

CENTRO UNIVERSITÁRIO SUL DE MINAS  
PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
CURSO ENGENHARIA AGRONÔMICA

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO PROTÓTIPO DE  
RADIÔMETRO UTILIZANDO PLACA FOTOVOLTAICA COMO  
SENSOR DE RADIAÇÃO

DISCENTE: MARIELLE LORRAYNE VICENTE

ORIENTADOR: FRANCISCO MENTEN NETO

COORIENTADOR: LUCAS DE CARVALHO IFF

VARGINHA – MG

2020

MARIELLE LORRAYNE VICENTE

AVALIAÇÃO DA APLICABILIDADE DO PROTÓTIPO DE  
RADIÔMETRO UTILIZANDO PLACA FOTOVOLTAICA COMO  
SENSOR DE RADIAÇÃO <sup>1</sup>

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário do Sul Minas, como parte das exigências do Projeto Pedagógico do Curso de Engenharia Agrônômica, para a conclusão do Curso “Bacharel em Agronomia”.

**Orientador**

Prof. Francisco Menten Neto

**Coorientador**

Lucas de Carvalho Iff

VARGINHA – MG

2020

**RESUMO:** Este projeto aborda o desenvolvimento de um equipamento capaz de medir o índice de radiação solar. Ao longo do projeto teve-se como principal objetivo a criação de um equipamento eficiente e de baixo custo a partir de uma placa eletrônica (Arduino) e um painel fotovoltaico de 53 mm x 30 mm. De acordo com a necessidade de atenuar a sensibilidade desse painel foi instalado uma lente capaz de segurar 95% da radiação, deixando o equipamento mais eficaz contra medidas aleatórias em relação a radiação solar. Avaliou-se o saldo de radiação solar captada pelo painel em correlação com uma metodologia anterior ao presente trabalho e validou os dados com a estação meteorológica comercial Davis (modelo Vantage Pro 2), pertencente a fazenda experimental da Procafe com posicionamento referente as coordenadas de latitude 21°33'59,30"S e longitude 45°24'16,69"O. Ao analisar os pontos obtidos pelo painel fotovoltaico, foi observado um baixo coeficiente de representatividade. Portanto, conclui-se que, o objeto utilizado como atenuante tenha interferido de forma negativa para a obtenção de dados.

**Palavras-chave:** Manejo de irrigação; Radiação incidente; Radiômetro.

**ABSTRACT:** This Project is about the development of an equipment capable of measuring the solar radiation level. Throughout the project, the main object was the creation of an efficient and low-cost equipment from electronic board (Arduino) and a solar panel positioned in the same direction and the same height from ground, photovoltaic panel 53 mm x 30 mm. According to the need of attenuate, the sensitivity it was installed a lens capable to retain 95% of radiation, turning the equipment more efficient against random measurements related to incident radiation. The balance of solar radiation captured by the panel was evaluated in correlation with a methodology prior to the present work and validated the data with the Commercial Meteorological Station Davis (model Vantage Vue Pro 2), belonging to experimental farm Procafe's with positioning at the coordinates of latitude 21 ° 33'59,30"S and longitude 45 ° 24'16,69"O. Analyzing the points obtained by the photovoltaic panel, a low coefficient of representativeness was observed. Therefore, it is concluded that the object used as an attenuator has interfered in a negative way to obtain the data.

**Keywords:** Irrigation management; Incident radiation; Radiometer.

## SUMÁRIO

1-	INTRODUÇÃO .....	5
2-	OBJETIVO .....	6
3-	REVISÃO DE LITERATURA.....	6
3.1	Temperatura .....	6
3.2	Umidade do ar .....	7
3.3	Umidade do solo .....	7
3.4	Radiação Solar.....	8
3.5	Irradiação Solar Global.....	9
3.6	Radiação Fotossinteticamente Ativa.....	9
3.7	Plataforma de Arduino.....	10
4-	MATERIAL E MÉTODOS .....	11
5-	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	13
6-	CONCLUSÃO .....	17
7-	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	18

## **1- INTRODUÇÃO**

Com a ausência de informações precisas sobre a incidência da radiação solar, é afetada a eficiência da aplicação de água. A dificuldade em mensurar quando deve ser realizada a irrigação e a lâmina correta a ser utilizada pode afetar de maneira decisiva em diversas culturas, com excessos ou déficits hídricos, fatores que estão ligados diretamente a produtividade, desperdício de energia e dos recursos hídricos.

A grande maioria dos produtores rurais não possuem nenhum tipo de estratégia para a utilização e manejo racional de seus recursos hídricos, isto acontece, principalmente devido a dois fatores; a falta de habilidade e experiência dos trabalhadores rurais e o monitoramento automático de sistemas de irrigação ser um produto de alto valor agregado, isso sem contar a manutenção desses sistemas (RÊGO SEGUNDO, 2011).

Para Vilela (2010) nos últimos anos verificou-se um aumento um tanto quanto substancial na busca por equipamentos capazes de medir a radiação solar. Impulsionados, sobretudo, pelas inúmeras questões ambientais emergentes em nossa sociedade.

Ainda segundo o autor citado acima, os radiômetros possuem uma ampla finalidade em diversas áreas do setor evidenciando-se, por exemplo, em sensoriamentos remotos, planejamento de edificações visando o aproveitamento do aquecimento e da iluminação natural, no campo de energia, em pesquisas meteorológicas e na agricultura.

