

SISTEMA DE MONITORAMENTO E PREDIÇÃO DE SUJEIRA EM PAINÉIS SOLARES

Giovanna Toschi de Toledo ¹; Murilo Zanini de Carvalho ²

¹ Aluno de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

² Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

Resumo. *O presente trabalho visa criar um modelo para monitoramento de painéis solares e predição de sujeira em sua superfície. Inicialmente será feito um levantamento bibliográfico sobre quais as tecnologias podem ser utilizadas para realizar a detecção da sujeira em painéis solares e monitorar seu funcionamento. O levantamento também contempla a demanda por limpeza dos painéis solares e o impacto que ela possui na sua eficiência de operação. Assim, são objetivos do trabalho: a escolha dos sensores necessários e da plataforma microcontrolada para realizar o monitoramento dos dados; escolha da tecnologia de comunicação desses dados; integração do sistema desenvolvido de monitoramento; ligação dos sensores, do sistema de comunicação e do controlador da aplicação; e, por fim, a validação do modelo utilizado para monitorar os dados dos painéis solares.*

Introdução

A geração de energia elétrica é uma necessidade do ser humano, pois ela possibilita nosso desenvolvimento econômico e social. Diversos trabalhos estão sendo realizados no mundo para possibilitar a geração de energia elétrica de forma sustentável, como relatam Dupont, Grassi e Romitti (2015) e Lund (2005).

Das diversas fontes de energia sustentável, a energia solar é uma fonte muito promissora. Ela possibilita utilizarmos a luz e a radiação emitidas pelos raios solares, transformando-as em energia elétrica, por meio do uso de um material semicondutor, o silício, que, ao receber a luz solar, gera um fluxo de elétrons entre as suas camadas (positiva e negativa), tendo então corrente elétrica (Brito e Silva, 2006) e (Vieira e Santos, 2012).

Contudo, a eficiência dos painéis solares, responsáveis por fazer a conversão, pode ser comprometida por diversos fatores externos, como, por exemplo, a sujeira presente em sua superfície. Este problema é tão grave que os trabalhos de Abid, Obed e Al-Naima (2018) e Korevaar (2017) relatam algumas possibilidades para tentar detectar e mitigar essas situações problemáticas.

Diante deste cenário apresentado, este trabalho apresenta uma proposta de sistema de monitoramento que busca detectar a sujeira nos painéis solares, utilizando algoritmos de aprendizado de máquina para a análise e os conceitos de Internet das Coisas (IoT) para realizar a transmissão de dados, tendo como base o trabalho de Gueter *et al.* (2019).

Material e Métodos

A primeira parte da realização do projeto foi o levantamento bibliográfico sobre quais as tecnologias e sensores podem ser utilizados para realizar o monitoramento de parâmetros importantes para a operação do painel solar e para a detecção de sujeiras. O levantamento também contemplou a demanda por limpeza dos painéis solares e o impacto que ela possui na sua eficiência de operação.

Então foi criado um protótipo para o monitoramento e predição de sujeira e manutenção de painéis solares, sendo os dispositivos e tecnologias envolvidos ilustrados na Figura 1.

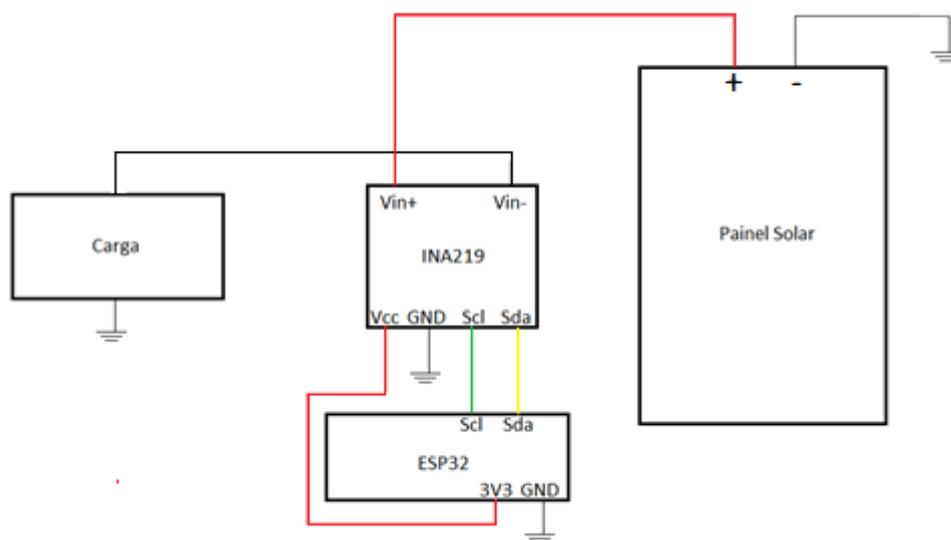
Figura 1 – Tecnologias envolvidas na proposta do sistema de monitoramento de painéis solares



