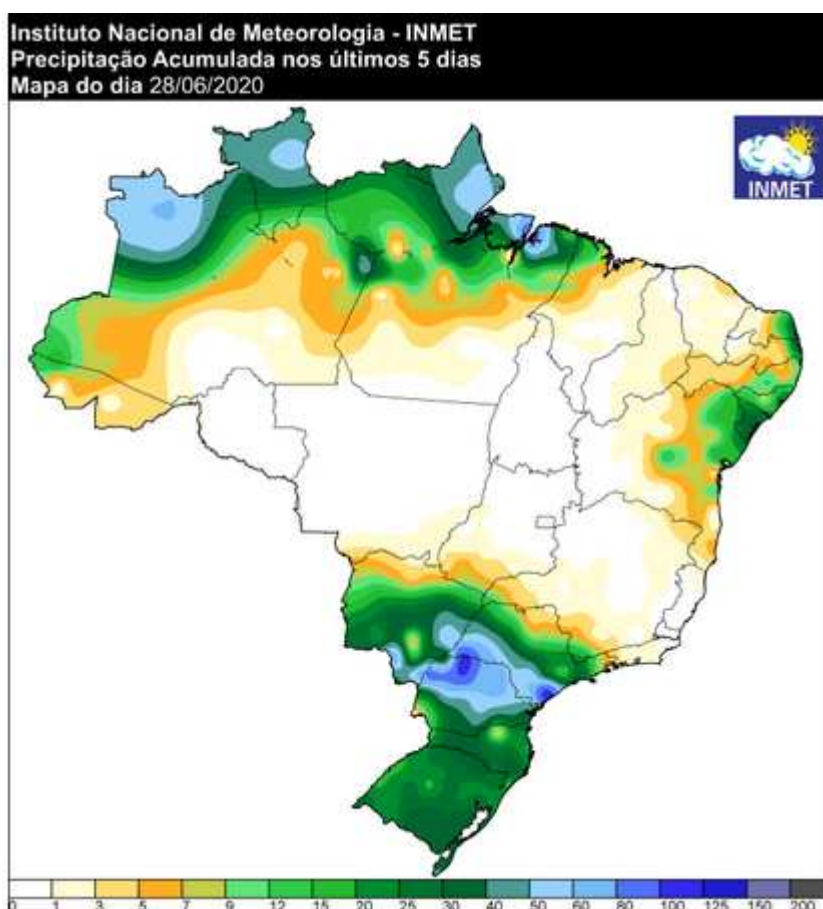
4 RESULTADOS

O levantamento dos dados foi realizado na localidade de Novo Hamburgo, Rio Grande do Sul em uma pequena propriedade onde são plantados verduras, legumes e frutas da região.

Os dados da Tabela 5 foram extraídos de testes em sistema montado experimentalmente com apenas um sensor para verificação da viabilidade deste trabalho, para fins de estudo e medição de umidade do solo para fins de irrigação.

Inicialmente os dados diferiram das medições esperadas, devido à intensidade de chuvas nos dias anteriores à medição, em torno de 30 mm/dia por 5 dias consecutivos, o que poderia provocar erro nas leituras ou falha de interpretação de dados, mas foram registrados para fins comparativos com uma segunda medição, já programada para o sistema usando dois sensores. A precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da Tabela 5 pode ser percebida na Figura 9.

Figura 9 - Precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da tabela 5.



Fonte: INMET (2020).

