



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO NORTE**

**MARCUS VINICIUS SILVA NUNES**

**ELIZABETE DA SILVA SANTANA**

**JOSÉ HORIZ DE MACÊDO MACENA**

**NÍCOLAS PEREIRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR E ANÁLISE DA  
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES.**

Canguaretama, RN – 2018

**MARCUS VINICIUS SILVA NUNES**

**ELIZABETE DA SILVA SANTANA**

**JOSÉ HORIZ DE MACÊDO MACENA**

**NÍCOLAS PEREIRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR E ANÁLISE DA  
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Técnico em  
Eletromecânica do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Rio  
Grande do Norte, em cumprimento às  
exigências legais como requisito parcial à  
obtenção do título de Técnico em  
Eletromecânica.

Orientador: Dr. BRUNO A. FERREIRA  
VITORINO

CANGUARETAMA/RN

2018

**MARCUS VINICIUS SILVA NUNES**

**ELIZABETE DA SILVA SANTANA**

**JOSÉ HORIZ DE MACÊDO MACENA**

**NÍCOLAS PEREIRA DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO SOLAR E ANÁLISE DA  
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso Técnico em  
Eletromecânica do Instituto Federal de  
Educação, Ciência e Tecnologia do Rio  
Grande do Norte, em cumprimento às  
exigências legais como requisito parcial à  
obtenção do título de Técnico em  
Eletromecânica.

Aprovado em: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Banca Examinadora

---

Dr. Bruno Augusto Ferreira Vitorino - Orientador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Ms. Alexandre Nascimento Barros - Examinador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

---

Ms. Valbério Gonzaga de Araujo- Examinador  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

## RESUMO

A medição da radiação solar tem como aplicações a meteorologia e agricultura de precisão, além disso os dados de irradiância são essenciais para a produção de energia solar, sendo base para os estudos de implantação de usinas fotovoltaicas. No Brasil, quase a totalidade das Instituições responsáveis por medir a radiação solar disponibilizam informações referentes as radiações incidentes em superfícies horizontais, semelhantemente a forma como adotaremos. Entretanto, neste projeto, prevê-se a instalação de uma estação solarimétrica contendo um sensor de temperatura, um piranômetro, dois registradores de dados e uma fonte de alimentação. Os dados de irradiância obtidos, além dos outros sensores da estação, serão utilizados para estabelecer um perfil das variáveis influenciadoras na produção fotovoltaica pelas células solares, na usina do IFRN Campus Canguaretama.

**Palavras-chaves: Usina fotovoltaica, Radiação Solar, Piranômetro, Temperatura, Sensores**

## Sumário

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>2.</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>9</b>
2.1.	COMO É PRODUZIDA A ENERGIA SOLAR .....	9
2.2.	ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA E SEUS COMPONENTES .....	10
2.3.	ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES PARA ESTIMAR O DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES. ....	10
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>12</b>
3.1.	EQUIPAMENTOS .....	13
3.2.	REGISTRO DOS DADOS DE TEMPERATURA .....	16
3.3.	REGISTRO DOS DADOS DE RADIAÇÃO .....	18
3.4.	INSTALAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE REGISTRO .....	19
<b>4.</b>	<b>ANÁLISE DE DADOS .....</b>	<b>20</b>
<b>5.</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>28</b>
	<b>APÊNDICE B – Script para os dados de radiação .....</b>	<b>34</b>
	<b>APÊNDICE C – Script para os dados de temperatura .....</b>	<b>35</b>
	<b>APÊNDICE D – Script para os dados de potência .....</b>	<b>35</b>
	<b>APÊNDICE E – Script para o estudo das 3 variáveis.....</b>	<b>36</b>
	<b>ANEXO A .....</b>	<b>39</b>
	<b>ANEXO B .....</b>	<b>39</b>

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Diagrama de blocos das etapas do projeto.....	12
Figura 2. Sensor de temperatura DHT11.....	14
Figura 3. Piranômetro comercial SR05-DA2.....	15
Figura 4. <i>Datalogger</i> comercial UX120-006.....	16
Figura 5. Esquemático do circuito entre sensor e <i>datalogger</i> .....	17
Figura 6. Circuito de medição e gravação de dados de temperatura finalizado.....	18
Figura 7. Gráficos de dados de radiação em diferentes <i>logs</i> .....	21
Figura 8. Gráficos de dados de temperatura em diferentes <i>logs</i> .....	22
Figura 9. Gráfico de dados de potência.....	23
Figura 10. Gráficos dos dados de potência por temperatura divididos por faixa de radiação.....	24
Figura 11. Gráfico dos dados de potência por temperatura.....	25
Figura 12. Gráfico da relação entre potência.....	26

## 1. INTRODUÇÃO

Entendemos por energia solar um processo de fusão nuclear que ocorre no sol. É sabido sua extrema importância aos seres vivos, tendo em vista que necessitamos da luz solar para sobreviver. Logo, radiação solar é, portanto, a luz e energia emitida pelo sol em suas diferentes formas. Após sua passagem pela atmosfera terrestre, passa a ser transmitida por três principais componentes: DNI (*direct normal irradiance* ou irradiância direta normal), DHI ou DIF (*diffuse horizontal irradiance* ou irradiância difusa horizontal) e GHI (*global horizontal irradiance* ou irradiância global horizontal) a qual é a soma de DNI e DHI (BATALHA, 2018), (KIPPZONNEN, 2017).

Obter informações sobre a radiação solar incidente na terra é de suma importância para as áreas de meteorologia, agricultura de precisão e mais atualmente para a produção de energia solar fotovoltaica. A obtenção de dados de radiação solar, em conjunto com outras variáveis como temperatura, umidade do ar, pressão atmosférica e velocidade do vento é feita por estações de coleta de dados ambientais, também chamadas de estações solarimétricas. Tais dados, principalmente a temperatura, são de extrema importância para a realização do estudo sobre o grau de eficiência dos painéis solares em relação à potência transformada (KIPPZONNEN, 2017).

O instrumento utilizado para a coleta de dados de radiação solar foi o piranômetro, que mede a irradiância global horizontal (GHI). Já o dispositivo utilizado para a medição de temperatura foi o sensor de umidade e temperatura DHT11 bastante utilizado em projetos com microcontroladores e facilmente encontrado comercialmente.

Desde a geração de energia elétrica até a sua utilização pelo consumidor, existem perdas de energia em todas as etapas, por exemplo pela influência de agentes físicos externos assim como na perda por efeito joule (expressa por  $P=R.i^2$ ). Em relação à geração de energia elétrica por painéis solares, é de extrema importância a realização de um estudo sobre as influências existentes na porcentagem de conversão energética, a fim de alcançar uma maior quantidade de transformação, sanando, quando possível, as interferências negativas.

Neste trabalho realizou-se a instalação de uma estação solarimétrica composta por um sensor DHT11, piranômetro comercial *second-class* (SR-05 da HukseFlux)

e seus respectivos registradores de dados no Campus Canguaretama do IFRN. A estação foi instalada nas proximidades da usina fotovoltaica (UFV) do campus para investigação da eficiência dos painéis da usina, bem como a influência da temperatura na conversão energética.

Visando quantificar o nível de interferência da temperatura foi feita análise de dados obtidos pela estação e obtida uma relação entre a temperatura e a conversão feita pela usina solar, comparando com o dado de redução de eficiência do painel solar fornecido pela documentação (*datasheet*) do fabricante.

Na fundamentação teórica, tratamos de aspectos impulsionadores para o cumprimento do projeto, tais como a energia solar, desde sua produção até a relevância dos índices de influência de temperatura, em conformidade a análise de dados específicos, como também da definição de estação solarimétrica. Por conseguinte, a metodologia expôs, de forma didática, o método utilizado, adjunto dos equipamentos necessários e em paralelo ainda as medições dos agentes físicos, tais como a temperatura. Por fim, são demonstrados gráficos fundamentais para a análise de forma precisa dos valores repassados.



## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. COMO É PRODUZIDA A ENERGIA SOLAR**

No que tange a energia solar, sabemos que sua obtenção se dá quando é transmitida para a superfície da Terra através de ondas eletromagnéticas (fótons), de maneira direta e difusa. A direta possui valor zero quando o sol se encontra totalmente encoberto de nuvens, já a difusa, por sua vez, pode ser observada pela claridade vista no céu quando o mesmo se encontra totalmente coberto por nuvens, sendo esse tipo de radiação a que alcança a superfície por todas direções, sem sofrer desvios.

A energia solar pode ser convertida e utilizada através de dois tipos de sistema: térmico e fotovoltaico. O sistema térmico converte energia solar em calor e o sistema fotovoltaico transforma a irradiação solar em eletricidade (TINOCO, 2017). Os sistemas fotovoltaicos convertem a incidência de raios solares na superfície de silício em energia elétrica. Elétrons são excitados gerando uma diferença de potencial (D.D.P.) no painel através do efeito fotovoltaico.

O Relatório Mundial da Situação das Energias Renováveis de 2015 desenvolvido pela REN 21 apresenta o importante papel que os módulos solares fotovoltaicos têm desempenhado na geração de eletricidade em determinados países. Eles estão se tornando competitivos com o desenvolvimento de tecnologias com custos reduzidos frente a outras formas de geração de energia elétrica.

O interesse no seu uso se dá devido aos aspectos ambientais e sociais envolvidos. Quando o assunto é redução de custos, é comprovado que se a geração de energia solar brasileira fosse realizada através de painéis fotovoltaicos, o Brasil iria produzir em torno de 253,50 milhões de MWh por ano, o que seria capaz de abastecer mais de duas vezes o consumo doméstico atual de eletricidade (FIALHO, 2017).

Apesar de se obter energia diretamente da incidência solar em um sistema fotovoltaico, no entanto, cerca de 80% a 90% da energia incidente é convertida em calor. Esse calor resulta no acréscimo da temperatura de operação das células do painel fotovoltaico, ocasionando uma diminuição de 0,45% no rendimento do painel para cada grau Celsius [°C] acrescentado a partir das condições padrões de teste: 25 °C, 1 kW/m<sup>2</sup> e 1,5 kg de ar (ARLINDO, 2018).