Após o levantamento bibliográfico e a fundamentação teórica, foram determinadas quais as grandezas eram necessárias medir e quais sensores poderiam ser utilizados para realizar o monitoramento de um painel solar. São eles: sensor de corrente e tensão (INA219), sensor de luminosidade (BH1750), sensor de chuva (YL38) e sensor de temperatura e umidade (DHT11).

A partir do sensor de corrente e tensão, INA219, é possível monitorar a operação do painel e a potência por ele gerada, sendo limitado em 26 V e 3,2 A. Tendo o histórico desses parâmetros para uma mesma carga e comparando com o índice de radiação solar, é possível acompanhar a eficiência do painel a todo momento. Esse sensor se comunica pelo protocolo I2C (protocolo de comunicação serial usando 2 fios), amplamente utilizado em aplicações embarcadas, e pode ser alimentado diretamente pela tensão 3,3 V fornecida pelo microcontrolador utilizado. As medições são realizadas entre a saída do positivo do painel e a carga. A carga é conectada no pino Vin- do sensor INA219, e seu outro terminal é conectado ao terra do circuito. Portanto a leitura de tensão e corrente representam a energia que o painel fornece para a carga, como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema de ligação do painel solar com sensor de corrente e tensão (INA219)



Os demais sensores fazem a leitura de dados do ambiente em que o painel se encontra, portanto não há ligação entre eles e o painel. Contudo, os sensores de luminosidade e de chuva dever ser colocados a frente do painel, de maneira que não atrapalhe no recebimento de luz.

Com o sensor BH1750, é possível obter o índice de luminosidade incidente no painel, em lux. Segundo Pires (2017), a partir desse parâmetro é possível obter o índice de radiação, em W/m², a partir da relação dada pela equação 1 a seguir:

$$\text{radiação} = \text{iluminância} * 0,0079 \quad (1)$$

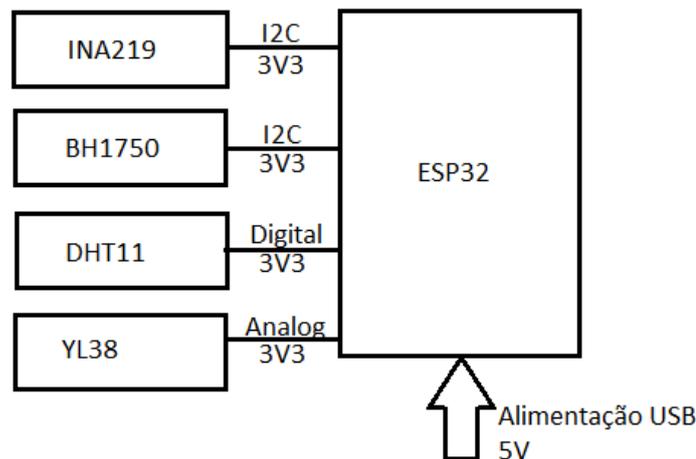
Esse sensor também utiliza o protocolo de comunicação I2C e é alimentado pelos 3,3 V fornecido pelo microcontrolador.

O sensor YL38, fornece uma faixa de valores de resistência, de 0 a 4095, após ser convertido pelo conversor analógico-digital (ADC) do microcontrolador. Quanto maior a quantidade de água no sensor, menor o valor. É um sensor com saída analógica, e é alimentado por 3.3 Volts pelo microcontrolador.