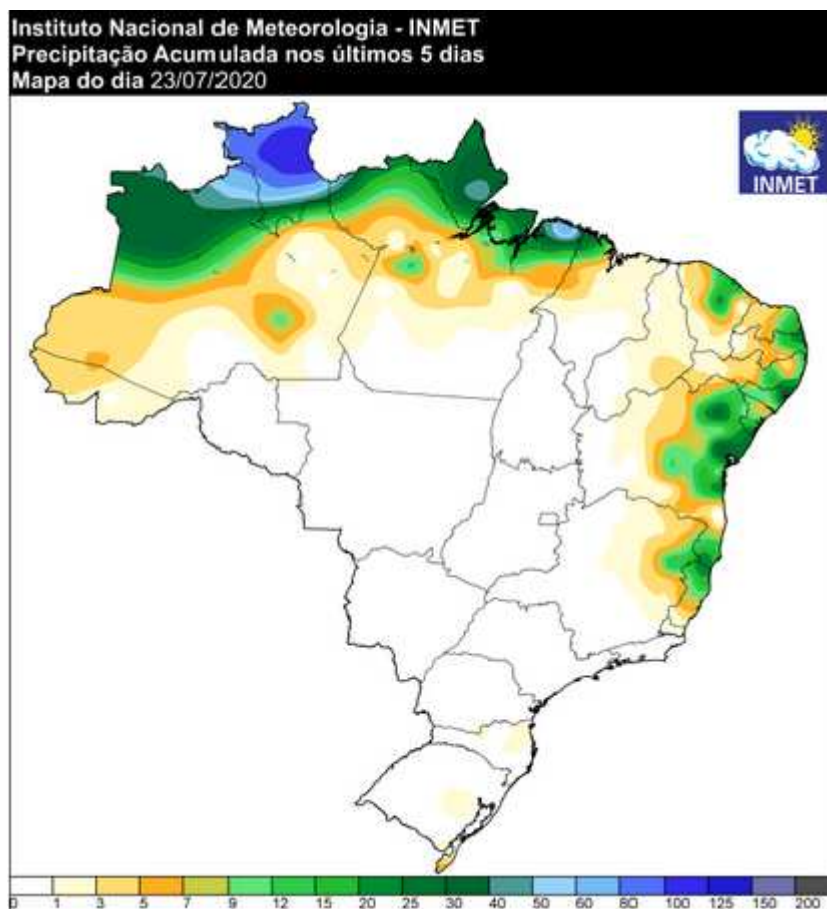
Tabela 5 - Dosagem medida com 1 sensor.

Dosagem calculada/Junho:	Dosagem medida:	Diferença absoluta:	Diferença Relativa [%]
1,9 mm/dia	1,4 mm/dia	0,5 mm/dia	26,32
1,9 mm/dia	1,2 mm/dia	0,7 mm/dia	36,84
1,9 mm/dia	1,5 mm/dia	0,4 mm/dia	21,05
1,9 mm/dia	1,3 mm/dia	0,6 mm/dia	31,57
Valor Médio [%]			28,94%

Fonte: Autor (2020).

Os dados da Tabela 6 foram extraídos de medições já com sistema montado com dois sensores, numa sequência de 5 dias com precipitação em torno de 0 mm/dia e que se aproximaram bastante dos valores de referência, comprovando não o erro, mas a diferença de umidade no solo testado, comprovando que havia maior quantidade de água acumulada no solo durante a primeira medição e, portanto, necessitava menor quantidade de água para atingir os percentuais de umidade para irrigação determinados na unidade microcontroladora, Arduíno, de 40% como referência. A precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da Tabela 6 pode ser observado na Figura 10.

Figura 10 - Precipitação nos 5 dias anteriores ao registro da tabela 6.



Fonte: INMET (2020).

Tabela 6 - Dosagem medida com 2 sensores.

Dosagem calculada/Julho:	Dosagem medida:	Diferença absoluta:	Diferença Relativa [%]
1,9 mm/dia	1,7 mm/dia	0,2 mm/dia	10,52
1,9 mm/dia	1,8 mm/dia	0,1 mm/dia	5,26
1,9 mm/dia	1,9 mm/dia	0,0 mm/dia	0,0
1,9 mm/dia	1,6 mm/dia	0,3 mm/dia	15,78
Valor Médio [%]			7,89%