## 2.2. ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA E SEUS COMPONENTES

A estação solarimétrica é composta pela junção de instrumentos que abrangem a obtenção e mensuração dos parâmetros envolvendo a radiação solar global. Uma estação solarimétrica funciona baseada em padrões estabelecidos pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), a fim de que os dados obtidos através dela sejam da mais alta precisão possível.

Os principais critérios que devem ser atendidos são: a estação deve possuir, no mínimo, dois piranômetros *first class* ou superior, um sensor de umidade, um sensor temperatura e um instrumento para medir a velocidade do vento; a frequência de medição, que é controlada pelo *log* do registrador, deverá ser a cada 1 segundo e os dados integralizados a cada 10 minutos (EPE, 2017).

Baseado nos critérios para uma estação solarimétrica padrão, foram definidos alguns sensores de acordo com a disponibilidade para este projeto. Foram utilizados um piranômetro *second class* e um sensor de temperatura, que são descritos em detalhes nas seções seguintes.

## 2.3. ANÁLISE DOS DADOS DAS ESTAÇÕES PARA ESTIMAR O DESEMPENHO DAS CÉLULAS SOLARES.

No presente trabalho foi avaliado, de forma experimental, a influência da temperatura nas células solares e da irradiação solar na tensão produzida por um painel fotovoltaico, com o intuito de compreender o fato de que a temperatura desempenha um papel crucial na produção de energia.

Em (AMELIA, 2016), podemos verificar, por meio de um gráfico, que a potência do painel fotovoltaico aumenta paralelamente à corrente de saída, assim como a irradiância solar. Enquanto as altas temperaturas levam à redução da tensão, elevando, em contrapartida, a corrente de saída. Entretanto, devido aos altos índices de temperatura em que os painéis são expostos, o painel fotovoltaico não atinge a potência de saída para a qual foi especificado.

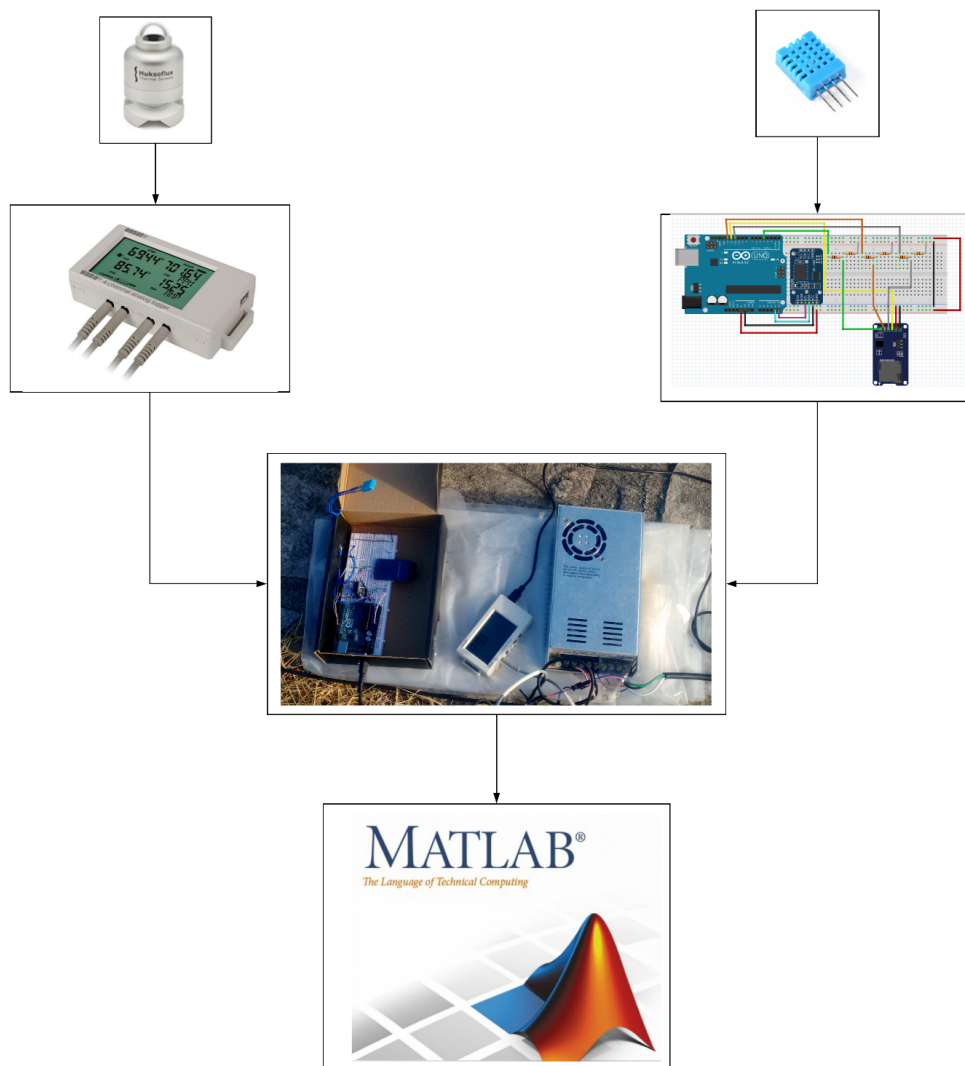
No que se refere a eficiência do painel fotovoltaico, a irradiância em períodos de pico solares não influem, necessariamente, na melhora da potência de saída. Contraposto a isto, os agentes ambientais são capazes de prejudicar o

funcionamento das células solares. Logo, a temperatura das placas solares pode ser considerada como um problema crítico na previsão da produção de energia.

### 3. METODOLOGIA

O Projeto foi dividido em 2 partes que totalizaram 4 etapas, que podem ser vistas no diagrama de blocos abaixo. A primeira parte consistiu na construção de um protótipo de estação solarimétrica, que captasse as duas variáveis desejadas para a realização do projeto (temperatura e radiação), tendo seu início na escolha dos equipamentos de medição das variáveis supracitadas, posteriormente a adição de registradores a esses componentes, a fim de armazenar os dados obtidos. A segunda parte compreendeu a análise dos dados obtidos em um *software* (Matlab), com o propósito de investigar o potencial energético solar e analisar a influência da temperatura no desempenho das células solares.

Figura 1. Diagrama de blocos das etapas do projeto.



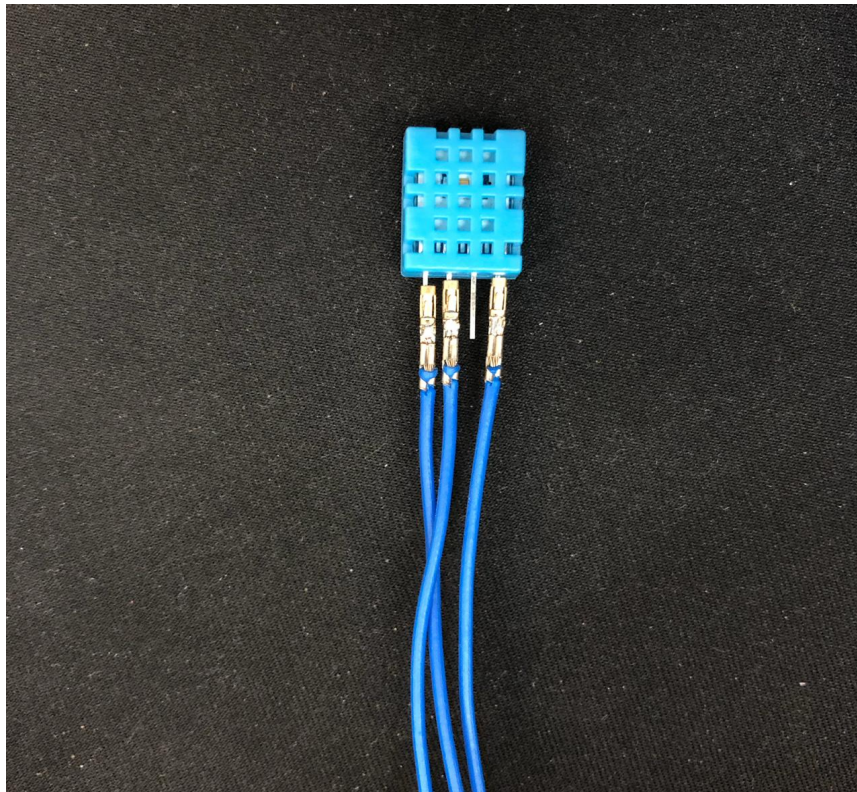
Fonte: do próprio autor.

### 3.1. EQUIPAMENTOS

Tendo o diagrama de blocos como linha cronológica de atividades, seguindo a ordem de cima para baixo. Primeiramente, foram escolhidos os dispositivos para a obtenção dos dados essenciais para a relação da influência da temperatura na potência transformada pelos painéis da usina fotovoltaica do *campus* Canguaretama do IFRN.

Para a medição de temperatura optou-se pelo sensor de temperatura e umidade DHT11 (figura 2), que permite realizar leituras entre 0 e 50° Celsius e umidade entre 20 a 90% (os dados de umidade não foram utilizados no projeto), ele possui um componente de medição de temperatura NTC (*Negative Temperature Coefficient*), em que a resistência diminui com o aumento da temperatura, possui uma alta sensibilidade e precisão de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . O NTC é conectado a um micro controlador de 8-bit de alta performance, oferecendo excelente qualidade, rápida resposta, capacidade anti-interferência. O sensor possui 4 pinos para conexão: VCC, dado analógico, não conectado e GND (terra). Sua vasta aplicação em projetos com microcontroladores e seu baixo custo também ajudaram no critério de escolha do componente.

Figura 2. Sensor de temperatura DHT11



Fonte: do próprio autor.