O sensor DHT11 é utilizado na medição dos parâmetros temperatura e umidade relativa do ambiente. Para cada modelo e fabricante de painéis solares, existem coeficientes térmicos que relacionam a temperatura com o desempenho do painel, ou seja, a temperatura afeta a geração de energia do painel, sendo um parâmetro importante para ser monitorado. A umidade é um valor interessante para ser monitorado, pois permite conhecer as condições ambientes em que o painel se encontra. O sensor é alimentado pela saída 3,3 V do microcontrolador e sua saída é digital. Trata-se de um sensor barato, simples para integrar e que fornece dois parâmetros muito utilizados em IoT, o que o torna ainda mais atrativo a base de dados que será gerada por esse dispositivo.

A conexão para o desenvolvimento da base dos sensores com o microcontrolador escolhido é apresentada de forma ilustrativa na Figura 3.

Figura 3 - Ligação dos sensores com o ESP32



Para a integração desses sensores, foi escolhido o microcontrolador ESP32, que foi programado em MicroPython, através do software gratuito Thonny. A escolha do ESP32 como o microcontrolador deste projeto deve-se ao fato de ele ser um microcontrolador de baixo custo, amplamente utilizado, e já possui suporte para Wi-Fi e Bluetooth, úteis para o IoT.

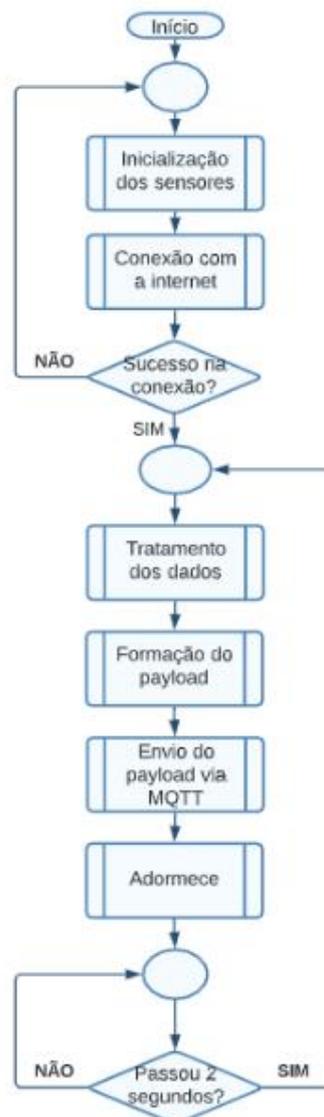
O meio de transmissão de dados do microcontrolador para o servidor é feito via MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*), por ser um protocolo de mensagens leve e simples, o que minimiza o uso de banda de rede. É um protocolo ideal para a comunicação entre máquinas e para aplicações de IoT. Essas mensagens enviadas são chamadas de *payload*.

Para a programação deste microcontrolador, seguiu-se a seguinte estrutura de código: importação de bibliotecas internas e externas, espaço para colocar id do Wi-Fi e senha em que o microcontrolador será conectado, função para conectar o dispositivo a internet, espaço para as configurações para envio dos dados lidos via MQTT para a plataforma pré-definida, definição do tempo de publicação, função para leitura de cada sensor, onde ocorre o tratamento dos dados e formação do *payload*.

Para a entrada do sensor de chuva, foi desenvolvida uma estrutura de comparação, considerando que valores acima de 3000 considera-se o sensor como seco, sem chuva, retornando o valor 0, valores entre 1000 e 3000, retorna 1, considerando chuva moderada, e valores abaixo de 1000 considera-se muito molhado, chuva intensa, retornando o valor 2. Os sensores de luminosidade, tensão e corrente, que se comunicam por I2C, já possuem bibliotecas e funções prontas, que fornecem as medidas em Lux, Volts e Miliampere, respectivamente. Para o sensor de luminosidade, foi utilizado a relação mostrada anteriormente na equação 1, para obter-se o parâmetro da radiação solar, em W/m^2 . O sensor de temperatura e umidade também já possui funções próprias e já fornece a temperatura em $^{\circ}C$ e a umidade relativa do ar em valores percentuais.