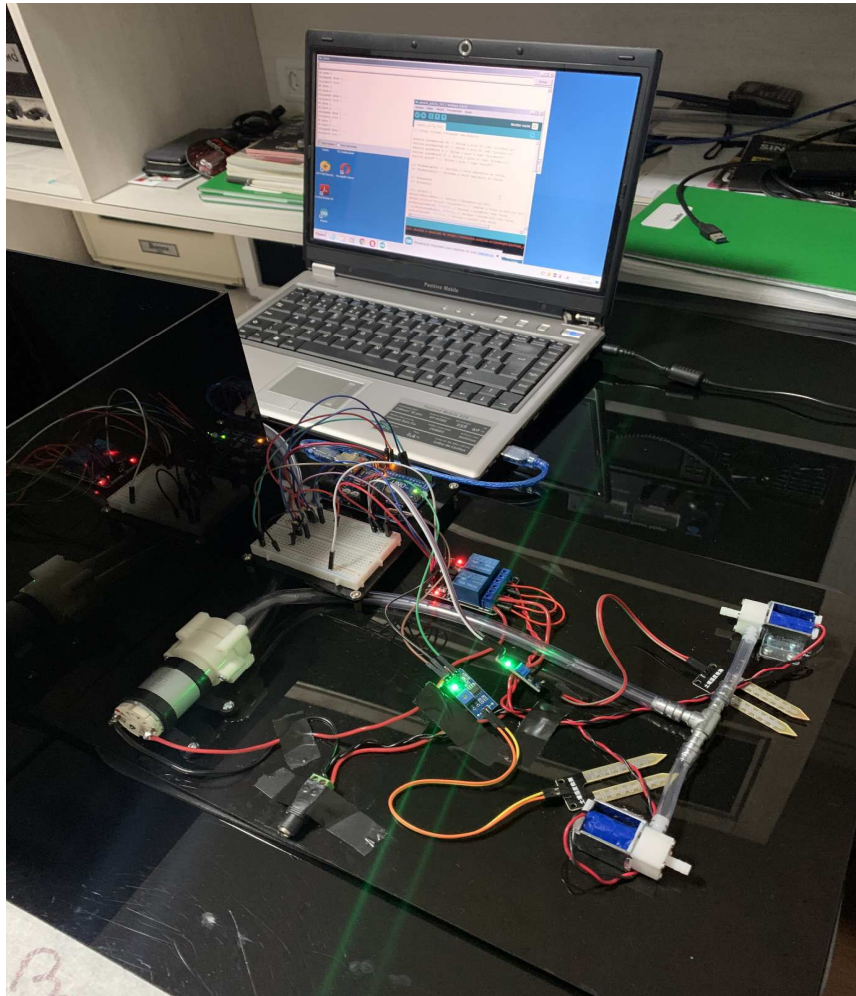
Fonte: Autor (2020).

Conforme Tabelas 5 e 6, a diferença entre os dados calculados e os dados reais devem-se a variação e quantidade de umidade absorvida pelo solo.

Conforme Figura 11, este experimento procurou analisar a adequação do método automatizado para quantificação dos volumes de água e as diferenças entre as dosagens calculadas para um determinado tipo de cultura, no caso a Videira,

comum na região sul, e comparar com os dados encontrados para verificação não só do tipo de solo e sua absorção de água, como também para a região específica, confirmando ou não a precisão dos levantamentos com método automatizado.

Figura 11 - Experimento montado para testes preliminares.



Fonte: Autor (2020).

Na figura 12, já em campo, tratou-se de verificar a eficiência das medições de dosagem de água, para efeito de irrigação automatizada, para confirmação ou não dos resultados iniciais e comparação com medições esperadas.

Figura 12 - Experimento em Campo.



Fonte: Autor (2020).

Os materiais e equipamentos utilizados estão listados abaixo, conforme a Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 - Materiais e equipamentos utilizados para os testes de campo.

Materiais e equipamentos:	Quantidade:	Valor estimado:
Computador Notebook	1	R\$ 2.200,00
Cx De água	1	R\$ 130,00
Sistema Arduino montado	1	R\$ 400,00
Uso de veículo	1	R\$ 150,00
Mão-de-obra	8h	R\$ 500,00
Cabos e conexões	Diversos	R\$ 40,00
Total Estimado:		R\$ 3.420,00

Fonte: Autor (2020).

Evidencia-se o baixo custo dos equipamentos, uma vez que a aquisição de todo o conjunto necessário somou, em valores, aproximadamente 3,3 salários mínimos vigentes em Julho de 2020.

5 ANÁLISE

Inicialmente, ao usar dois sensores, esperava-se encontrar valores semelhantes aos valores de referência das Tabelas 5 e 6. Os valores medidos na Tabela 5 haviam sido encontrados após uma sequência de 5 dias com precipitação média de 30 mm/dia, conforme figura 5. No entanto, ao usarem-se dois sensores, aumentando a precisão das amostragens, e levando-se em consideração uma sequência de 5 dias com precipitação em torno de 0 mm/d no segundo teste, encontraram-se valores com divergência próxima de 20% entre as duas medições, o que demonstra que não foi o aumento da complexidade do equipamento que levou a maior eficiência dos testes, e que o instrumento com apenas um sensor já determinava com boa dose de precisão a quantidade de água necessária para os cálculos e que a diferença entre os valores de referência e os valores medidos davam-se exatamente pela quantidade de chuvas no período, no solo testado.

O equipamento revelou eficácia na medição de dosagem automatizada de água de irrigação e também eficácia como modelo reduzido de planta piloto para modelagem de plantas de irrigação de pequenas propriedades rurais, até 10 hectares, para fins de racionalização da água necessária ao cultivo nas quais, necessariamente, não haja fornecimento de energia elétrica de fontes comerciais, podendo utilizar fontes fotovoltaicas ou eólicas com auxílio de baterias.