Para a medição de radiação se dispôs de um piranômetro comercial SR05-DA2 da Hukseflux Thermal Sensors (figura 3), esse dispositivo é ideal para medir a radiação global horizontal em estações solarimétricas, agro meteorológicas e para monitorar os sistemas de painéis fotovoltaicos. SR05 é um piranômetro digital padrão *second class* reconhecido na norma ISO 9060, *Standard & Pyranometer Measurement Accuracy*, sua medição de radiação solar é feita em  $W/m^2$ , recebida por uma termopilha com superfície plana de campo de visão de  $180^\circ$  revestida na cor preta. O dispositivo possui saída analógica 4-20 mA, proporcional a faixa de radiação 0-2000  $W/m^2$ . A termopilha é protegida por duas cúpulas de safira com a finalidade de proteger o sensor de agentes externos e variações de temperatura interna.

Figura 3. Piranômetro comercial SR05-DA2

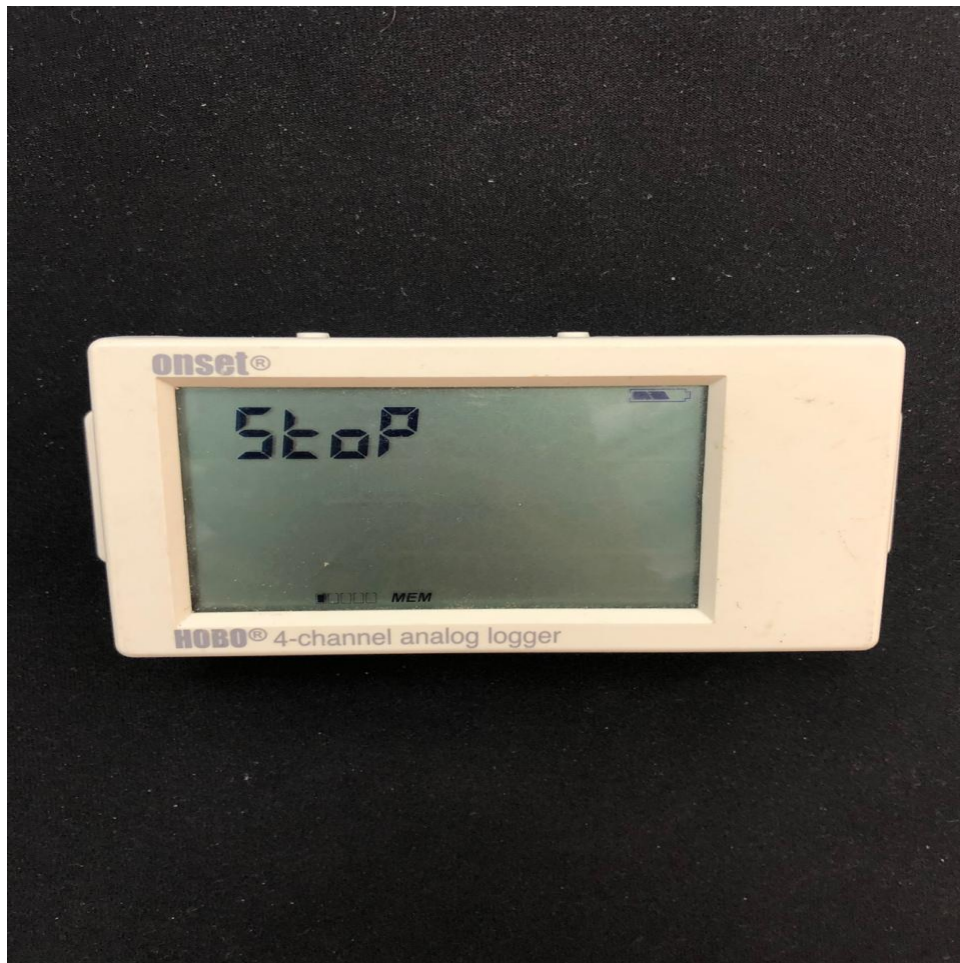


Fonte: do próprio autor.

Para o armazenamento dos dados obtidos pelos dispositivos, foram usados registradores também conhecidos como *datalogger*. Com a aquisição do piranômetro também foi adquirido um registrador comercial UX120-006 (figura 4), já para a obtenção de temperatura fez-se necessário a montagem de um circuito abrangendo o *datalogger* e o sensor DHT11.



Figura 4. *Datalogger* comercial UX120-006.



Fonte: do próprio autor.

### 3.2. REGISTRO DOS DADOS DE TEMPERATURA

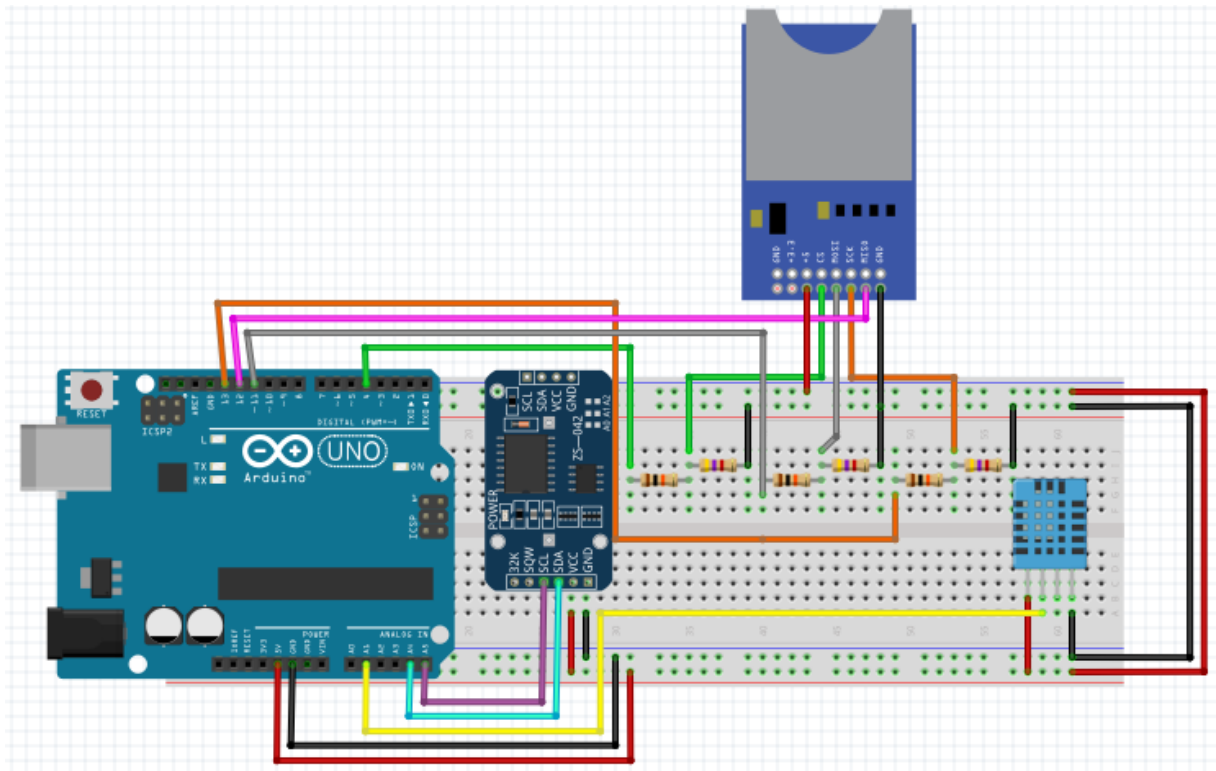
Já com os dispositivos selecionados, foi realizada a construção de um circuito com a finalidade de captar e armazenar dados térmicos. Sendo composto por um relógio de tempo real (RTC) (módulo DS3231), um módulo leitor de cartão SD, um sensor de temperatura e umidade DHT11, uma placa Arduino UNO, 6 resistores, e um *protoboard* para a interligação entre os componentes do circuito.

Após a elaboração de um código fonte para Arduino (apêndice A), cujo intuito é estruturar a lógica do circuito, sucedeu-se a montagem dos componentes e suas devidas conexões em um *protoboard*, seguindo o esquemático das ligações entre os dispositivos (figura 5). Para que houvesse comunicação entre o cartão SD e o microcontrolador era necessário a ligação entre eles através de 4 entradas no cartão — SDCS, MOSI, MISO e SCK —, 3 desses sinais necessitavam alimentação de 3,3



V, não fornecida pelo microcontrolador, com isso fez-se necessário transformar a alimentação de 5V para 3,3V nos 3 sinais citados anteriormente — SDCS, MOSI e SCK — como visto na figura 5, tal divisor era composto por 3 resistores de 10K $\Omega$  e 3 resistores de 4,7K $\Omega$ . Foram feitos testes para que o comportamento lógico fosse condizente com o necessário para a obtenção dos dados.