A partir dessa estrutura de código compilada no ESP32, ao alimentar o microcontrolador, tem-se o seguinte funcionamento, mostrado no fluxograma da Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do funcionamento do microcontrolador



O meio de comunicação utilizado no protótipo foi Wi-Fi, pois o campo de teste, Instituto Mauá de Tecnologia, possuía Wi-Fi disponível durante a realização do experimento. Contudo a comunicação Wi-Fi não é a ideal, por ter alto consumo energético e não alcançar longas distâncias sem uma infraestrutura especial. Por essas razões, é mais interessante o uso de meios de comunicação de longa distância e baixo consumo de energia, como, por exemplo, rede móvel (4G, 5G) ou rede LoRa.

Para a apresentação dos dados obtidos, foi utilizada a plataforma ThingSpeak. Trata-se de uma plataforma amplamente utilizada e com acesso gratuito para uso acadêmico. Foi construído um *dashboard* com 7 gráficos de linha, um para cada variável de interesse do sistema: Tensão (V), Corrente (mA), Potência (mW), Radiação (W/m^2), Temperatura ($^{\circ}C$), Umidade relativa do ar (%), e presença de chuva. Essas variáveis são enviadas como *payload* pelo microcontrolador com um intervalo fixo de 2 segundos.

Esse intervalo de tempo foi escolhido por permitir maior quantidade de amostras em um curto período em que foi realizado o teste para validação do modelo de monitoramento de painéis solares. Foi possível que fosse um intervalo pequeno, pois o protótipo estava sendo alimentado via USB, então não teria problemas com o consumo de energia. Para a aplicação desse sistema, é preciso se atentar ao intervalo escolhido, pois afeta diretamente o consumo de bateria do dispositivo e a quantidade de dados que a plataforma permite receber.

Para a validação do dispositivo projetado, foi realizado um teste em que foi monitorado um painel solar colocado dentro de um local fechado, com condições de temperatura e iluminação controladas, e uma carga constante. Para controlar a temperatura, os equipamentos de resfriamento do local ficaram em $22^{\circ}C$, e para o controle de radiação solar, toda a iluminação para geração de energia pelo painel foi artificial e provida por um holofote. A carga utilizada foi uma carga resistiva de 1,2k Ohm.

O teste foi feito em três etapas. A primeira delas consistiu em fazer o monitoramento do painel solar nas condições em que ele já se encontrava (com a superfície um pouco empoeirada, pois esse painel estava fora de uso). Durante um período de 15 minutos com intervalo de 2 segundos entre cada leitura, foram colhidas amostras para futuras comparações. Nesta etapa, foi utilizado um multímetro digital para medir os valores de tensão e corrente do painel, e comparar com os valores lidos pelo sensor INA219.

A etapa seguinte consistiu em cobrir o painel com sujeira e monitorar como ele se comportava diante de tal situação, colhendo amostras por um período de 10 minutos e comparando com os resultados obtidos na etapa anterior. Para sujar o painel foi utilizado pó de giz de lousa, esse material foi escolhido apenas por conveniência pelo teste ter sido feito em um laboratório, mas poderia ser qualquer outro material.

Por fim, a última etapa consistiu em limpar o painel, utilizando apenas água. Da mesma maneira que foi feito nas etapas anteriores, foram colhidas amostras por um período de 20 minutos e comparadas com os resultados anteriores.

Resultados e Discussão

Ao realizar o teste para validações do protótipo de um sistema de monitoramento de painéis solares, buscando detectar sujeiras neles de maneira preditiva, foram obtidos os seguintes dados dos parâmetros de tensão (em Volts) e corrente (em miliampères), apresentados em forma de gráfico pela plataforma ThingSpeak, como mostrado na Figura 5 e na Figura 6.