Reis (2017), aponta que atualmente a maioria dos sistemas de irrigação é acionada por um horário previamente determinado ou apenas por tensiômetros que são capazes de medir a umidade do solo. Mas, por sua vez os avanços tecnológicos vêm aprimorando os métodos de medições através de diversos sensores, alguns capazes de detectar as mais distintas variações do ambiente, sendo capaz de converter esse conjunto de variáveis em respostas para a utilização mais eficaz dos recursos hídricos e de energia.

Há, portanto, a necessidade de entender a radiação solar a partir de um monitoramento eficiente e de um custo benefício acessível aos produtores, aferindo medidas quantitativas e qualitativas precisas, buscando um controle eficaz sobre a evapotranspiração de uma cultura, além de atingir um

aproveitamento integral dos recursos elétricos e hídricos da propriedade, mantendo um equilíbrio entre a tecnologia e beneficiamento produtivo.

## 2- OBJETIVO

Verificar aplicabilidade de um equipamento de baixo custo para medição da radiação solar para o manejo de irrigação.

## 3- REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Temperatura

Um dos fatores que mais influencia o bom condicionamento para uma lavoura é a temperatura. Temperatura está ligada diretamente em vários processos de uma planta, seja ele a respiração, transpiração ou até mesmo a evapotranspiração que nada mais é que a perda de água nas plantas e no solo. No Brasil, a temperatura é expressa em graus Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), mas também pode ser expressa em Kelvin (K) ou Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

A evaporação é o processo físico de mudança do líquido para o gás. A evaporação da água na atmosfera provém dos oceanos, lagos, rios, solos e vegetação úmida. (SENTELHAS, 2012, P.6)

O calor latente de vaporização ( $\lambda E$ ) é crucial para a ocorrência de vaporização, portanto a mudança de estado da água deve atingir uma média de 2,45 MJ/k. (SENTELHAS, 2012).

Figura 1 - Processo de evaporação.



Fonte: SENTELHAS, 2012

O fenômeno da transpiração é todo o percurso que a água flui pelas plantas e faz parte do seu metabolismo. A água é devolvida a atmosfera na maioria das vezes pelos estômatos, passa por uma série de resistências que começa pelo solo. Essas resistências começam no solo, passam pelo recipiente condutor (xilema), entram nas bactérias mesófilas, estômatos e, finalmente, na atmosfera.

A evapotranspiração é a soma da evaporação da água no solo e a transpiração nas plantas. No ambiente, não é fácil identificar o vapor de água causado por cada fenômeno, então a evapotranspiração pode ser considerada com um processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera.

### **3.2 Umidade do ar**

A umidade do ar está relacionada com os processos evapotranspiração e é o fator de suma importância para a planta conseguir sobreviver e ter boas condições, de acordo com seu valor pode favorecer proliferações de pragas e doenças ou até mesmo incêndios nas lavouras.

A umidade relativa do ar deve estar entre 60% a 90% esse intervalo é considerado ideal. Valores abaixo a esses podem fazer com que eleve a taxa de transpiração. Já em casos de elevada umidade, a transpiração venha a ser diminuída, o que prejudica a capacidade de absorção de água e nutrientes pelas plantas e colabora com a entrada de pragas e doenças. (SENTELHAS, 2004).

Motivo de sucesso ou fracasso das lavouras é a relação das plantas com microrganismos, fungos e bactérias, que é a maior causador de doenças nas plantações. Em condições de alta umidade e maior tempo de umedecimento das folhas, doenças e microrganismos têm maior probabilidade de se multiplicar e podem danificar a cultura. (SENTELHAS, 2004).

### **3.3 Umidade do solo**

Pode ser conduzida de forma natural ou manipulada. De forma natural destacaria as chuvas, através delas o solo absorve a água disponibilizada e assim resulta na umidade do solo. Uma vez que haja a necessidade de manipular essa umidade, vem o manejo de irrigação. Esse sistema destaca pela forma

responsável de utilizar os recursos hídricos, irriga apenas em cima da necessidade da lavoura fazendo assim a economia desses recursos.

A umidade do solo é um dos fatores mais importantes na agricultura, e seu valor está diretamente relacionado à precipitação, taxa de evaporação e características do solo. Dentro da faixa de umidade, a quantidade de água pode variar desde o ponto de murchamento (o solo não tem mais água suficiente para sustentar os vegetais) até a capacidade do campo (a quantidade máxima de água que o solo consegue reter).

É de suma importância que essa umidade venha ser acompanhada, pois se ocorrer o déficit hídrico a planta pode vir a morrer (FERREIRA, 2014).

### **3.4 Radiação Solar**

Segundo Varejão-Silva (2005), a palavra radiação é vinculada à energia propagada sem que haja a necessidade de um meio natural, pode ser designada também como o próprio processo de transferência desse meio de energia. A energia que radia por vezes revela uma característica corpuscular, denominada de fóton, podendo se comportar também como uma onda eletromagnética, que acontece na escala subatômica, propriedades corpusculares e ondulatórias se coexistem e se completam.

No ponto de visão ondulatório, a radiação pode ser caracterizada pelo comprimento da onda ( $\lambda$ ), ou pela oscilação frequente ( $f$ ). O produto que mede o comprimento da onda pela frequência da radiação que é semelhante ou igual à velocidade em que se propaga no vácuo ou na luz ( $c$ ), segunda a expressão:  $C = \lambda \times f$ .