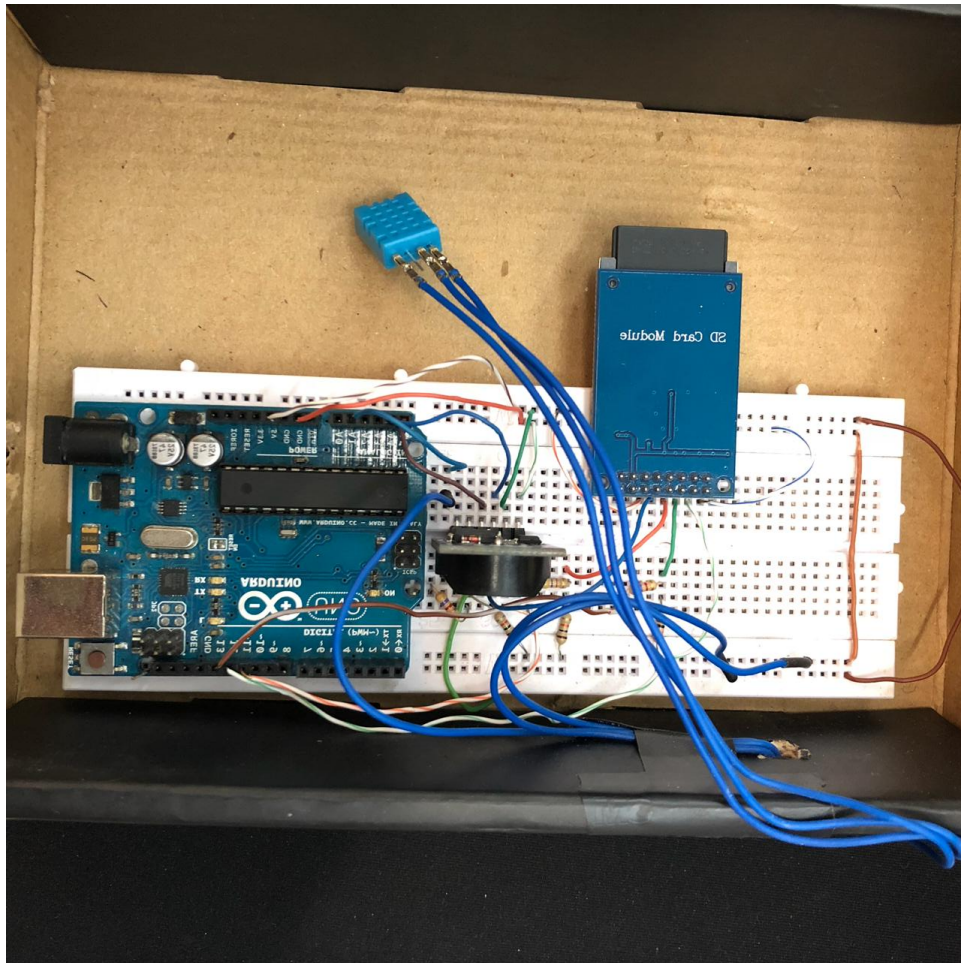
Figura 5. Esquemático do circuito entre sensor e *datalogger*.



Fonte: do próprio autor.

Houveram tentativas de construção de uma placa de circuito impresso (PCB) a fim de comportar o circuito, após esses experimentos apresentarem defeitos, como a não gravação dos dados no cartão SD, optou-se por permanecer com a montagem via *protoboard* e com uma alimentação de 12V. Com tudo alicerçado, o circuito foi colocado em uma caixa para que os componentes mais sensíveis fossem preservados, apenas deixando o sensor de temperatura externamente, podendo ser visto na figura abaixo. Com o *datalogger* funcionando, juntamente com o sensor DHT11 e o RTC, a captação e armazenamento de dados térmicos obtiveram êxito.

Figura 6. Circuito de medição e gravação de dados de temperatura finalizado.



Fonte: do próprio autor.

### 3.3. REGISTRO DOS DADOS DE RADIAÇÃO

Diante do sucesso com os dados de temperatura, partimos para a obtenção e registro de radiação. Utilizou-se de um medidor de radiação, o piranômetro, um *datalogger* comercial UX120-006. Todos os componentes foram alimentados com 12V. Por já possuímos um registrador comercial, essa etapa foi menos trabalhosa que a anterior, só precisando de atenção para conexão entre o piranômetro e o *datalogger* e entre ambos e a fonte de alimentação, respeitando o código de cores dos fios pré-estabelecidos no certificado de produto do medidor de radiação (anexo B) e no esquemático do circuito de conexão SR05 com UX120-006 mais uma fonte de energia 12VDC (anexo C).

### 3.4. INSTALAÇÃO E VERIFICAÇÃO DE REGISTRO

Em seguida foi feita uma análise sobre o local de posicionamento da estação solarimétrica, composta pelo sensor de temperatura, o piranômetro e os *dataloggers* nas proximidades da usina solar do *campus* Canguaretama, levando em consideração a incidência solar a fim de que o piranômetro receba a mesma quantidade de radiação que as placas fotovoltaicas, e a temperatura não distorça tanto da realidade.

Definido o local, instalou-se a estação no solo juntamente com a fonte de alimentação conectada através de uma extensão até a tomada mais próxima.

Os componentes ficam captando em média das 7h30min às 16h00min, totalizando em cerca de oito horas e trinta minutos de funcionamento. O log de dados, que consiste no processo de registro de eventos relevantes em um sistema computacional, dos dois dispositivos e da potência transformada da usina solar são diferentes. O log do piranômetro é feito a cada segundo, já o do sensor de temperatura é a cada minuto e o dos painéis solares é realizado a cada 15 minutos.

Pela diferença entre logs dos dispositivos fez-se necessário uma padronização no registro de dados, começando pelo maior, de 15 minutos, os outros (a cada segundo e a cada minuto) foram convertidos para essa duração. A fim de evitar um trabalho longo e desnecessário, realizando somas e médias entre os pontos e seus respectivos dados de temperatura e radiação usou-se de uma ferramenta chamada MATLAB da MathWorks.

O MATLAB constitui-se em um *software* interativo de alta performance direcionado para o cálculo numérico. Ele integra análise numérica, cálculo com matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos. Para nosso objetivo utilizamos do cálculo numérico e construção e edição de gráficos, e, assim, evitamos uma perda de tempo desnecessária.

Para a realização de cálculos e plotagem de gráficos o *software* utiliza de linguagem de programação para constituir um *script*, que é o tipo de programa mais simples e consiste em múltiplas linhas sequenciais de comandos e funções do MATLAB. Após a estruturação de dois *scripts*, um para os dados de radiação (apêndice B), um para os dados de temperatura (apêndice C), um para os dados de potência (apêndice D) e um para compilar essas 3 variáveis (apêndice E) os cálculos para a conversão de logs e construção de gráficos ficaram automatizadas e de uma maneira bem rápida (VITORINO,2018).

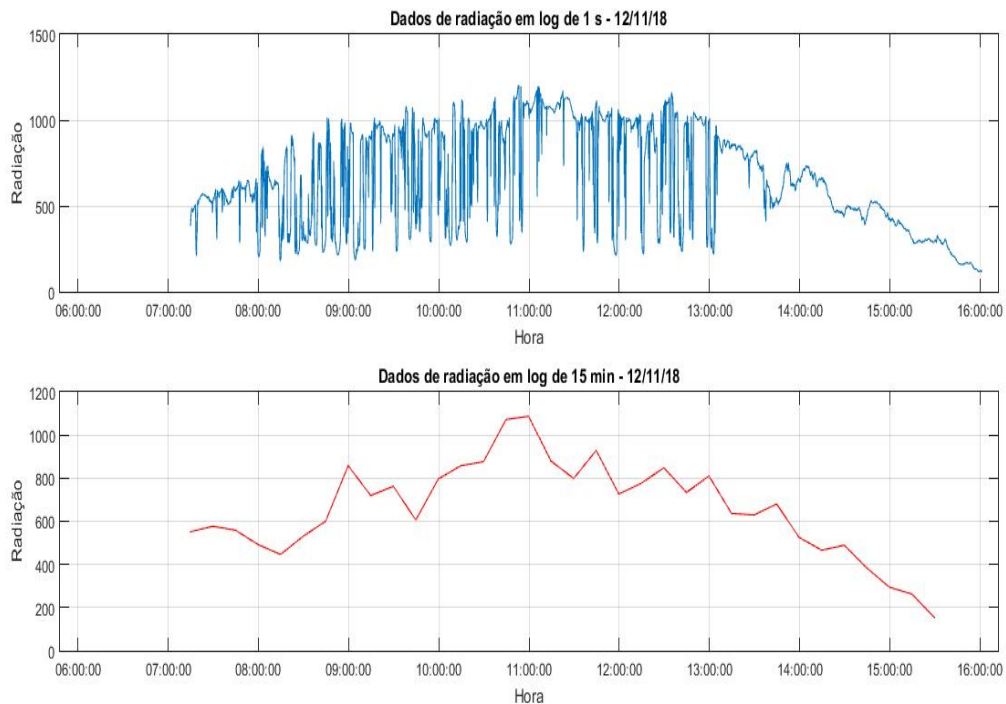
#### 4. ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados se deu através das três variáveis obtidas na estação solarimétrica (temperatura e radiação) e no software da Theia Analyzer (potência total produzida pela UFV do *campus*). Após tratar essas variáveis no MATLAB e gerar gráficos a partir delas, foi possível realizar um estudo dos dados pertinentes a problemática trabalhada ao longo do projeto.

O estudo foi feito relacionando cada variável com o tempo, a fim de entender as nuances por trás dos dados obtidos. Por fim foi elaborada uma associação entre as três variáveis com o propósito de entender a eficiência do painel fotovoltaico na prática e como é afetado pela temperatura.

Com o gráfico plotado e configurado pode-se elaborar uma análise gráfica do conjunto de dados obtidos ao longo do dia, o exemplo exposto na figura abaixo remete ao dia 12/11/2018.

Figura 7. Gráficos de dados de radiação em diferentes *logs*.