Figura 5 - Tensão medida no painel solar em função do tempo

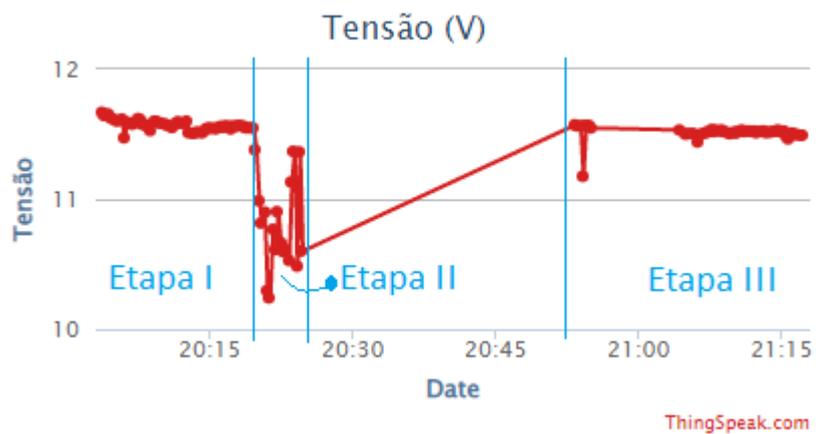
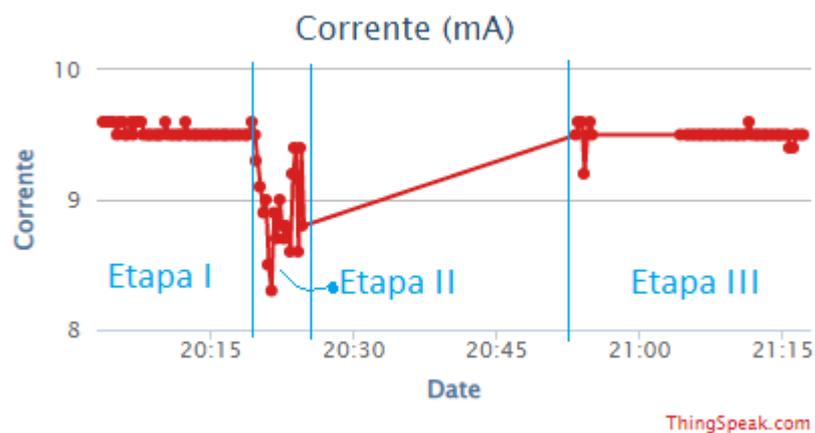
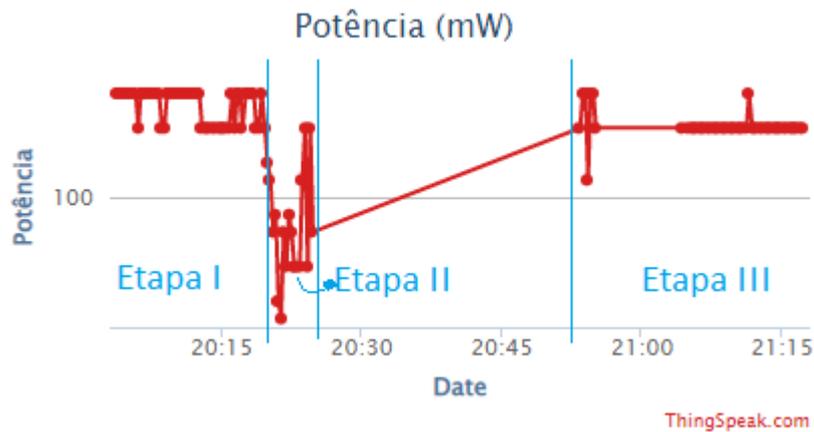


Figura 6 - Corrente medida no painel solar em função do tempo



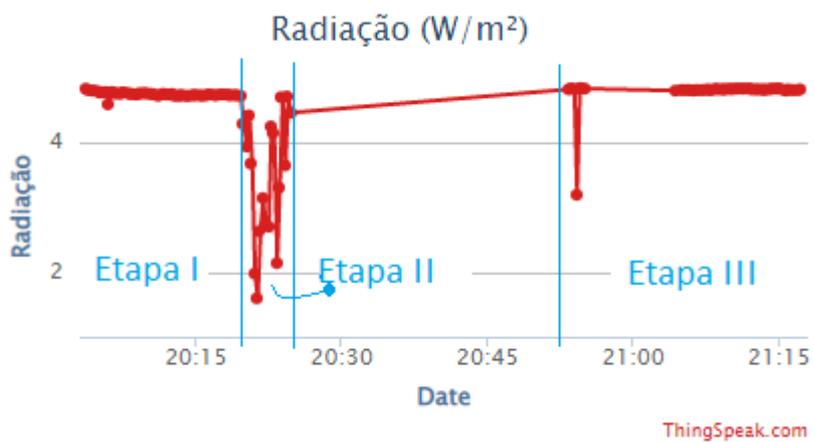
Pode-se notar que o comportamento dos gráficos de tensão e corrente é o mesmo, devido a carga puramente resistiva. Eles se mantiveram constantes na primeira etapa do teste e na final, após a limpeza do painel. No período em que o painel estava sujo, os dois parâmetros diminuíram e passaram a oscilar muito. O mesmo ocorre com a potência (em miliwatt), como apresentado no gráfico da Figura 7, o que é justificável visto que essa é uma variável obtida por cálculo a partir da corrente e da tensão.