Sendo  $C = 2,997925 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$  Yavorsky e Detlaf (1972)

As unidades usadas com mais frequência para comprimento de onda é o  $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$  e o  $\text{Å} = 10^{-10} \text{ m}$ .

Segundo Lutgens; Tarbuck (1989) aproximadamente toda troca de energia entre a terra e o universo acontece por radiação. O combo atmosfera-terra absorve constantemente radiação solar e a emite em seu próprio meio, sendo assim as taxas de absorção e emissão quase idênticas.

Para Reis (2017) a radiação solar é um fator de suma importância para agricultura tanto nos aspectos climáticos, levando em consideração umidade e



temperatura do ar e do solo, como nos fisiológicos considerando duração do fotoperíodo e a emissão de radiação solar fotossinteticamente ativa. Logicamente a energia solar está intrinsicamente ligada à fotossíntese, sendo responsável pelo fornecimento de energia para produção de carboidratos e por alterar o crescimento de biomassa nas plantas.

Para Farias et al. (2010) o fotoperíodo, por definição, se trata da quantidade de horas entre o nascer e o pôr do sol, ou seja, a duração de um dia, espaço de tempo em que há incidência de radiação solar apta ao estímulo da fotossíntese. Cada planta possui uma sensibilidade diferente ao fotoperíodo, fator este que afeta pontualmente em seu desenvolvimento. Por exemplo, o florescimento de cada planta pode ser atrasado ou adiantado dependendo de sua resposta ao fotoperíodo.

### **3.5 Irradiação Solar Global**

Quando irradiação solar penetra a atmosfera terrestre parte dela é absorvida pelo vapor de água, ozônio e dióxido de carbono presentes no meio. A outra parte é refletida pelas nuvens e se espalha de forma gradativa pelos gases constituintes de dimensões equivalentes no comprimento de onda e radiação, também se espalham por partículas não seletivas em suspensão que é revelam por todos os lados Vianello; Alves (1991).

Segundo Alves (1991), uma das parcelas de energia solar incidentes no pico da atmosfera que alcança diretamente o solo é denominada de radiação solar direta. Contudo a outra parcela se espalha em diversas direções no processo de difusão atmosférica, e essa pode ser chamada radiação solar difusa. Sendo assim a conjunção das radiações difusas e diretas é intitulada de radiação solar global.

### **3.6 Radiação Fotossinteticamente Ativa**

Para Alados; Alados-Arboledas (1999) a radiação fotossinteticamente ativa é expressada parcialmente por fluxo de fótons restringindo-se entre 0,40  $\mu\text{m}$  a 0,70  $\mu\text{m}$ , em algumas literaturas presentes, principalmente por algumas características peculiares podem ser, de 0,39  $\mu\text{m}$  a 0,71  $\mu\text{m}$ .

Para Oliveira (2010) a radiação é considerada fotossinteticamente ativa a densidade de fluxo de energia compreendida na faixa espectral do visível. Este tipo de radiação atravessa a atmosfera praticamente sem sofrer infiltração, sendo a maior parcela da radiação solar global incidente, atingindo até 50% de todo o espectro.

Segundo o mesmo autor citado anteriormente a vida na Terra depende da radiação solar, tendo a fotossíntese o único processo de importância biológica capaz de recolher esta energia. Em razão disso, a fotossíntese representa a via pela qual praticamente toda energia entra na biosfera, sendo o processo mais importante ocorrido na Terra.

### **3.7 Plataforma de Arduino**

Segundo Elis et. (2014) al. a plataforma foi criada em 2005 na Itália, por Máximo Banzi com o intuito de diminuir os custos projetos baseados em protótipos. Refere-se de uma placa eletrônica de hardware livre. É de baixo custo, fácil acesso e permite aos usuários programarem diversas funções para mesma.

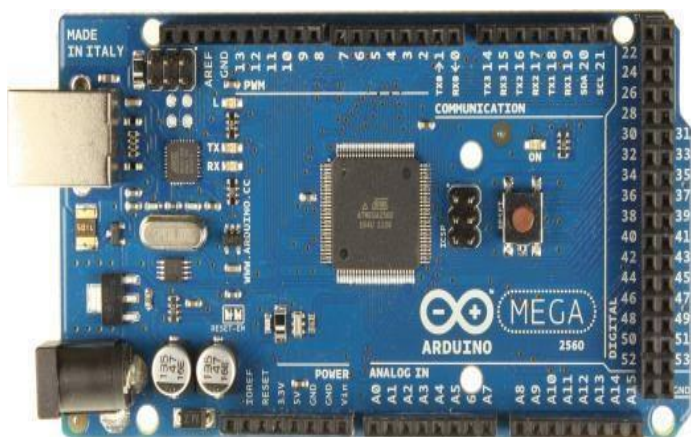
Atuar de forma modular, uma mesma placa de Arduino pode incorporar diversas extensões denominadas shields. Estas são placas menores criadas para promover o desenvolvimento de projetos que necessitem de finalidades inerentes, descartando a prioridade da construção recorrente de determinados circuitos utilizados em projetos variados.

Possui seu próprio ambiente de desenvolvimento, chamado Arduino IDE. Este dispõe de uma biblioteca chamada wiring, que permite programar em C/C++. Também uma possibilidade de criar programas para a placa de Arduino fazendo uso de diferentes linguagens de programação. Os exemplos mais comuns são utilizando programas como o Python e Java, e demandaram bibliotecas específicas para realizar a programação.