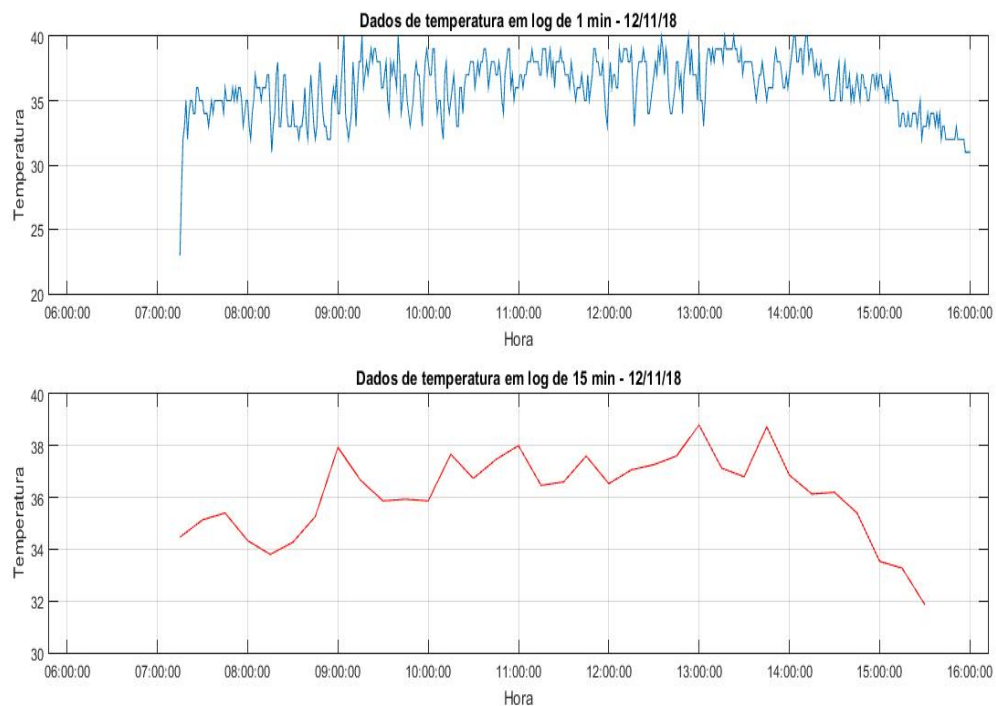


Fonte: do próprio autor.

Com base nos gráficos da figura 7 é visto que existe um pico de radiação durante o período entre, aproximadamente, das 10h até quase 13h30min, alcançando valores maiores que  $1000 \text{ W/m}^2$ . No gráfico com log de 1 segundo é notório que há quedas momentâneas, tais decréscimos são resultados de nuvens que projetam sombras por um curto espaço de tempo nos painéis solares não influenciando de maneira significativa na potência produzida pelas células fotovoltaicas. Já o log de 15 minutos contribui para uma melhor visualização da tendência quantitativa da radiação ao longo do dia.

A segunda variável obtida na estação solarimétrica foi a de temperatura, exposta em gráficos na figura abaixo.

Figura 8. Gráficos de dados de temperatura em diferentes *logs*.



Fonte: do próprio autor.

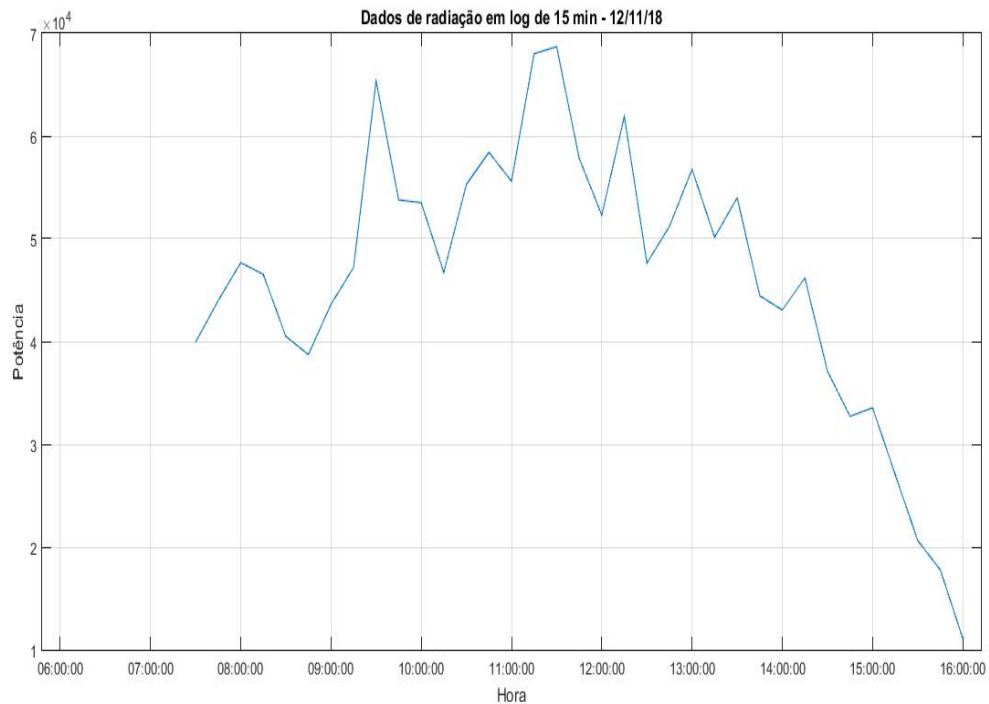
Analisando os gráficos da figura 8 pode-se traçar um período de pico de temperatura, que compreende o período entre, aproximadamente, 10h às 13h30min, que atinge temperaturas de até 40 graus Celsius. Os diferentes *logs* tiveram o mesmo objetivo no registro, tanto na temperatura quanto na radiação, que consiste em obter uma discriminação maior e uma análise mais precisa dos valores obtidos na estação no *log* de menor valor, já o de maior valor tem o propósito de traçar uma tendência ao longo do tempo a partir das médias dos dados de menor *log*. A escolha do registro de aquisição a cada 15 minutos se deu a fim de que as 3 variáveis coincidissem com a mesma quantidade de pontos.

Ao combinar as conclusões logradas pelo estudo dos gráficos de radiação e temperatura (figura 7 e 8), é visto que o período que eles alcançam os maiores valores coincide. Por, nesse período, haver uma maior incidência solar, há também um acréscimo na temperatura, ou seja, quanto mais radiação precipitar sobre os painéis solares, mais a sua temperatura irá elevar-se.

A terceira variável trabalhada foi a potência total transformada pela usina fotovoltaica do *campus*. Por não possuímos controle pelo registro dos dados da usina

solar, só foi feita análise da informação com log de 15 minutos. O gráfico da potência total produzida do dia 12/11/18 pode ser vista na figura abaixo.

Figura 9. Gráfico de dados de potência

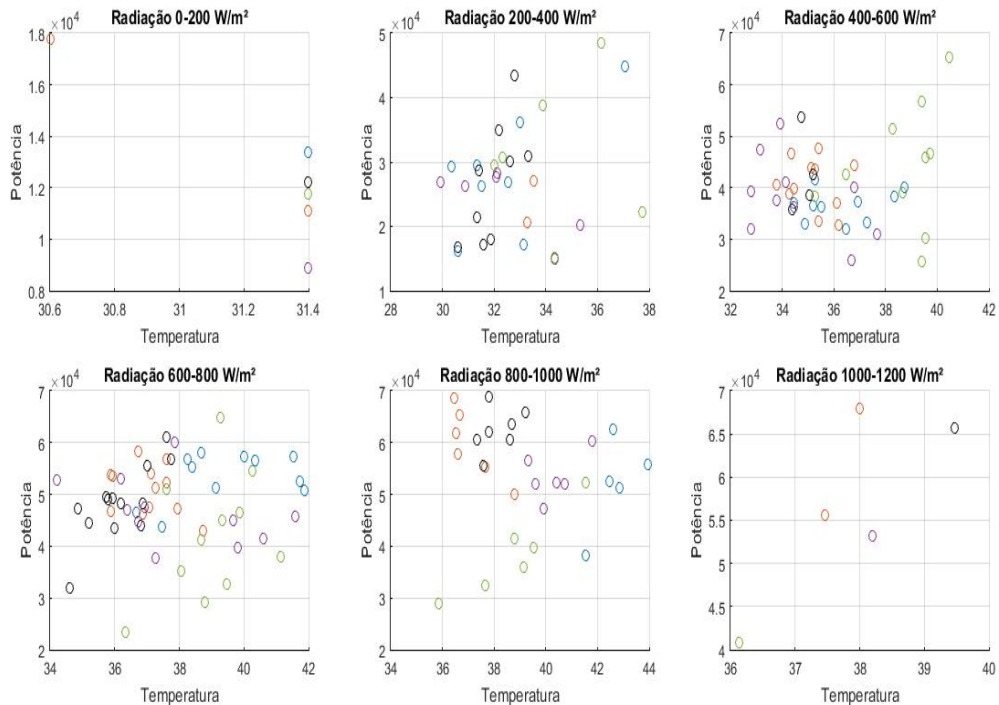


Fonte: do próprio autor.

Ao examinar os dados da usina obtidos pela Theia Analyzer, é notório que existe uma tendência ao longo do dia. Durante a primeira parte da manhã, a quantidade de potência transformada está em ascensão até chegar no período de pico que coincide com o da temperatura e da radiação. Após esse intervalo que dura, em torno, das 10h às 13h30min, a potência começa a descender até chegar a um valor insignificante.

A fim de relacionar as 3 variáveis, foi pensado e elaborado um gráfico de temperatura *versus* potência produzida. Nessas plotagens realizadas, foram condensados dados de diversos dias para que uma tendência fosse mais claramente detectada.