Figura 7 - Potência gerada Paine Solar em função do tempo



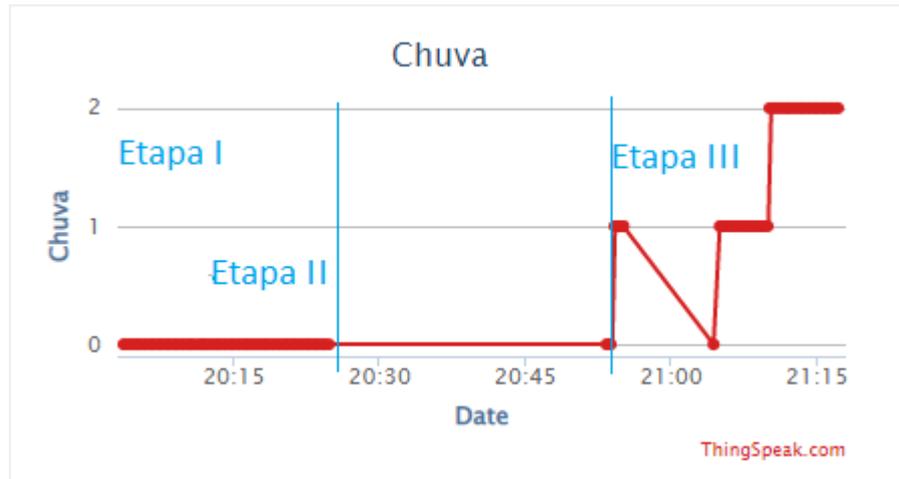
O parâmetro de radiação solar, apresentado na Figura 8, é obtido por meio de um tratamento dos dados obtidos pelo sensor de luminosidade. O sensor foi colocado na parte frontal do painel, e, portanto, a sujeira do painel afetou também a leitura do sensor. O gráfico apresenta em determinado período oscilações da radiação, o que representa oscilações na leitura do sensor devido a sujeira, mas por ter sido feito em um ambiente controlado, sabe-se que a radiação que realmente estava sendo enviada era constante.

Figura 8 – Radiação Solar no Painel em função do tempo



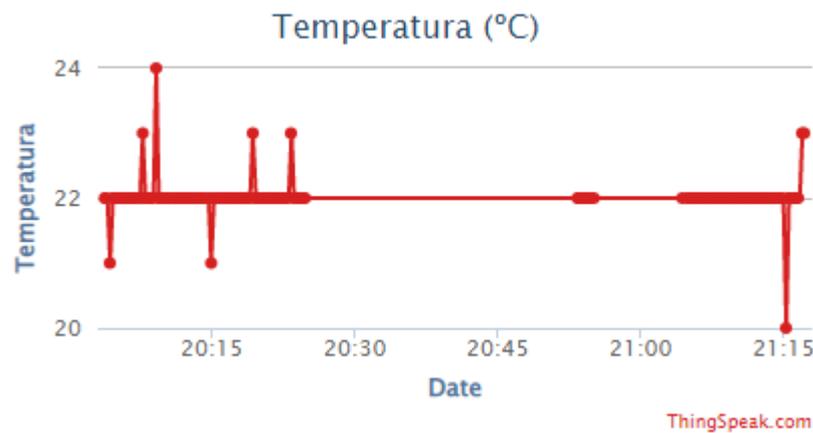
O sensor de chuva retorna três valores já explicados anteriormente, que dependem da presença e da intensidade da chuva. Pelo gráfico, apresentado na Figura 9, observa-se que o valor se manteve em 0 (sem chuva) durante a primeira etapa e a segunda, e na terceira etapa, em que o painel foi limpo com água, passou para o valor 1 (chuva moderada) e depois para 2 (chuva intensa).