6 CONCLUSÃO

Este projeto pode ser utilizado para dimensionamento de sistemas de irrigação para pequenas propriedades, até 10 hectares, a fim de racionalizar o uso de água para fins de cultivo com resultados na melhoria da qualidade e quantidade da produção agrícola, bem como planta piloto para quantificação de água para cultivo, principalmente, no foco da agricultura familiar com uso de fontes alternativas de energia, como fotovoltaica ou eólica.

Os estudos em automação determinaram a aplicação de conhecimentos em áreas afins a saber: Programação em microcontroladores, que possibilitaram a confecção de códigos específicos para funcionamento de diversos dispositivos, inclusive este trabalho. A disciplina de circuitos elétricos definiu a lógica de montagem para aproveitamento e uso bem dimensionado de recursos técnicos e redução de custos de montagem e o planejamento de projetos definiu o ordenamento das etapas de montagens e finalização de testes e adequação aos prazos para finalização deste trabalho.

Tendo em vista que este trabalho trata-se de um estudo preliminar, cabe prosseguir as pesquisas visando ao aperfeiçoamento do uso e aplicabilidade:

- a) Testes com equipamentos em maior escala
- b) Testes em culturas e solos diversos
- c) Testes em períodos de estiagem

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Agência Nacional de Águas. ANA. 2019a. Disponível em: <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/uso-da-a-gua-na-irrigaassapso-a-c-tema-de-acordo.2019-03-14.1447296613> . Acesso em: 21 de Junho 2020.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas. ANA. 2017. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrrigacao-UsodaAguanaAgricaulturalIrrigada.pdf>. Acesso em 23 de Agosto de 2020.
- BRASIL. Boletim do Ministério do Desenvolvimento Regional. EMBRAPA. 2019b. Disponível em: https://www.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSDRU/ArquivosPDF/Boletim_Agricaultura-Irrigada_Primeira-Edio_-Setembro-de-2019.pdf. Acesso em: 20 de Abril 2020.
- BRASIL. Sistema de Produção. EMBRAPA. 2005. Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Uva/MesaNorteMinas/irrigacao.htm>. Acesso em: 09 de Julho 2020.
- BRASIL. Circular Técnica Embrapa. EMBRAPA. 1998. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/107339/1/CNPH-DOCUMENTOS-11-SELECAO-DE-SISTEMAS-DE-IRRIGACAO-PARA-HORTALICAS-FL-07821.pdf>. Acesso em: 09 de Julho 2020.
- BRASIL. Comunicado Técnico 61. EMBRAPA. 2005. Cálculo da evapotranspiração de referência com base na temperatura do ar . Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPUV/8145/1/cot061.pdf>. Acesso em 26 de Agosto de 2020.
- COELHO, Eugênio Ferreira *et al.* Sistemas e Manejo de Irrigação de Baixo Custo para Agricultura Familiar. Cruz das Almas. EMBRAPA, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/133043/1/Cartilha-Manejo-Irrigacao-03-09-2015.pdf>. Acesso em: 16 de Abril 2020.
- MORALES, Luis Roberto Valer. A utilização de sistemas fotovoltaicos de bombeamento para irrigação em pequenas propriedades rurais. USP. São Paulo, 2011. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde-10112011-105243/publico/DissertValerMorales.pdf>. Acesso em: 10 de Abril 2020
- NOGUEIRA, Cícero H. Utilização de sistema solar e eólico no bombeamento de água para uso de irrigação. Santa Maria. UFSM, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/8119/NOGUEIRA%2c%20CICERO%20URBANETTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 de Abril 2020.
- OLIVEIRA, Andréa. As vantagens da energia solar e sua utilização. CPTe. Viçosa, 2013. Disponível em: <https://www.cpt.com.br/cursos-energiaalternativa/artigos/as-vantagens-da-energia-solar-e-sua-utilizacao>. Acesso em 12 de Abril 2020.

SCALAMBRINI, H; ARAUJO, K; COSTA NETO, G. Água do sol: Uso da energia solar fotovoltaica na pequena irrigação de base familiar no semiárido brasileiro. Recife: UFPE, 2006. Disponível em: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/87737/Documento_completo.pdf-=yPDFa.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 15 de Abril 2020.

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E DESENVOLVIMENTO RURAL DO RGS. Irrigação ganha espaço em pequenas propriedades de São José das Missões. 2014. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/irrigacao-ganha-espaco-em-pequenas-propriedades-de-sao-jose-das-missoes>. Acesso em: 15 Abril 2020.