Figura 10. Gráficos dos dados de potência por temperatura divididos por faixa de radiação

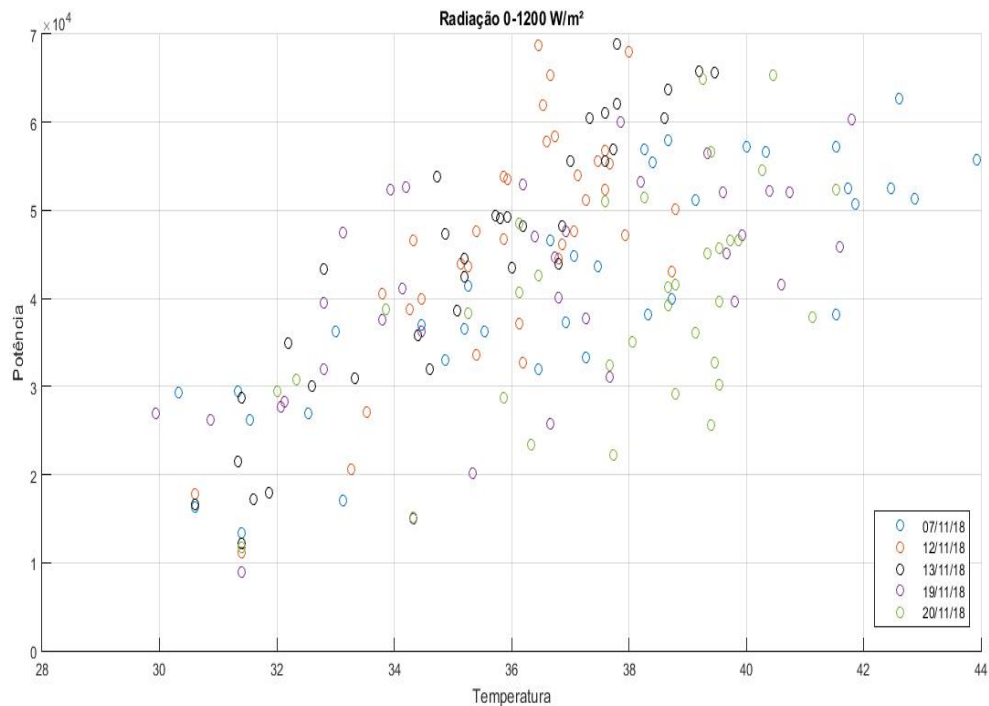


Fonte: do próprio autor.

A figura 10 consiste em uma divisão dos dados obtidos ao decorrer de 5 dias em 6 gráficos com *span* de 200 W/m², contando a partir de 0°C até 1200°C. Pode ser visto que quanto maior a incidência solar, mais alta é a temperatura, ou seja, temperatura e radiação são variáveis extremamente relacionadas, que possuem comportamento diretamente proporcional.



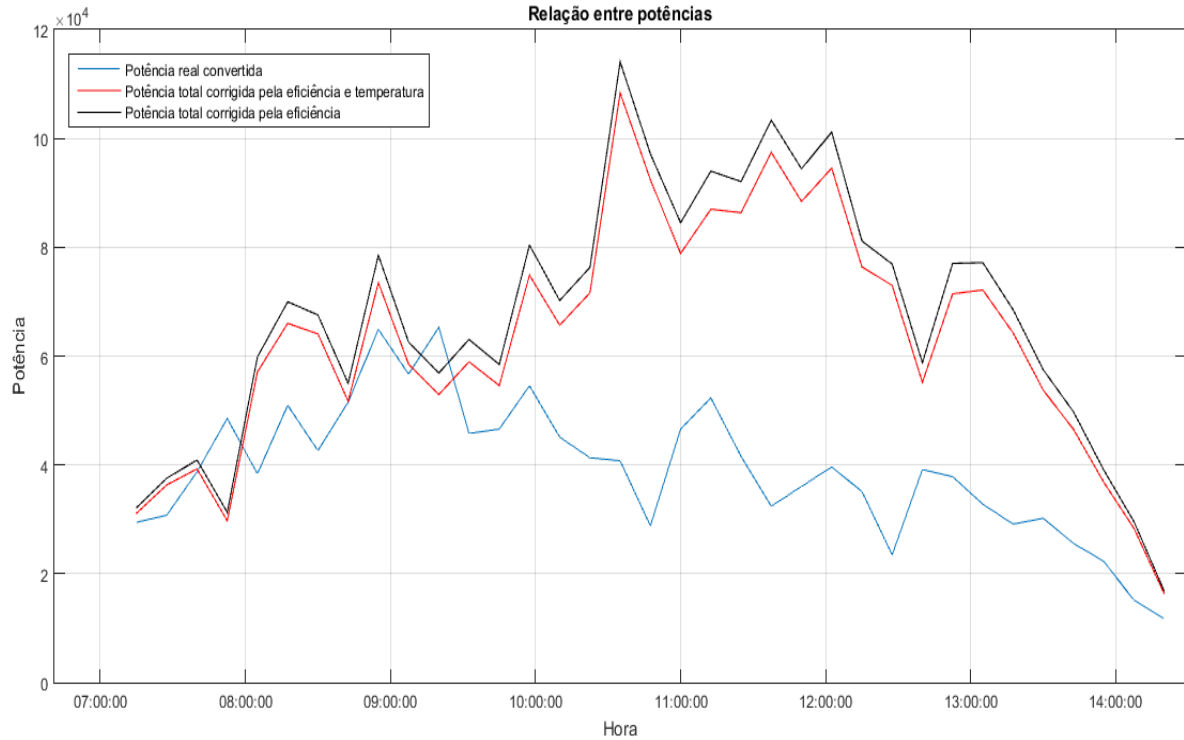
Figura 11. Gráfico dos dados de potência por temperatura.



Fonte: do próprio autor.

O gráfico da figura 11 é um condensado dos 6 gráficos da figura 10, mostrando uma tendência em que, conforme a temperatura se eleva, a potência também ascende devido ao aumento da incidência de radiação solar visto nos gráficos da figura 10, porém a temperatura ainda afeta de forma negativa o total de potência gerada, podendo ser evidenciada na figura a seguir.

Figura 12. Gráfico da relação entre potência



Fonte: do próprio autor.

O gráfico da figura 12 consiste em 3 potências. A potência real convertida foi adquirida através dos dados de registro existentes. A potência total corrigida pela eficiência fundamenta-se na equação 1.

$$P_{tc} = R_m \times a_t \times Ef \quad (\text{Eq.01})$$

em que  $R_m$  corresponde a cada ponto da radiação em *log* de 15 min,  $a_t$  equivale a área total das placas solares —480(quantidade total das placas)\*1.628(área de cada placa)— e  $Ef$  é a eficiência do painel solar dada em *datasheet* (14.43%). A potência total corrigida pela eficiência e temperatura baseia-se na equação 2.

$$P_{tcc}(i) = P_{tc}(i) \times (1 - t_m - 25) \times \frac{0.45}{100} \quad (\text{Eq.02})$$

em que  $P_{tc}$  é a potência total corrigida,  $t_m$  é cada ponto da temperatura em *log* de 15 min, tudo isso em função dos pontos ((i)). A estrutura da equação 2 foi fundamentada

na informação, presente no *datasheet* do fabricante, de que após 25°C a eficiência do painel decresce 0.45% a cada 1°C acrescido.

Ao analisar o gráfico obtido, comparando os pontos da potência corrigida pela eficiência e temperatura e a potência real convertida, é evidente a discrepância existente quando levamos em consideração a influência da temperatura na potência total produzida pelo painel fotovoltaico, isto é, quanto maior é a produção de energia maior são as perdas devido a influência da temperatura, que pode ser evidenciada no gráfico da figura 12, em que no período de pico (entre 10h00min e 11h00min) deveria ser produzida uma quantidade de energia mais alta que a real produzida. Apesar dessa diminuição clara na potência transformada, influenciada pela temperatura, ainda não equivale com a potência real, já que a padronização da estação solarimétrica produzida pelo grupo não atendeu os requisitos da Empresa de Pesquisa Energética e não levou em conta todas as influências ambientais existentes, como a velocidade do vento e umidade.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fomentada pelo crescente uso de painéis solares para a produção de eletricidade, que visa uma geração de energia menos agressiva com o meio ambiente, e por estudos anteriores que evidenciam a influência de agentes naturais externos na quantidade de potência produzida. Essa pesquisa teve como objetivo elaborar um estudo solarimétrico próximo a UFV do Campus Canguaretama, obtendo os índices de eficiência da usina e relacionando o quanto essa interferência atinge o desempenho das células solares.

A fim de alcançar os objetivos propostos, adotou-se uma metodologia de captação, registro e análise de dados pertinentes a problemática. Para a captação de dados foi-se utilizado de dois sensores, piranômetro e DHT11, e o registro foi feito com *dataloggers*, ambas realizadas na estação solarimétrica, já a análise sucedeu-se posteriormente com o auxílio do MATLAB, realizando os cálculos necessários e produzindo gráficos.

No estudo dos dados, pôde-se verificar uma influência da temperatura na quantidade de potência produzida pela UFV do *campus*. Ao relacionar as 3 variáveis

obtidas ao longo da pesquisa com o tempo e inter-relacioná-las, foi possível demonstrar um quantitativo em gráfico do decréscimo da potência gerada pela interferência supracitada.

Entretanto, a quantidade de dados obtidos não é suficiente para as conclusões efetivas da influência real da temperatura, ainda que a metodologia e os artefatos produzidos (circuitos e códigos fonte) possam ser utilizados para obtenção de um conjunto maior de dados, melhorando as análises. O uso do MATLAB permite inclusive a realização de análises estatísticas com o conjunto de dados obtidos. O aperfeiçoamento das análises e obtenção de maior conjunto de dados pode ser objeto de trabalhos futuros.

## REFERÊNCIAS

- AMELIA, A.R.; IRWAN, Y.M.; LEOW, W.Z.; IRWANTO, M.; SAFWATI, I.; ZHAFARINA, M. *Investigation of the Effect Temperature on Photovoltaic (PV) Panel Output Performance*, 2016.
- ARLINDO, G.N.; DANTAS, J.O.S.; RIBEIRO, V.H.A.; LIRA, V.V. *Energia solar na paraíba: perspectivas e desenvolvimento*, 2018.
- BATALHA, T. F. M. *Estudo da distribuição espacial hemisférica da radiação difusa ao longo do dia*, 2018.
- EPE. *Expansão de geração, empreendimentos fotovotaicos*, 2017.
- FIALHO A. C. *Energia Solar Fotovoltaica: Desenvolvimento no Brasil e a contribuição do Instituto Federal do Rio Grande do Norte*, 2017.
- KIPPZONNEN. *Pyranometers for the Accurate Measurement of Solar Irradiance*. Último acesso: Ago6. 20, 2017. [Online]. Available: [www.kippzonen.com/Download/70/Brochure-Pyranometers](http://www.kippzonen.com/Download/70/Brochure-Pyranometers)
- TINOCO, H.L.; FLORIDO, D.P.; KRAMBECK, L.; ALVES, T. A. *Investigação Experimental da Influência da Temperatura de Operação e da Irradiação Solar em um Painei Fotovoltaico*, 2017.
- VITORINO, B.A.F. *Conversor Sigma-Delta Térmico com ajuste automático da faixa de operação para medição de radiação incidente*. Tese de Doutorado, 2018.