Para melhor ilustrar, a imagem abaixo apresenta alguns dos componentes presentes, uma placa MEGA 2560. Consiste em um microcontrolador Atmel AVR de 8 bits; um botão de reset; uma luz indicadora alegando que a placa está ligada; pinos de entrada e saída digitais e analógicos para conectar outros

dispositivos; saída USB para conectar a um computador e uma saída para ligação da fonte de alimentação.

Figura 2: Placa de Arduino, MEGA 2560.



Fonte: Elias et. al. (2014).

#### 4- MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa foi realizada na fazenda experimental da Fundação Procafé, no município de Varginha, Minas Gerais, localizada às coordenadas de latitude 21°33'59,30"S e longitude 45°24'16,69"O, com altitude média de 1.000m. Conforme a classificação Köppen, o clima mesotérmico é úmido com inverno seco e temperatura média no mês mais frio ao redor de 16,0°C no mês de Julho e 23,1°C a temperatura média mais quente no mês de Fevereiro.

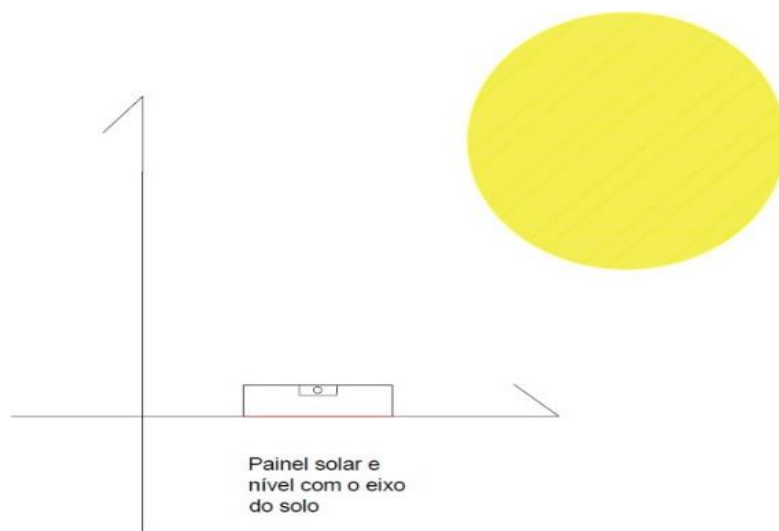
Para a captação da radiação solar fez o uso de um painel fotovoltaico com medidas de 53 mm x 30 mm, capacidade de gerar picos de tensão de até 5000 mV e picos de corrente de 40 mA.

A placa Arduino modelo Robotdyn Mega 2560 tem como dimensão (16 x 11 x 07 cm).

De acordo com o Anexo I, o Arduino foi programado com a linguagem C++.

O painel foi posicionado a 2 m de altura, sentido leste oeste, nivelado ao solo, ao lado da estação meteorológica de referência.

Figura 3 esquemática abaixo representa a disposição do painel.



Fonte: O Autor.

Visando a melhoria do equipamento foi instalado sobre o painel uma lente de proteção solar usada em óculos de proteção para operações de soldagem (Blue Shade 12), com intuito de inibir a falta de sensibilidade desse painel em altas radiações, além de diminuir a demanda de manutenção gerada pelo uso da película insulfilm e suas alterações com o tempo.

A estação de referência Davis Vantage Pro 2 é atualmente utilizada por muitos produtores, e foi a escolha dela para validação dos dados reforça a eficiência do protótipo. A Fundação Procafe é uma instituição renomada de pesquisa com trabalhos publicados em diversos congressos brasileiros e internacionais, sendo responsável pelo desenvolvimento de conhecimento sobre diversos setores da agricultura. A instituição cedeu os dados de sua estação e o espaço para instalação dos equipamentos na fazenda experimental de Varginha-MG.

A placa de Arduino foi programada para retirar 01 medida a cada 5 minutos e armazenar os dados em um cartão de memória. Estas medições foram registradas em tabelas no Excel e comparadas com os valores emitidos em  $W/m^2$  pela estação Davis Vantage Pro 2. Os valores do relatório da estação constituem as seguintes variáveis: intensidade do vento ( $ms^{-1}$ ), temperatura do ar ( $^{\circ}C$ ), umidade relativa do ar (%), radiação solar global ( $Wm^{-2}$ ), saldo de radiação ( $Wm^{-2}$ ), fluxo de calor no solo ( $Wm^{-2}$ ) e precipitação (mm).

Após unir todos os pontos analisados, foi realizada uma correlação entre as medidas obtidas pelo painel em mV e os valores da estação meteorológica de saldo de radiação em  $Wm^{-2}$ . A partir dessa correlação foram estudadas as curvas de regressão, observando os valores dos coeficientes de representatividade  $R^2$ .

## 5- RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após feita a instalação e as melhorias no equipamento partimos para a obtenção de dados, foram exatamente 11 dias seguidos de medidas onde a cada 5 minutos tínhamos a valor da incidência solar captada pelo painel e a cada 30 minutos a incidência pela estação Davis.

O local escolhido para a instalação do protótipo foi devido a presença da estação meteorológica comercial, com o propósito de validar os dados obtidos pelo painel. Após o levantamento de dados, veio a realização da correlação entre eles.

Conforme tabela abaixo segue uma comparação de valores de incidência solar.