Figura 9 – Intensidade de chuva



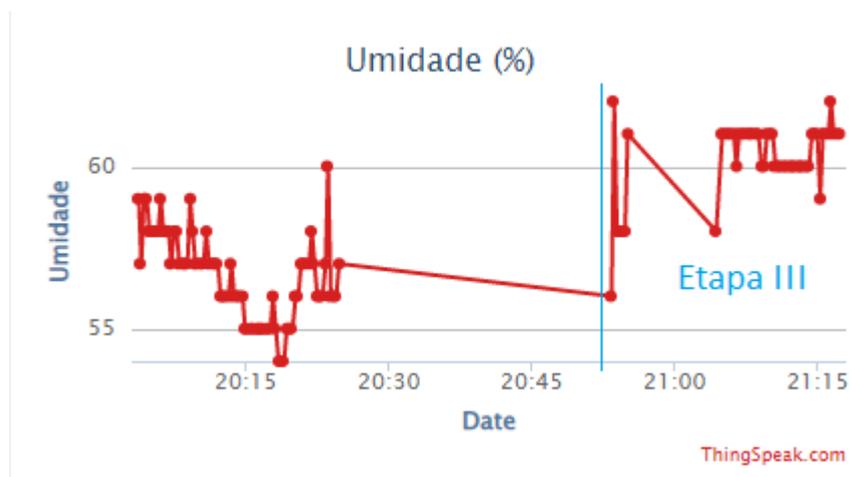
O local de teste estava com temperatura controlada em 22°C por meio de equipamentos de resfriamento. Como é possível visualizar no gráfico da Figura 10, essa temperatura se manteve e as oscilações na leitura devem-se a interferências percebidas quando havia a presença de alguém próximo a ele, ou mesmo à possíveis erros de leitura, com variação máxima de +/- 2°C.

Figura 10 – Temperatura ambiente, em °C, do local em que o teste foi realizado



A umidade foi o parâmetro que mais oscilou durante o teste, como mostrado na Figura 11, mas não é um parâmetro que afeta a operação do painel. De qualquer forma os dados de umidade obtidos foram coerentes com a situação, quando ocorreu a limpeza do painel (foi molhado), a umidade aumentou, e as oscilações eram esperadas devido ao funcionamento do equipamento de resfriamento, que altera a umidade do ambiente para manter uma temperatura constante.

Figura 11 – Umidade relativa do ambiente em que o teste foi realizado



Uma importante consideração para análise dos gráficos é que entre as etapas 2 e 3, o dispositivo foi desconectado da internet. Por isso há um período sem amostras, sendo as amostras iniciais da etapa 3 com o painel ainda molhado após a limpeza.

Conclusões

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que foi possível obter os resultados desejados e detectar quando o painel estava sujo durante os testes. Portanto, pode-se considerar que o protótipo projetado para este trabalho é válido para o monitoramento de um painel solar, assim como para predição de sujeira nele.

Considerando condições de operação normais, uma carga constante e temperatura ambiente controlada, a tensão e corrente geradas por um painel se mantêm constantes para uma determinada radiação solar, como pode-se observar nas etapas 1 e 3 mostradas em “Resultados e Discussões”. Um fator externo que prejudica a operação do painel, e conseqüentemente a sua eficiência, é a sujeira e sua superfície, como mostrado na Etapa 2, em que ao jogar pó de giz sobre todo o painel, os valores máximos de tensão e corrente caíram e passaram a sofrer grandes oscilações. Essa queda em sua eficiência deve-se à dificuldade do painel em receber a radiação, devido a sujeira em sua superfície, como pode ser concluído comparando os resultados dos parâmetros monitorados de tensão, corrente e radiação durante as 3 etapas.

Durante os testes foi medido a tensão e corrente do painel solar com o uso de um multímetro digital, e os valores obtidos foram compatíveis com os resultados dos valores lidos pelo sensor INA219, portanto esse sensor estava calibrado.

A vantagem de monitorar painéis solares é gerar um histórico de dados dos parâmetros colhidos, e assim poder prever e detectar problemas no painel, como sujeiras em sua superfície, ter um controle da energia que está sendo gerada, permitindo uma maior economia com manutenção, tendo em sua instalação um sistema inteligente, autônomo e mais eficiente.