## APÊNDICE A – Código em Arduino

```
//Programa: Datalogger com Arduino, modulo RTC DS3231 e cartao SD
#include <DS3232RTC.h>
#include <Streaming.h>
#include <Time.h>
#include <Wire.h>
#include <SD.h>
#include <SPI.h>
#include <DHT.h>

#define DHTPIN A1 // pino que estamos conectado
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11

//Pino CS do modulo cartao SD
int CS_PIN = 4;

File file;

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup(void)
{
    Serial.begin(9600);
    dht.begin();
    //Inicializa o cartao SD
    inicia_SD();

    //Sincroniza a biblioteca Time com o RTC a cada 5 minutos
    setSyncProvider(RTC.get());
    Serial << F("Sincronizando com o RTC...");
    if (timeStatus() != timeSet) Serial << F(" Falha!");
    Serial << endl;
}

void loop(void)
{
    static time_t tLast;
    time_t t;
    tmElements_t tm;

    //Verifica se foi setado um novo horario
    //Formato: ano, mês, dia, hora, minuto, segundo
    if (Serial.available() >= 12) {
        int y = Serial.parseInt();
        if (y >= 100 && y < 1000)
            Serial<<F("Erro: Ano deve ter dois ou quatro digitos!") <<endl;
        else {
            if (y >= 1000)
                tm.Year = CalendarYrToTm(y);
            else // (y < 100)
                tm.Year = y2kYearToTm(y);
            tm.Month = Serial.parseInt();
            tm.Day = Serial.parseInt();
            tm.Hour = Serial.parseInt();
            tm.Minute = Serial.parseInt();
            tm.Second = Serial.parseInt();
            t = makeTime(tm);
            RTC.set(t);
            setTime(t);
        }
    }
}
```

```

    Serial << F("Horario modificado para: ");
    printDateTime(t);
    Serial << endl;
    while (Serial.available() > 0) Serial.read();
  }
}

t = now();
if (t != tLast) {
  tLast = t;
  printDateTime(t);
  //Grava dados no cartao a cada 1 minuto
  if (second(t) == 0)
  {
    float h = dht.readHumidity();
    float c2 = dht.readTemperature();
    float c = RTC.temperature() / 4.;
    float f = c * 9. / 5. + 32.;
    Serial << F(" ") << c << F(" C ") << c2 << F(" C ");
    Serial.println("nGravando dados no cartao SD...");
    grava_SD(t);
  }
  Serial << endl;
}
}

//Mostra data e hora na serial
void printDateTime(time_t t)
{

```

```

printI00(day(t), 0);
Serial << monthShortStr(month(t)) << _DEC(year(t));
Serial << ' ';
//printTime(t);
printI00(hour(t), ':');
printI00(minute(t), ':');
printI00(second(t), ' ');
}

//Grava dados no cartao SD
void grava_SD(time_t t)
{
    float c = RTC.temperature() / 4.;
    float c2 = dht.readTemperature();
    float h = dht.readHumidity();
    abre_arquivo_gravacao("data.txt");
    file.print("Data: ");
    file.print(day(t));
    file.print("/");
    if (month(t) < 10)
    {
        file.print("0");
    }
    file.print(month(t));
    file.print("/");
    file.print(year(t));
    file.print(" Hora: ");
    if (hour(t) < 10)
    {

```

```

        file.print("0");
    }
    file.print(hour(t));
    file.print(":");
    if (minute(t) < 10)
    {
        file.print("0");
    }
    file.print(minute(t));
    file.print(":");
    if (second(t) < 10)
    {
        file.print("0");
    }
    file.print(second(t));
    file.print(" Temp_int: ");
    file.print(c);
    file.print(" Temp_ext: ");
    file.print(c2);
    file.print(" Humidity: ");
    file.println(h);
    fecha_arquivo();
}

//Correcao para imprimir "00" ao inves de "0" caso
//o valor seja menor do que 10
void printI00(int val, char delim)
{
    if (val < 10) Serial << '0';
    Serial << _DEC(val);
    if (delim > 0) Serial << delim;
    return;
}

void inicia_SD()
{
    pinMode(CS_PIN, OUTPUT);

    if (SD.begin())
    {
    } else
    {
        return;
    }
}

int abre_arquivo_gravacao(const char filename[])
{
    file = SD.open(filename, FILE_WRITE);

    if (file)
    {
        return 1;
    } else
    {
        return 0;
    }
}

```



```
void fecha_arquivo()  
{  
    if (file)  
    {  
        file.close();  
    }  
}
```

---

## APÊNDICE B – Script para os dados de radiação

```

1 - clear all
2 - fid = fopen('l2_l1_l8.txt'); %abertura do arquivo
3 - data_header=textscan(fid,'%s %s %s',1,'Delimiter',';');
4 - data=textscan(fid,'%s %s %s', 'Delimiter',';');
5 - data{1,2}=strrep(data{1,2},'h',':');
6 - data{1,2}=strrep(data{1,2},'min',':');
7 - data{1,2}=strrep(data{1,2},'s',' ');
8 - data{1,3}=str2double(data{1,3});
9 - size=length(data{1,2}); %definição de size igual ao comprimento da segunda coluna do arquivo
10 - fclose(fid);
11 - initime=1; %tempo de início igual a 1
12 - endtime=size; % tempo final igual a size
13 - radiation=data{1,3}(initime:endtime);
14 - hora=data{1,2}(initime:endtime);
15 - size=length(radiation);
16 - dt=0:1:(size-1);
17 - pt=1;

18 - sec=seconds(0:(15*60):(((size/900)-2)*15*60)); %variável de tempo para log de 15 min
19 - t0=datetime(data{1,2}(1));
20 - t=t0+sec; %equação de tempo para log de 15 min
21 - secl=seconds(0:(1):(((size)-1)*1)); %variável de tempo para log de 1 s
22 - t2=t0+secl; %equação de tempo para log de 1 s
23 - for i=1:(size/900)-1 % fazer médias de radiação a cada 15 min
24 -     pt=pt+900;
25 -     rad_mean(i)=mean(radiation(pt:(pt+899)));
26 -     hr_mean(i)=hora(pt);
27 - end
28 - figure;% subplotagem de 2 gráficos de tempo por radiação com logs diferentes
29 - subplot(2,1,1);
30 - plot(t2,radiation,'DatetimeTickFormat','HH:mm:ss');
31 - grid on
32 - subplot(2,1,2);
33 - plot(t,rad_mean,'DatetimeTickFormat','HH:mm:ss');
34 - grid on

```

### APÊNDICE C – Script para os dados de temperatura

```

1 - clear all
2 - fid = fopen('l2_l1_l8t.txt'); %abertura do arquivo
3 - data=textscan(fid,'%s %s %s %s %s %s %s %s %s %s', 'Delimiter',' ');
4 - data{1,8}=str2double(data{1,8});
5 - size=length(data{1,4}); %definição de size igual ao comprimento da coluna 4 do arquivo
6 - fclose(fid);
7 - initime=1; %tempo de início igual a 1
8 - endtime=size; %tempo final igual a size
9 - temperature=data{1,8}(initime:endtime); %definição de temperature como toda a coluna 8
10 - hora=data{1,4}(initime:endtime); %definição de hora como toda a coluna 4
11 - size=length(temperature);
12 - pt=1;
13 - sec=seconds(0:(15*60):(((size/15)-2)*15*60)); %variável de tempo para log de 15 min
14 - t0=datetime(data{1,4}(1));
15 - t=t0+sec; %equação de tempo para log de 15 min
16 - sec1=seconds(0:(60):(((size)-1)*60)); %variável de tempo para log de 1 min
17 - t2=t0+sec1; %equação de tempo para log de 1 min

18 - for i=1:(size/15)-1 %fazer médias de temperatura a cada 15 min
19 -     pt=pt+15;
20 -     temp_mean(i)=mean(temperature(pt:(pt+14)));
21 -     hr_mean(i)=hora(pt);
22 - end
23 - figure() %subplotagem de 2 gráficos de tempo por temperatura com logs diferentes
24 - subplot(2,1,1);
25 - plot(t2,temperature,'DatetimeTickFormat','HH:mm:ss');
26 - grid on
27 - subplot(2,1,2);
28 - plot(t,temp_mean,'DatetimeTickFormat','HH:mm:ss');
29 - grid on

```

### APÊNDICE D – Script para os dados de potência

```

1 - fid = fopen('l2_l1_l8p.txt'); %abertura do arquivo
2 - data=textscan(fid,'%s %s %s', 'Delimiter',' ');
3 - data{1,3}=str2double(data{1,3});
4 - size=length(data{1,2}); %definição de size igual ao comprimento da segunda coluna do arquivo
5 - fclose(fid);
6 - initime=1; %tempo de início igual a 1
7 - endtime=size; %tempo final igual a size
8 - potencia=data{1,3}(initime:endtime);
9 - hora=data{1,2}(initime:endtime);
10 - size=length(potencia);
11 - pt=1;
12 - sec=seconds(0:(60*15):(((size)-1)*60*15)); %variável de tempo para log de 15 min
13 - t0=datetime(data{1,2}(1));
14 - t=t0+sec; %equação de tempo para log de 15 min
15 - figure() %plotagem do gráfico tempo por potência
16 - plot(t,potencia,'DatetimeTickFormat','HH:mm:ss');
17 - grid on