Tabela 1 – Dados comparativos

<b>Data</b>	<b>Horário</b>	<b>Painel fotovoltaico (mV)</b>	<b>Estação Meteorológica (w/m<sup>2</sup>)</b>
23/11/20	6:00	229	125
23/11/20	6:30	296	227
23/11/20	7:00	337	339
23/11/20	7:30	355	508
23/11/20	8:00	371	663
23/11/20	8:30	364	740
23/11/20	9:00	363	888
23/11/20	9:30	305	988
23/11/20	10:00	387	1086
23/11/20	10:30	304	1185
23/11/20	11:00	422	513

23/11/20	11:30	370	1345
23/11/20	12:00	366	1336
23/11/20	12:30	331	1253
23/11/20	13:00	273	325
23/11/20	13:30	279	1183
23/11/20	14:00	276	366
23/11/20	14:30	359	893
23/11/20	15:00	245	856
23/11/20	15:30	342	710
23/11/20	16:00	319	642
23/11/20	16:30	164	587
23/11/20	17:00	233	84
23/11/20	17:30	142	46
23/11/20	18:00	119	69
23/11/20	18:30	28	16
23/11/20	19:00	0	0

---

Fonte: O autor

Ao analisar os dados, constatou-se que a correlação entre os pontos aferidos pelo painel e pela estação expunham baixo coeficiente de representatividade. Suponha-se que além de refletir a incidência de radiação solar, esteja ocorrendo uma difração nos raios que são desviados pelo vidro e não atingem inteiramente o painel fotovoltaico.

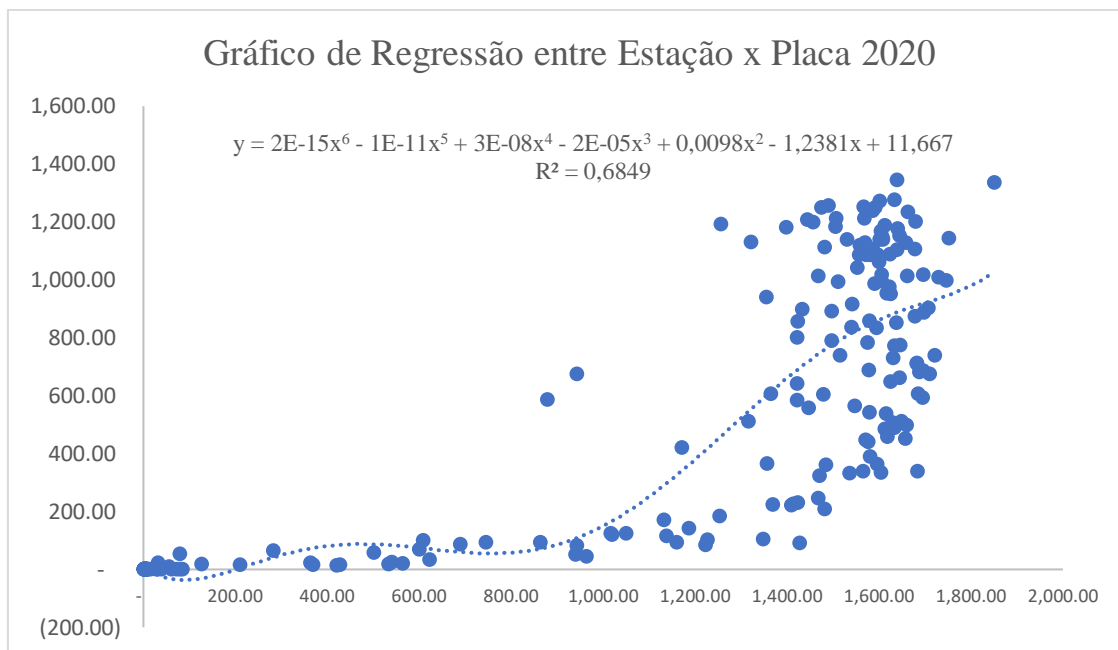
Para que fosse descartado as hipóteses de possíveis falhas ou erros tanto no protótipo ou na estação meteorológica, visto que foi utilizado o mesmo desenvolvimento no trabalho realizado por IFF, L.C, 2019 na pesquisa anterior, que foi a única alteração realizada, foi o atenuante. Pode-se perceber que ele atuou de forma negativa, atrapalhando na obtenção de dados corretos.

Para atenuar parte da radiação incidente foi utilizado por IFF, L.C, 2019, uma película de insulfilm. Foi constatado uma baixa sensibilidade em altas radiações onde o painel retornou leitura de 5000 mV acima de 750 W/m<sup>2</sup>. Outro problema levantado foi referente a perda de coloração da película com o tempo o que resultaria em imprecisão no decurso de prazo.

Para tal validação, foi aplicado o método estatístico de regressão linear para conseguir medir as relações entre o protótipo e a estação comercial através dos dados captados.

A imagem abaixo exemplifica a correlação.