Quanto aos problemas encontrados durante a validação do protótipo, o maior foi com relação a comunicação utilizada para os dados, o Wi-Fi. Cada vez que for necessário trocar a rede em que o dispositivo será conectado, é necessário mudar as configurações de identificação e senha da rede pelo programa compilado no microcontrolador. Além disso, ao perder conexão, é necessário interromper o dispositivo e iniciá-lo novamente. Esse meio de comunicação escolhido foi apenas para o protótipo, pois para o local de teste havia essa opção facilmente disponível e a intenção era validar a escolha dos sensores e do microcontrolador.

Possíveis meios de comunicação que seriam mais apropriados para essa aplicação seriam a rede móvel (como 4G) ou a rede LoRa. Para o uso da rede móvel seria necessário um estudo para avaliar qual a largura de banda seria necessária e que teria melhor custo-benefício

e melhor alcance. Já a rede LoRa, é muito utilizada em soluções de IoT, por possuir um grande alcance e baixo custo. Contudo, para a sua implementação, é necessário a instalação de um *gateway*, então seria necessário uma alta concentração de dispositivos para compensar esse custo adicional. Possivelmente, essa rede seria a melhor opção para usinas ou grandes instalações de painéis solares, sendo necessário um estudo para a aplicação nesse projeto.

Outra consideração que deve ser estudada posteriormente está relacionada a alimentação do microcontrolador. O protótipo teve o microcontrolador alimentado pela porta USB de um computador para a validação dos sensores e microcontrolador escolhidos, porém o ideal é que tenha uma fonte de alimentação própria, e, se possível, aproveitar a energia gerada pelo painel. A maneira que o dispositivo será alimentado afeta diretamente no intervalo de envio de dados. Quanto menor esse tempo, maior o consumo de energia do dispositivo, portanto deve haver um equilíbrio de acordo com a necessidade e as condições do local de aplicação.

Para trabalhos futuros, é importante ter certeza que todos os sensores sejam previamente calibrados, seria interessante fazer a troca do meio de comunicação, alimentar o microcontrolador de outra maneira, sem utilizar o USB de um computador, e tornar este protótipo em um dispositivo possível de ser instalado em ambientes externos e em instalações de pequeno e grande porte, como residências e usinas, respectivamente. Para complementação desse projeto, o ideal seria usar técnicas de análise de dados, como técnicas de BigData, com os dados coletados, para treinamento de máquinas para realizar a tarefa de predição de sujeira e manutenção.

Referências Bibliográficas

ABID, A. J.; OBED, A. A.; AL-NAIMA, F. M. (2018) **Detection and control of power loss due to soiling and faults in photovoltaic solar farms via wireless sensor network.** *International Journal Of Engineering & Technology*, Iraq, v. 2, n. 7, p. 718-724, maio 2018.

BRITO, M. C.; SILVA, J. A. **Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em eletricidade.** *O instalador*, Lisboa, julho 2006.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. (2015) **Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável.** *Revista Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, Rio Grande do Sul, v. 19, n. 1, p. 70-81, 2015.

GUETER, D. D. V.; SANTOS, J. V. M.; LOPES, S. C.; AMATE, T. S.; LOIOLA, V. H. P. **IoT Aplicada à Energia Renovável.** 2019. 141 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2019.

KOREVAAR, M. (2017) **Novel Soiling Detection System for Solar Panels.** *EMS Annual Meeting Abstracts*, v. 14, EMS2017-876, Annual 2017.

LUND, H. (2005). **Renewable energy strategies for sustainable development.** Em *3rd Dubrovnik conference on sustainable development of energy, water and environment systems: Dubrovnik, Croatia*, Junho 2005. Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture.

PIRES, C. P. O. (2017) **Identification of residential electricity consumption profiles for building dynamic simulation through smart-meter data.** Técnico Lisboa. Lisboa, p. 114. 2017.

VIEIRA, M.; SANTOS, A. (2012) **O meio ambiente sustentável e a energia solar.** *Cadernos de Graduação: Ciências Exatas e Tecnológicas*, Sergipe, v. 1, n. 15, p. 131-139, out. 2012.