```

## APÊNDICE E – Script para o estudo das 3 variáveis

```

1  %clear all
2  at=480*1.628; %definição de at como a área total dos painéis
3  eff=14.43/100; % definição de eff como a eficiência do painel
4  fid = fopen('20_11_18.txt'); %abertura do arquivo
5  data_header=textscan(fid,'%s %s %s',1,'Delimiter',';');
6  data=textscan(fid,'%s %s %s', 'Delimiter',';');
7  data{1,2}=strrep(data{1,2},'h',':');
8  data{1,2}=strrep(data{1,2},'min',':');
9  data{1,2}=strrep(data{1,2},'s',' ');
10 data{1,3}=str2double(data{1,3});
11 sizel=length(data{1,2}); %definição de sizel como sendo o comprimento da segunda coluna do arquivo
12 fclose(fid);
13 fp=strfind(data{1,2},'7:30:0'); %definição de um ponto inicial no arquivo
14 fpl=find(not(cellfun('isempty',fp)));
15 initime=1; %tempo de inicio igual a 1
16 endtime=sizel; %tempo final igual a sizel

17 radiation=data{1,3}(initime:endtime); %definição de radiation como a terceira coluna do arquivo
18 hora=data{1,2}(initime:endtime); %definição de hora como a segunda coluna do arquivo
19 sizel=length(radiation);
20 dt=0:1:(sizel-1);
21 pt=1;
22 sec=seconds(0:(15*60):(((sizel/900)-2)*15*60)); %variável de tempo para log de 15 min
23 t00=datetime(data{1,2}(1));
24 t1=t00+sec; %equação de tempo para log de 15 min
25 for i=1:(sizel/900)-1 % fazer médias de radiação a cada 15 min a partir de fp
26     rad_mean(i)=mean(radiation((fpl-450):(fpl+449)));
27     fpl=fpl+900;
28     hr_mean(i)=hora(pt);
29 end
30 ptot=rad_mean.*at; %equação de potência total
31 ptotc=ptot.*eff; %equação de potência total corrigida pela eficiência
32 fid = fopen('20_11_18t.txt'); %abertura de arquivo

33 datal=textscan(fid,'%s %s %s %s %s %s %s %s %s %s', 'Delimiter',' ');
34 datal{1,8}=str2double(datal{1,8});
35 size2=length(datal{1,4}); %definição de size 2 como o comprimento da coluna 4 do arquivo
36 fclose(fid);
37 initime=1; %tempo de início igual a 1
38 endtime=size2; %tempo final igual a size2
39 temperature=datal{1,8}(initime:endtime); %definição de temperatura como a coluna 8 arquivo
40 hora=datal{1,4}(initime:endtime); %definição de hora como a coluna 4 do arquivo
41 size2=length(temperature);
42 ptl=1;
43 sec2=seconds(0:(15*60):(((size2/15)-2)*15*60)); %variável de tempo para log de 15 min
44 t01=datetime(datal{1,4}(1));
45 t2=t01+sec2; %equação de tempo para log de 15 min
46 for i=1:(size2/15)-2 %fazer médias de temperatura a cada 15 min
47     ptl=ptl+15;
48     temp_mean(i)=mean(temperature(ptl:(ptl+14)));

49     hr_mean(i)=hora(ptl);
50 end
51 fid = fopen('20_11_18p.txt'); %abertura do arquivo
52 data2=textscan(fid,'%s %s %s', 'Delimiter',';');
53 data2{1,3}=str2double(data2{1,3});
54 size3=length(data2{1,2}); %definição de size3 como o comprimento da segunda coluna do arquivo
55 fclose(fid);
56 initime=1; %tempo de início igual a 1
57 endtime=size3; %tempo final igual a size3
58 pot=(data2{1,3}(initime:endtime)); %definição de pot como a terceira coluna do arquivo
59 hora=data2{1,2}(initime:endtime); %definição de hora como a segunda coluna do arquivo
60 sec3=seconds(0:(60*15):(((size3)-1)*60*15)); %variável de tempo para log de 15 min
61 t02=datetime(data2{1,2}(1));
62 t5=t02+sec3; %equação de tempo para log de 15 min
63 temp0=[];temp1=[];temp2=[];temp3=[];temp4=[];temp5=[];temp6=[];
64 p0=[];p1=[];p2=[];p3=[];p4=[];p5=[];p6=[]; %criação de vetores

```

```

65 - for i=1:(size3)
66 -     ptotcc(i)=ptotc(i)*(1-(temp_mean(i)-25)*0.45/100); %equação de potência total corrigida pela eff e temp
67 -     %criação de 6 condições para acomodação de valores
68 -     if rad_mean(i)<=200
69 -         temp0=[temp0;temp_mean(i)];
70 -         p0=[p0;pot(i)];
71 -     elseif (200<rad_mean(i) && rad_mean(i)<=400)
72 -         temp1=[temp1;temp_mean(i)];
73 -         p1=[p1;pot(i)];
74 -     elseif (400<rad_mean(i) && rad_mean(i)<=600)
75 -         temp2=[temp2;temp_mean(i)];
76 -         p2=[p2;pot(i)];
77 -     elseif (600<rad_mean(i) && rad_mean(i)<=800)
78 -         temp3=[temp3;temp_mean(i)];
79 -         p3=[p3;pot(i)];
80 -     elseif (800<rad_mean(i) && rad_mean(i)<=1000)
81 -         temp4=[temp4;temp_mean(i)];
82 -         p4=[p4;pot(i)];
83 -     elseif (1000<rad_mean(i) && rad_mean(i)<=1200)
84 -         temp5=[temp5;temp_mean(i)];
85 -         p5=[p5;pot(i)];
86 -     else
87 -         temp6=[temp6;temp_mean(i)];
88 -         p6=[p6;pot(i)];
89 -     end
90 - end
91 - %%
92 - figure(1) %subplotagem de 6 gráficos em faixas de radiação diferentes
93 - s1=subplot(2,3,1);
94 - scatter(temp0,p0);
95 - title('Radiation 0-200 W/m²')
96 - grid on
97 - s2=subplot(2,3,2);
98 - scatter(temp1,p1);

```



```

99 - title('Radiation 200-400 W/m²')
100 - grid on
101 - %hold on
102 - s3=subplot(2,3,3);
103 - scatter(temp2,p2);
104 - title('Radiation 400-600 W/m²')
105 - grid on
106 - %hold on
107 - s4=subplot(2,3,4);
108 - scatter(temp3,p3);
109 - title('Radiation 600-800 W/m²')
110 - grid on
111 - %hold on
112 - s5=subplot(2,3,5);
113 - scatter(temp4,p4);
114 - title('Radiation 800-1000 W/m²')
115 - grid on
116 - %hold on
117 - s6=subplot(2,3,6);
118 - scatter(temp5,p5);
119 - title('Radiation 1000-1200 W/m²')
120 - grid on
121 - hold(s1,'on');hold(s2,'on');hold(s3,'on');hold(s4,'on');hold(s5,'on');hold(s6,'on');
122 - %%
123 - figure(2) %plotagem do gráfico temperatura por potência
124 - scatter(temp_mean,pot);
125 - title('Radiation 0-1200 W/m²')
126 - grid on
127 - hold all
128 - %%
129 - figure(3) %plotagem do gráfico das potências corrigidas e real por tempo
130 - plot(t5,pot,t5,ptotcc,t5,ptotc(1:35),'DatetickFormat','HH:mm:ss')
131 - grid on

```

ANEXO A

Certificado de produto do pirâmetro SR05-DA2

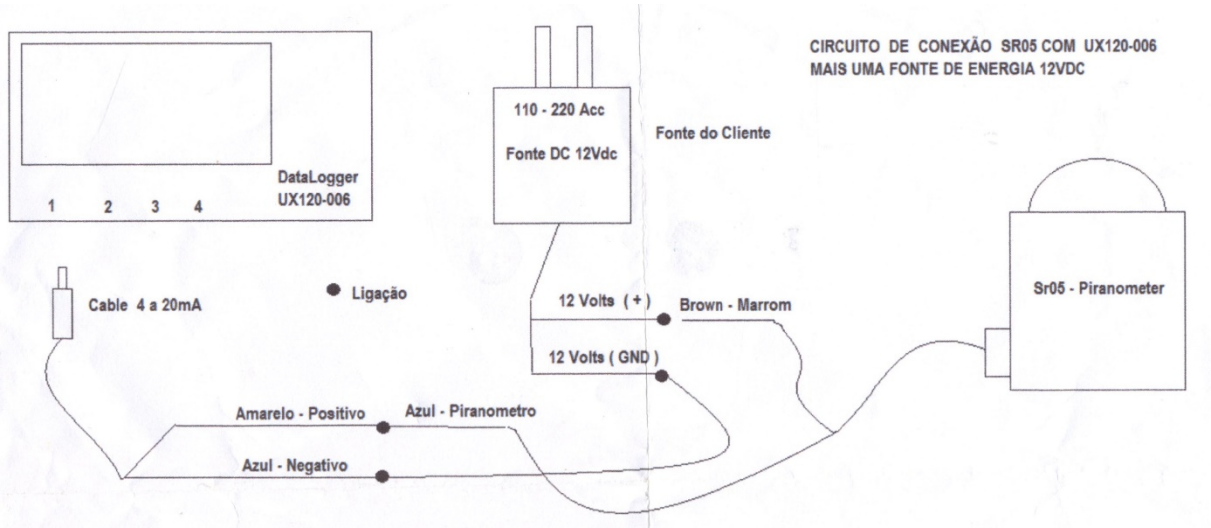
**Table 0.1 connections**

PIN	WIRE	Modbus over TTL	4 to 20 mA output
1	Brown	VDC [+]	VDC [+]
4	Black	common / not connected*	not connected
3	Blue	VDC [-]	4 to 20 mA output
2	White	TTL [Tx]	not connected
5	Grey	TTL [Rx]	not connected
	Yellow	shield	shield

Fonte: *product certificate* Hukseflux

ANEXO B

Esquemático do circuito de conexão SR05 com UX120-006 mais uma fonte de energia



Fonte: *product certificate* Hukseflux