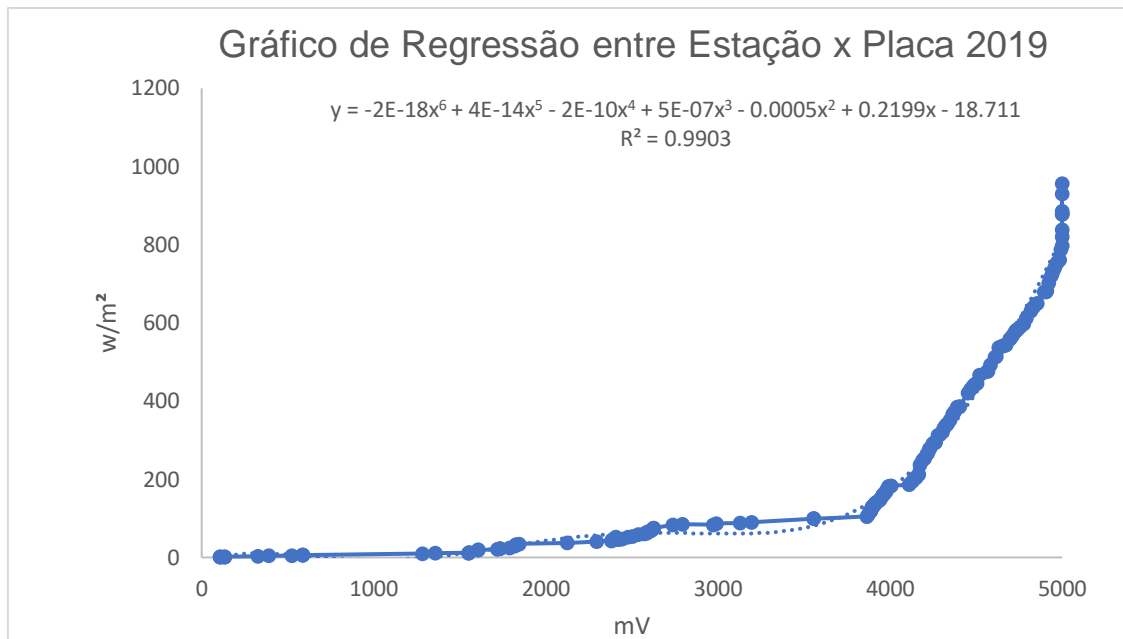
Figura 5: Gráfico de Regressão entre Placa x Estação 2020.



Fonte: O autor

O gráfico abaixo comprova a correlação existente anterior.

Figura 4 – Gráfico de regressão entre estação x placa 2019



Fonte: Iff, 2019

Outro fator que possa ter interferido, é o sobreaquecimento da placa. Segundo (Cabral et al., 2004) à medida que a temperatura do painel fotovoltaico aumenta a níveis muito altos ocorre uma interferência nas medidas de tensão obtidas pelo painel.

Observa-se que nas duas regressões apresentam uma equação polinomial de 6º é evidente a diferença do coeficiente de representatividade de  $R^2$ , podemos ressaltar que o  $R^2$  anterior alcançava o valor de 0,99 e o atual 0,68.

Em consequência pode-se considerar que o calor interfere nas aferições realizadas pelo protótipo.

Após a coleta e trabalho de dados foi possível observar que a utilização da lente se torna inviável, tendo em vista que as medidas estão gerando valores não correspondentes aos reais medidos pela estação meteorológica de referência, sendo assim para sua aplicabilidade no campo a lente não iria representar com eficiência os valores desejados de evapotranspiração, ocasionando uma reposição de água incorreta, não atendendo o objetivo inicial do protótipo.



Tabela 2 – Comparação dados gerais

Dados Analisados	Modelo de ajuste	Coefficiente R <sup>2</sup>
Valores Gerais 2019	$y = -2E-18x^6 + 4E-14x^5 - 2E-10x^4 + 5E-07x^3 - 0,0005x^2 + 0,2199x - 18,711$	R <sup>2</sup> = 0,9903
Valores Gerais 2020	$y = 2E-15x^6 - 1E-11x^5 + 3E-08x^4 - 2E-05x^3 + 0,0098x^2 - 1,2381x + 11,667$	R <sup>2</sup> = 0,6849

Fonte: O autor

Inicialmente era esperado que a lente fosse capaz de atenuar com precisão a incidência de radiação solar. Ao ponto que foram analisados os valores obtidos pelo painel constatou-se a inviabilidade da utilização da lente como atenuante, isto porque a correlação com os valores apresentados pela estação foram muito abaixo dos observados anteriormente quando se utilizou o insulfilm.

Desta forma para aumentar a representatividade e a confiabilidade do sistema desenvolvido é recomendado às novas pesquisas que ao invés de utilizar atenuantes faça uso de resistor 1 kΩ com tolerância de 1 % para limitar a corrente produzida. A tensão gerada pelo painel é função da radiação solar que mesmo estando em níveis elevados pode sofrer uma atenuação pela parte elétrica da placa, atuando como sensor indireto para esta variável.

## 6- CONCLUSÃO

O equipamento está em processo de desenvolvimento e a partir desse trabalho pode-se concluir que altas incidências de radiação em conjunto com altas temperaturas causaram as variações de medições no painel.

A alternativa mais viável seria a utilização de um resistor que é capaz de atenuar as medidas de voltagem da placa sem desviar os raios ou sobreaquecer o painel.

## 7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALADOS, I., ALADOS-ARBOLEDAS, L. *Direct and diffuse photosynthetically active radiation: measurements and modeling. **Agricultural and Forest Meteorology***, v.93, p.27-28,1999.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. ***Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements***. Rome:FAO, 1998.

Cabral, V. C.; Neto, M. B. L. de V.; Oliveira Filho, D.; Diniz A. S. A. **Modelagem e simulação de gerador fotovoltaico**. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 5, 2004, Campinas. Anais. SP, Brasil.

ELIAS, A. A. A.; SILVA, J. C. P.; GONÇALVES, R. N.; SOUZA, T. S., **Ardweather: uma estação meteorológica baseada no arduino e em web services restful**, XIV Safety, Health and Environment World, 2014, Cubatão.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Árvore do conhecimento: Soja**. Agência Embrapa de Informações Tecnológicas, 2010.

FONSECA, M. A.; **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO**; Circular técnica EMBRAPA; dezembro 2006, Bento Gonçalves.

IFF, L.C.; **Desenvolvimento de um protótipo de radiômetro para melhorar estimativas de evapotranspiração**, Centro Universitário do Sul de Minas, 2019, Verginha.

LUTGENS, F.K.; TARBUCK, E.J., *The Atmosphere: an introduction to meteorology*. **Prentice Hall**, 1989.

OLIVEIRA, F. C.; **Estimativa da radiação fotossinteticamente ativa para as bacias dos rios Doce, São Matheus e Jequitinhonha**, Universidade Federal de Viçosa, julho 2010, Viçosa.

REIS, H. M.; **Desenvolvimento de uma estação meteorológica para controlar sistemas de irrigação**; Universidade Federal de Ouro Preto, 2017.  
SENTELHAS, P. C.; MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos- O fator meteorológico na produção agrícola**. INMET.

SENTELHAS, P.C. **Duração do período de molhamento foliar: aspectos operacionais da sua medida, variabilidade espacial em diferentes culturas e sua estimativa a partir do modelo de Penman-Monteith**. Piracicaba: ESALQ/USP (Tese de Livre-Docência), 2004. 161p.

FERREIRA, A. S.; SOUZA, A.; FARIAS, F. C.; ANDRADE, F. L. N.; CARVALHO, L. T. S.; ROCHA, R. P. **INFLUÊNCIAS CLIMÁTICAS NAS CULTURAS AGRÍCOLAS**, 2014.

VAREJÃO, S. M. A. 2005. **Meteorologia e climatologia**, versão digital 2. Disponível em:  
<<https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=ad&id=627670&biblioteca=vazio&busca=varej%C3%A3o%20meteorologia%20e%20climatologia%20&qFacets=varej%C3%A3o%20meteorologia%20e%20climatologia%20&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>. Acesso em 28 Mar. 2020.

YAVORSKY, B.; DETLAF, A.: **Handbook of Physics**. Mir, 964pp, 1972.

## ANEXO I – Programação do Arduino

```
1 #include <Wire.h>
2 #include <SD.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <DS1307.h>
5 #include <SimpleTimer.h>
6
7 #define pinCS 10 // Pin 10 on Arduino MEGA para leitura de SD
8
9 #define RADIATION_PIN1 A8 // Analog pin1
10 #define IRSOLARBASE 1500.0 //Define a Irradiação solar Base da Região em W/m2
11 #define PANEL_VOLTS 5 //Pico em Volts
12
13 //Modulo RTC DS1307 ligado as portas A4 e A5 do Arduino
14 DS1307 rtc(A4, A5);
15
16 SimpleTimer timer;
17 File file;
18
19 float voltsNowPanel1;
20
21 char daysOfTheWeek[7][12] = {"Domingo", "Segunda", "Terca", "Quarta", "Quinta",
22 "Sexta", "Sabado"};
23 String fileName = "medidas.txt";
24 String dataString = "";
25 String tituloString = "";
26
27 //Regra necessária para funcionar FLOAT com a funcao de MAP. (Deve Ficar antes do
28 SETUP)
29 float mapfloat(float x, float in_min, float in_max, float out_min, float out_max)
30 {
31   return (x - in_min) * (out_max - out_min) / (in_max - in_min) + out_min;
32 }
33
34 void setup() {
35   Serial.begin(115200);
36   delay(100);
37
38   pinMode(pinCS, OUTPUT);
39
40   //Aciona o relógio
41   rtc.halt(false);
42
43   //AJUSTE DO RELOGIO (Comentar após primeiro uso)
44   //rtc.setDOW(TUESDAY); //Define o dia da semana atual
```

```

43 //rtc.setTime(18, 28, 0); //Define o horario atual
44 //rtc.setDate(18, 11, 2020); //Define o dia, mes e ano atual
45
46 //Definicoes do pino SQW/Out
47 rtc.setSQWRate(SQW_RATE_1);
48 rtc.enableSQW(true);
49
50 Serial.println("Sistema inicializando em 5 segundos...");
51 delay (5000);
52
53 //Primeira impressão de data hora atual
54 Serial.println("DATA / HORA atual:");
55 Serial.print("Hora : ");
56 Serial.print(rtc.getTimeStr());
57 Serial.print(" ");
58 Serial.print("Data : ");
    Serial.print(rtc.getDateStr(FORMAT_LONG, FORMAT_LITTLEENDIAN, '/')); //Imprime a
59 data no formato BR e com separador em "/"
60 Serial.print(" ");
61 Serial.println(rtc.getDOWStr());
62
63
64 // SD Card Initialization
65 if (SD.begin()){Serial.println("SD card is ready to use.");}
66 else{Serial.println("SD card initialization failed"); return;
67 }
68 //deletaArquivo(); //Função para deletar o arquivo do SD
69 readValues(); // Executa uma leitura de medida.
70 sdLog(); //Grava no Cartão SD na inicialização apenas.
    timer.setInterval(300000, SDcardWrite); //900000 = 15min ou 300000 = 5min
71 //Temporizador de Gravação no SD.
72 timer.setInterval(500, DebugSerial);
73 }
74
75
76 void loop() {
77 timer.run();
78 }
79
80 void readValues(){
81 int pinValue1 = analogRead(RADIATION_PIN1);
82 voltsNowPanel1 = mapfloat(pinValue1, 0, 1023, 0.0, PANEL_VOLTS);
83 }
84
85 //Conjunto de funções para montar String e Gravar no cartão SD
86 void SDcardWrite(){
87 sdLog();

```

```

88 Serial.println("");
89 }
90
91 void printSerialTime(){
92 Serial.print("Hora : ");
93 Serial.print(rtc.getTimeStr());
94 Serial.print(" ");
95 Serial.print("Data : ");
96 Serial.print(rtc.getDateStr(FORMAT_LONG, FORMAT_LITTLEENDIAN, '/'));
97 Serial.print(" ");
98 Serial.println(rtc.getDOWStr(FORMAT_SHORT));
99 Serial.println();
100 }
101
102
103 //Monta String dos títulos do cabeçalho para cada arquivo novo
104 void montaStringTituloSD(){
105 Serial.print("Contruindo string de Cabecalho...");
106 tituloString += String("Data");
107 tituloString += String(";");
108
109 tituloString += String("Hora");
110 tituloString += String(";");
111
112 tituloString += String("Valor Pino 1");
113 tituloString += String(";");
114
115 tituloString += String("Volts Painel 1");
116 tituloString += String(";");
117 }
118
119
120
121 //Monta String de gravação no SD (Unica Linha)
122 void montaStringDadosSD(){
123 Serial.print("Contruindo string de dados...");
124
125
126 dataString += String(rtc.getDateStr(FORMAT_LONG, FORMAT_LITTLEENDIAN, '/'));
127 dataString += String(";"); // Separador de dados
128
129 dataString += String(rtc.getTimeStr());
130 dataString += String(";"); // Separador de dados
131
132 dataString += String(analogRead(RADIATION_PIN1));
133 dataString += String(";"); // Separador de dados

```

```

134
135 dataString += String(voltsNowPanel1, 3);
136 dataString += String(";"); // Separador de dados
137 Serial.println(" OK");
138 }
139
140
141
142
143 //Grava no cartão SD
144 void sdLog(){
145
146 if (SD.exists(fileName)) { //Checa se o arquivo já existe
    file = SD.open(fileName, FILE_WRITE); //Se o arquivo existir, grave normalmente
147 apenas a String de Dados.
148 // if the file opened okay, write to it:
149 if (file) { // Se conseguir gravar no arquivo confirme no Serial
150     montaStringDadosSD(); //Monta uma String de Dados.
151     Serial.print("Gravando no arquivo: ");
152     Serial.print(fileName);
153     file.println(dataString); // Write to file
154     file.close(); // close the file
155     delay(500); //Delay para gravar no arquivo e não sobrepor outra gravação.
156     Serial.println(" OK");
157 }
158 // if the file didn't open, print an error:
159 else { // Se NAO conseguir gravar no arquivo confirme no Serial
160     Serial.println("Erro ao abrir arquivo: "); Serial.print(fileName);
161 }
162     dataString = String(""); //Limpa String para próxima leitura
163 }
164 else{ // Se arquivo não existir, crie um novo.
165     file = SD.open(fileName, FILE_WRITE);
166
167 // if the file opened okay, write to it:
168 if (file) {
169     montaStringTituloSD(); // Monta uma String de cabeçalho.
170     Serial.print("Gravando em novo arquivo: ");
171     Serial.print(fileName);
172     file.println(tituloString); // Write to file
173     file.close(); // close the file
174     delay(500); //Delay para gravar no arquivo e não sobrepor outra gravação.
175     Serial.println(" OK");
176     sdLog(); // Roda novamente a funcao para cair no caso que grava a String de Dados
177 }
178 // if the file didn't open, print an error:

```

```

179 else {
180   Serial.println("Erro ao abrir arquivo: "); Serial.print(fileName);
181 }
182 }
183 }
184
185
186 // Função para deletar arquivo do SD
187 void deletaArquivo(){
188   Serial.println("Deletando arquivo: ");
189   SD.remove(fileName);
190   Serial.println(" OK");
191   Serial.println("Por favor comente a linha no SETUP para deletar arquivos e reinicie o
192 sistema.");
193   delay(99999999);
194 }
195
196 // TESTE DE LEITURA DO ARQUIVO
197 void readFile(){
198   file = SD.open(fileName);
199   if (file) {
200     Serial.println("Lendo:");
201     // Reading the whole file
202     while (file.available()) {
203       Serial.write(file.read());
204     }
205     file.close();
206   }
207   else {
208     Serial.println("Erro abrindo arquivo: ");
209     Serial.println(fileName);
210   }
211
212
213
214 //FUNÇÃO PARA DEBUG NO SERIAL
215 void DebugSerial(){
216   readValues();
217   printSerialTime();
218   Serial.print("Valor Pino1: ");
219   Serial.print(analogRead(RADIATION_PIN1));
220   Serial.print(" Volts Painel 1: ");
221   Serial.print(voltsNowPanel1, 3);
222   Serial.println("");
223 }

```